

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
- CAMPUS PATOS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVANIL MARTINS ALVES NETO**

**PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA PARA A  
DRENAGEM URBANA DE PATOS-PB**

**PATOS – PB  
2025**

**AVANIL MARTINS ALVES NETO**

**PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA PARA A  
DRENAGEM URBANA DE PATOS-PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado em cumprimento às exigências para conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Yuri Tomaz Nevez  
Coorientador: Prof. Me. Diego de Paiva Bezerra  
Coorientadora: Prof. Dra. Gracieli Louise Monteiro Brito Vasconcelos

**PATOS - PB  
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

A474p Alves Neto, Avanil Martins.  
Pavimento permeável como técnica compensatória para a drenagem urbana de Patos-PB / Avanil Martins Alves Neto. - Patos, 2025.  
40 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2025.

Orientador(a): Prof. Me. Yuri Tomaz Nevez  
Coorientador(a): Prof. Me. Diego de Paiva Bezerra  
Coorientador(a): Prof. Dra. Gracieli Louise Monteiro Brito Vasconcelos

1. Drenagem urbana-Sustentabilidade 2. Controle de Enchente-Pavimento Permeável 3. Software SWMM I. Título II. Instituto Federal da Paraíba.

CDU – 69.034.96

**AVANIL MARTINS ALVES NETO**

**PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA PARA A  
DRENAGEM URBANA DE PATOS-PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado em cumprimento às exigências para conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Yuri Tomaz Neves  
Coorientador: Prof. Me. Diego de Paiva Bezerra  
Coorientadora: Prof. Dra. Gracieli Louise Monteiro Brito Vasconcelos

Aprovado em: 19 de fevereiro de 2025 . Por:



---

Orientador: Prof. Me. Yuri Tomaz Neves



---

Coorientador: Prof. Me. Diego de Paiva Bezerra



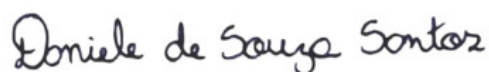
---

Coorientadora: Prof. Dra. Gracieli Louise Monteiro Brito Vasconcelos



---

Examinadora Interna: Prof. Dra. Tuane Batista do Egito



---

Examinadora Externa: Engenheira Daniele de Souza Santos

**PATOS - PB  
2025**

*“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”*  
**(Robert Collier)**

Dedico este TCC à minha mãe, que sempre acreditou em mim e me deu força para seguir em frente. Sua dedicação e amor são a base de tudo o que conquistei.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, coragem, determinação, foco e persistência que me concedeu ao longo desta jornada.

A todos os meus familiares, especialmente à minha mãe, dona Severina Soares, que acreditou em meu potencial e fez grandes esforços para apoiar meu progresso acadêmico e profissional.

À Joedina Freitas, uma das pessoas mais especiais na minha vida, cuja força e apoio foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Me. Yuri Tomaz, que não apenas orientou meu trabalho, mas também se tornou um grande amigo.

Aos meus coorientadores, Me. Diego de Paiva e Dra. Gracieli Louise, que não apenas atuaram na coorientação deste trabalho, mas também como pessoas importantes que influenciaram no meu progresso acadêmico e pessoal, tornando-se amigos valiosos.

Aos amigos que acompanharam minha jornada, em especial Evellyn Monteiro, Evellyn Francisca, Lays Paula, Leila Rodrigues, Mateus Leite, Pedro Vinícius e Wanessa Moreira, que estiveram presentes em todos os momentos.

Aos amigos que conquistei ao longo do curso, especialmente Asley Hanna, Fabiana Maia, Gleidson Palmeira, Gutemberg França, Joseildo Avelino, Robertano Florencio, Rute Helena e Werllanny Cristianny Procópio. Vocês foram essenciais para manter o foco sem perder a dádiva da alegria e descontração durante essa caminhada.

Aos professores que ofereceram todo o apoio necessário ao longo do curso, em especial às professoras Brígida Candeia e Susana Cristina, e os professores José Herculano Filho e Luciano Oliveira.

A toda a equipe de funcionários da instituição, que se tornaram verdadeiros amigos.

À coordenação do curso e à gestão da instituição.

## RESUMO

O desenvolvimento de drenagem urbana sustentável é um desafio emergente, especialmente em centros urbanos com alta taxa de solo impermeabilizado, como é o caso de diversas cidades brasileiras. A abordagem deste estudo é a avaliação de pavimentos permeáveis para aplicação como técnica compensatória visando à mitigação de alagamentos e redução do volume de escoamento superficial. A partir dessa abordagem foram selecionadas áreas potenciais à aplicação e, com auxílio do software SWMM, foram realizadas simulações computacionais de diferentes cenários de aplicação. A metodologia teve suas particularidades e foi desenvolvida em três etapas: caracterização da área de estudo, modelagem computacional e simulação de cenários. As dinâmicas hidrológicas foram analisadas antes e depois da urbanização com tempos de retorno da chuva de 2, 5 e 10 anos. A aplicação do pavimento permeável reduz 1,6% da vazão de pico e 4,5% do escoamento superficial, entretanto, não é o bastante para restabelecer as características de drenagem naturais. Por fim, da inserção de pavimentos permeáveis, a proposta de implementação dos mesmos passa a exigir atividades de planejamento, manutenção e integração com outras soluções, como telhados verdes e trincheiras de infiltração. Portanto, os pavimentos permeáveis são uma alternativa viável para redução dos impactos do processo de urbanização na cidade de Patos-PB. Dessa forma, a proposta representa uma contribuição à sustentabilidade hídrica e ao planejamento urbano mais resiliente. O presente estudo também contribui para referenciar ação da administração pública, em escala municipal, para a implementação de soluções sustentáveis de drenagem urbana.

**Palavras-chave:** Pavimento Permeável; Técnica Compensatória; Drenagem Urbana; Modelagem Computacional; SWMM.



## ABSTRACT

The development of sustainable urban drainage is an emerging challenge, especially in urban centers with a high rate of impervious surfaces, as is the case in many Brazilian cities. The approach of this study is the evaluation of permeable pavements for application as a compensatory technique aimed at mitigating flooding and reducing surface runoff volume. Based on this approach, potential areas for application were selected, and with the help of the SWMM software, computational simulations of different application scenarios were carried out. The methodology had its specificities and was developed in three stages: characterization of the study area, computational modeling, and scenario simulation. The hydrological dynamics were analyzed before and after urbanization with return periods of 2, 5, and 10 years. The application of permeable pavement reduces 1.6% of the peak flow and 4.5% of surface runoff; however, this is not enough to restore the natural drainage characteristics. Finally, with the introduction of permeable pavements, the implementation proposal requires activities such as planning, maintenance, and integration with other solutions, such as green roofs and infiltration trenches. Therefore, permeable pavements are a viable alternative for reducing the impacts of urbanization in the city of Patos-PB. In this way, the proposal represents a contribution to water sustainability and more resilient urban planning. This study also contributes to referencing public administration actions at the municipal level for the implementation of sustainable urban drainage solutions.

**Keywords:** Permeable Pavement; Compensatory Technique; Urban Drainage; Computational Modeling; SWMM.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma Metodológico.....	15
<b>Figura 2:</b> Localização da área de estudo. ....	17
<b>Figura 3:</b> Realização do ensaio de permeabilidade do solo.....	18
<b>Figura 4:</b> Gráfico de velocidade de infiltração.....	19
<b>Figura 5:</b> Mapa de declividade da bacia hidrográfica. ....	25
<b>Figura 6:</b> Canal do riacho da Palmeira. ....	26
<b>Figura 7:</b> Camadas de modelagem do pavimento permeável. ....	27
<b>Figura 8:</b> Comparação de vazões no ponto de exutório para TR=2 anos. ....	31
<b>Figura 9:</b> Comparação de vazões no ponto de exutório para TR=5 anos. ....	32
<b>Figura 10:</b> Comparação de vazões no ponto de exutório para TR=10 anos. ....	33
<b>Figura 11:</b> Comparação de escoamento superficial de S1 para TR=2 anos. ....	33
<b>Figura 12:</b> Comparação de escoamento superficial de S1 para TR=5 anos. ....	34
<b>Figura 13:</b> Comparação de escoamento superficial de S1 para TR=10 anos. ....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação da VIB. ....	19
<b>Tabela 2:</b> Coeficientes de escoamento.....	21
<b>Tabela 3:</b> Durações críticas e vazões de pico. ....	22
<b>Tabela 4:</b> Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis. ....	23
<b>Tabela 5:</b> Vazões de pico para pré-urbanização. ....	23
<b>Tabela 6:</b> Parâmetros do canal. ....	26
<b>Tabela 7:</b> Parâmetros de camada de superfície do pavimento permeável. ....	27
<b>Tabela 8:</b> Parâmetros de camada de pavimento do concreto permeável. ....	28
<b>Tabela 9:</b> Parâmetros de camada de solo do concreto permeável. ....	28
<b>Tabela 10:</b> Parâmetros de camada de armazenamento do concreto permeável. ....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EQ – Equação  
ID - Identificação  
IDF – Intensidade, Duração e Frequência  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MiDR - Ministério do Desenvolvimento Regional  
min - minutos  
PB - Paraíba  
SCA – Cenário de Simulação de Condições Atuais  
SCPSS – Cenário de Simulação de Concreto Permeável no Patos Shopping  
SCPUF – Cenário de Simulação de Concreto Permeável no Centro Universitário de Patos  
SCP100 - Cenário de Simulação de 100% de Concreto Permeável  
SGB - Serviço Geológico do Brasil  
SIAGAS – Serviço de Informações de Águas Subterrâneas  
SPU – Cenário de Simulação de Pré-urbanização  
SWMM - Storm Water Management Model  
S1 – Sub-bacia 1  
S2 – Sub-bacia 2  
TD – Tempo de Duração Crítica da Chuva  
TR – Tempo de Retorno da Chuva  
UNIFIP – Centro Universitário de Patos

## LISTA DE SÍMBOLOS

A - Área

A<sub>imp</sub> – Área impermeável na bacia

A<sub>perm</sub> – Área permeável na bacia

C – Coeficiente de escoamento superficial ou Runnof

C<sub>imp</sub> – Coeficiente de escoamento C para área impermeável

C<sub>perm</sub> – Coeficiente de escoamento C para área permeável

Decliv. – Declividade de projeto

Decemb. – Faixa de declividade determinada pela Embrapa (1979)

e – Coeficiente de Euler

f<sub>c</sub> – Taxa de infiltração final

f<sub>0</sub> – Taxa de infiltração inicial

f(t) – Taxa de infiltração no tempo

h – Aferição final

h<sub>0</sub> – Aferição inicial

Ha – Hectares

I - Intensidade da chuva

k – Constante de decaimento

K<sub>c</sub> – Coeficiente de Compacidade

Km<sup>2</sup> - Quilômetros quadrados

le – Largura equivalente

m - Metros

m<sup>2</sup> - Metros quadrados

m<sup>3</sup>/s – Metros cúbicos por segundo

mm - milímetros

mm/h – milímetros por hora

n – rugosidade superficial

Ne – Nível Estático

Nd – Nível Dinâmico

P – Perímetro

Peso,<sub>i</sub> – Peso de cada item

Q – Vazão

R\$ - Reais

S – Declividade

t – Tempo

$t_0$  – Tempo inicial

VI – Velocidade de Infiltração

VIB – Velocidade de Infiltração Básica

% - Percentual e/ou porcentagem

%imperv. – Porcentagem de área impermeável da bacia

x - Multiplicação

+ - Soma

$\Sigma$  – Somatório

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Etapa 01: Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>16</b>
3.1.1 Ensaio de permeabilidade do solo .....	17
<b>3.2 Etapa 02: Modelagem computacional.....</b>	<b>19</b>
3.2.1 Tempo de Retorno e Chuva de Projeto.....	19
3.2.2 Topografia.....	22
3.2.3 Uso e ocupação do solo .....	22
3.2.4 Pré-urbanização .....	23
3.2.5 Dados de entrada do modelo computacional .....	24
<b>3.3 Etapa 03: simulação de cenários .....</b>	<b>30</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Resultados na Vazão no Ponto de Exutório .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Resultados no Escoamento Superficial .....</b>	<b>33</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE A – Planilha de campo do ensaio de permeabilidade em campo.....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos urbanos é uma preocupação crescente no cenário mundial, principalmente em regiões onde existem impactos na drenagem urbana, impulsionados por chuvas intensas capazes de gerar uma lâmina d'água acima dos valores normais para a área (Mello e Silva, 2013; Bueno, 2022).

De acordo com dados do Ministério do Desenvolvimento Regional (MiDR) (Brasil, 2023), entre os anos de 1994 e 2024 foram notificadas 1868 ocorrências de alagamentos no Brasil, sendo registrados 128 óbitos e 478 mil desabrigados. O MiDR aponta ainda que o estado da Paraíba registrou 11 ocorrências de alagamentos, com 1,7 mil desabrigados e desalojados. Para o município de Patos, foram registradas 1 ocorrência, no qual foram notificados 712 habitantes afetados (Brasil, 2023).

Segundo os dados do Serviço Geológico do Brasil (SGB), a cidade de Patos possui 4 áreas com potencial risco de enchentes e alagamentos, sendo classificadas com grau médio de vulnerabilidade e alto grau de risco. As quatro áreas totalizam 185 edificações e 740 habitantes em zona de risco (Brasil, 2013).

As técnicas compensatórias para a drenagem urbana são mecanismos e sistemas utilizados para mitigação dos impactos de eventos climáticos extremos e o avanço da urbanização sendo capazes de realizar a coleta, armazenamento e tratamento das águas pluviais (Zhang *et al.*, 2024).

Dentre as técnicas compensatórias surgem os pavimentos permeáveis. Esse tipo de pavimento é capaz de realizar a infiltração de águas pluviais no solo, colaborando para a redução do escoamento superficial, infiltração de águas pluviais no solo e diminuição de casos de aquaplanagem (Xie *et al.*, 2019). A análise de aplicações de técnicas compensatórias como o pavimento permeável em centros urbanos pode ser feita através de modelagens computacionais, como o Software Storm Water Management Model (SWMM). O SWMM é capaz de realizar a modelagem dinâmica de chuva-vazão, colaborando para a análise de simulações de cenários de aplicações de pavimentos permeáveis e seus impactos na drenagem urbana (Rossman *et al.*, 2015).

Dessa forma, através deste estudo foi analisado a aplicação do pavimento permeável como técnica compensatória para a drenagem urbana de Patos, Paraíba, de forma a se investigar como a sua utilização pode colaborar na mitigação dos problemas de drenagem urbana na cidade.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de pavimentos permeáveis como técnica compensatória para mitigar os problemas de drenagem na cidade de Patos-PB.

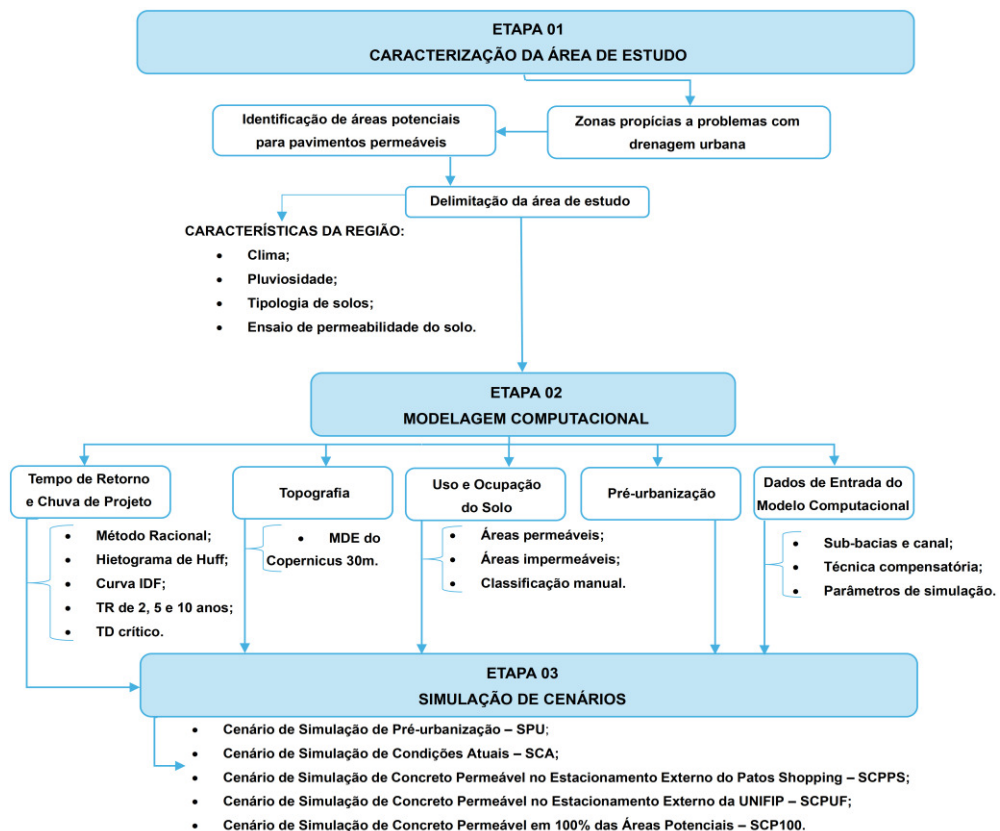
### 2.2 Objetivos Específicos

- Determinar áreas potenciais para a implantação de pavimentos permeáveis;
- Desenvolver o modelo computacional da técnica compensatória;
- Realizar simulações da aplicação do pavimento e investigar diferentes cenários de sua aplicação.

## 3. METODOLOGIA

O presente estudo se desenvolveu por meio de 03 etapas, de acordo com o fluxograma presente na Figura 01.

**Figura 1:** Fluxograma Metodológico.



### 3.1 Etapa 01: Caracterização da área de estudo

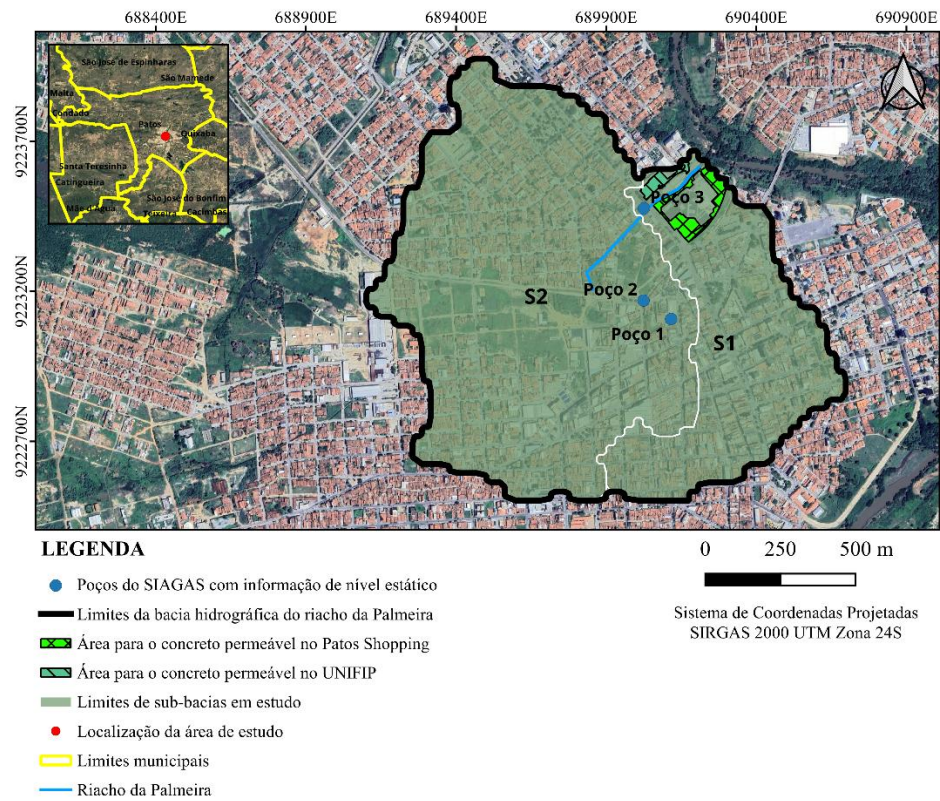
A aplicação do pavimento permeável no estudo se deu em estacionamentos do Patos Shopping e do Centro Universitário de Patos (UNIFIP). Esses locais foram determinados para o estudo devido a viabilidade favorável para o uso desse tipo de pavimento, que possui maior eficácia quando aplicado em locais que recebem tráfego leve e não contínuo (Latif; Putrajaya e Ing, 2022).

Ao todo, foram aplicados para as simulações uma área total de 20.617,31m<sup>2</sup> de pavimento de concreto permeável, localizados na bacia hidrográfica do Riacho da Palmeira, afluente do Rio Espinharas. A bacia hidrográfica localiza-se na zona urbana de Patos-PB, com área de 1,518km<sup>2</sup>, abrangendo em seu domínio áreas residenciais e comerciais dos bairros Belo Horizonte, Morro, Liberdade e Centro. Segundo Francisco *et al.* (2016), a área está inserida em uma região com clima classificado por Koppen como sendo semiárido quente com a predominância de luvisolos Crômicos Órticos (EMBRAPA, 2020). A cidade de Patos, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Brasil, 2024), para a série histórica de 1994 a 2024, registrou uma máxima precipitação em evento histórico ocorrido em 14 de abril de 2009, onde foi constatado uma precipitação de 191,2 mm/h.

Em conjunto, foi realizada uma análise na base de dados Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) (Brasil, 2024) para o levantamento de informações sobre o nível estático do lençol freático da área. Esse dado é essencial para dimensionar o pavimento permeável com espessura inferior, garantindo que não haja interferência em sua funcionalidade. Para a bacia hidrográfica onde se encontra a área de estudo foram analisados dados de 3 poços tubulares, os quais possuem nível estático variando de 3 a 10 metros de profundidade.

Para o estudo, a bacia hidrográfica foi dividida em sub-bacias, sendo elas: a primeira, nomeada S1, consistindo na área de estudo com a aplicação do pavimento permeável e a segunda, situada a montante da região de aplicação do pavimento de concreto permeável. A Figura 2 mostra a localização da área de estudo e as principais informações pertinentes ao estudo.

**Figura 2:** Localização da área de estudo.

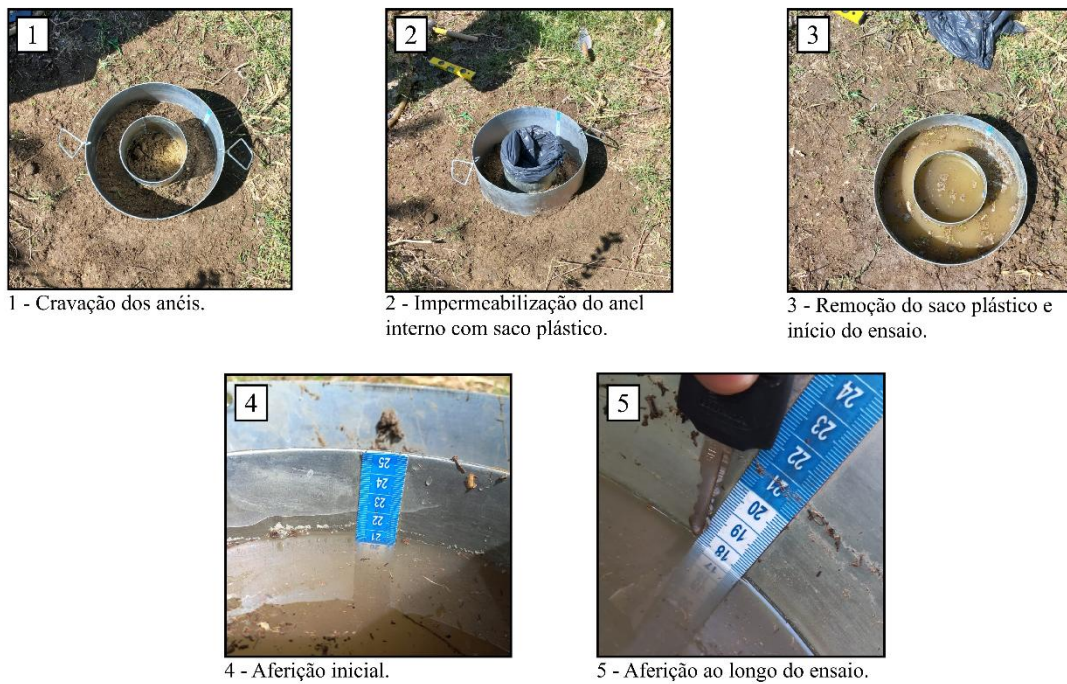


**Fonte:** Autor, 2024.

### 3.1.1 Ensaio de permeabilidade do solo

Os solos da região possuem variações nas características dependendo da composição exata in situ, se tornando um solo heterogêneo, com variações na permeabilidade. Para o entendimento da permeabilidade do solo da área de estudo foi realizado o ensaio de permeabilidade do solo em campo por meio do método do duplo anel, seguindo as recomendações da Norma ABGE 107/2024. A Figura 3 apresenta o processo de realização do ensaio.

**Figura 3:** Realização do ensaio de permeabilidade do solo.



**Fonte:** Autor, 2024.

A velocidade de infiltração para cada instante de tempo foi determinada através da Equação 1.

$$VI = \frac{h-h_0}{t-t_0} \quad (EQ. 1)$$

Onde:

VI – Velocidade de Infiltração (mm/h);

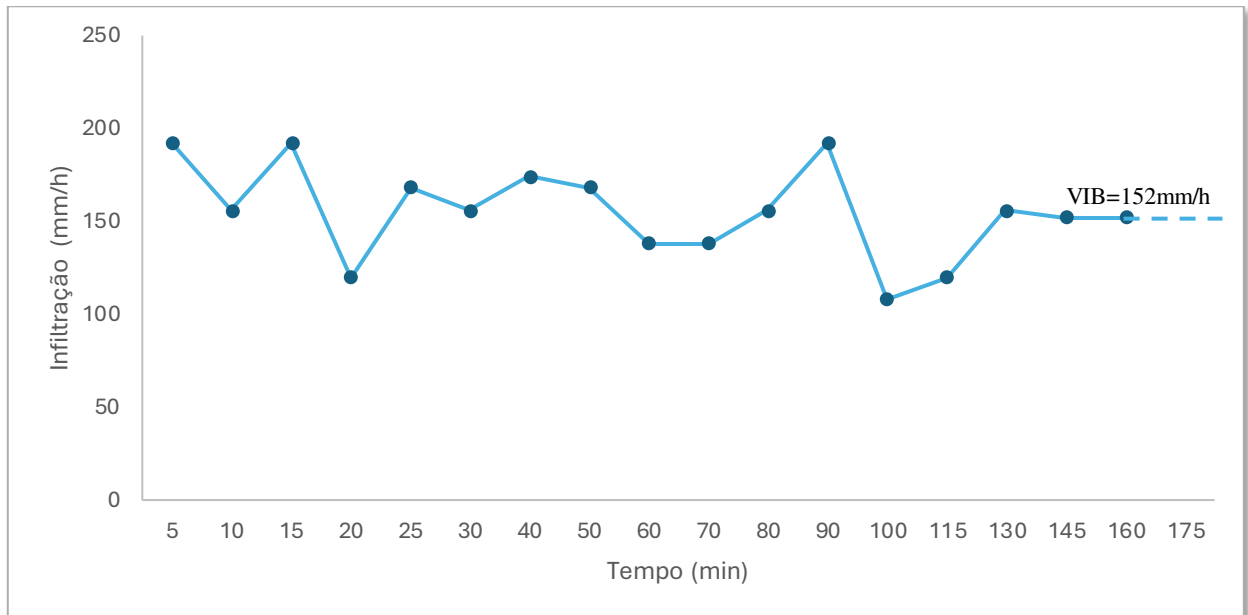
t – Tempo final (h);

t<sub>0</sub> – Tempo inicial (h);

h – Aferição final (mm);

h<sub>0</sub> – Aferição inicial (mm).

Ao final, foi possível realizar o gráfico de velocidade de infiltração ao longo do tempo para o ensaio, presente na Figura 4. A velocidade de infiltração básica (VIB), valor considerado como intensidade máxima que o solo suporta em um evento, foi determinado como sendo 152 mm/h, consistindo em uma alta permeabilidade. A Tabela 1 mostra a classificação da VIB.

**Figura 4:** Gráfico de velocidade de infiltração.

Fonte: Autor, 2024.

**Tabela 1:** Classificação da VIB.

Permeabilidade		Tipo de solo	VIB (mm/h)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	> 36,00
	Alta	Areias	36,00 a 0,36
	Baixa	Siltes e argilas	0,36 a 0,0036
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila	0,0036 a 0,000036
	Baixíssima	Argila	< 0,000036

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006.

É importante destacar ainda que, apesar de possuir uma VIB de 152 mm/h, fatores como relevo, vegetação e impermeabilização podem contribuir para uma significativa redução desse valor em outros locais na área de estudo.

## 3.2 Etapa 02: Modelagem computacional

### 3.2.1 Tempo de Retorno e Chuva de Projeto

O estudo possui como foco principal a análise da microdrenagem, na qual leva em consideração que a rede será dimensionada para receber águas pluviais de eventos hidrológicos de risco leve a moderado, onde é observado que as vazões máximas ocorrem em períodos de retorno de até 10 anos, de acordo com o uso e ocupação do solo (CETESB, 1986).

Para a realização do estudo adotou-se o uso de chuva de projeto, baseada no processo da curva IDF, que significa a representação da Intensidade (I), duração (D) e a frequência (F) da chuva crítica. Por meio desse método foi considerado a utilização de chuvas intensas para as simulações. O uso dessa metodologia garante que as simulações gerem resultados que atendam as condições de precipitações extremas.

Para a determinação da chuva de projeto foi utilizado a Equação 2, desenvolvida por Nóbrega e Neves (2024), no qual foram utilizados dados coletados diariamente na estação Patos/EMBRAPA entre 1994 e 2022, cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) para o seu desenvolvimento.

$$I = \frac{527,202 \times Tr^{0,351}}{(td + 9,18)^{0,706}} \quad (EQ.2)$$

Onde:

I – Intensidade da chuva (mm/h);

Tr – Tempo de retorno (anos);

td – Tempo de duração (min).

Como a bacia hidrográfica utilizada como base para o estudo possui pequenas dimensões foi utilizado o método de Huff (1967) para realizar a distribuição temporal da chuva. Dessa forma, foi adotado no estudo o método racional para a determinação de vazões, método apontado pelo Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT) (2005) como sendo o ideal para bacias hidrográficas de 1º ordem.

Para a determinação da duração crítica também foi necessário a utilização da área impermeável da área de estudo. Para tanto foi utilizado o coeficiente de escoamento superficial (C). Esse fator pode ser entendido como a razão entre o volume do escoamento superficial e o produto da lâmina de precipitação pela área da bacia. Para o estudo em questão, foram adotados os coeficientes desenvolvidos por Chow, Maidment e Mays (1994) que, além de considerar o uso e ocupação do solo, também considera o tempo de retorno. A Tabela 2 evidencia os valores adotados.

**Tabela 2:** Coeficientes de escoamento.

Característica da Superfície	Período de Retorno (Anos)		
	2	5	10
Área Desenvolvida			
Asfalto	0,73	0,77	0,81
Concreto/Telhado	0,75	0,80	0,83
Áreas Verdes (gramados, parques, etc.)			
Mau estado (cobertura verde inferior a 50% da área)			
Média (2 – 7%)	0,37	0,40	0,43

**Fonte:** Adaptado de Chow, Maidment e Mays (1994).

Para a inserção dos valores no software SWMM é necessário realizar a ponderação entre os valores do coeficiente de escoamento (C) para áreas permeáveis e impermeáveis. Para determinar o coeficiente para áreas impermeáveis foi adotado a média aritmética entre os diferentes tipos de superfícies impermeáveis presentes na área de estudo, sendo nesse caso as superfícies de edificações, concreto e asfalto. Para as superfícies permeáveis foram adotados os valores para zonas verdes em condições de cobertura inferior a 50% da área. Após essas considerações, foi calculada a média ponderada através da Equação 3.

$$\%imperv. = (C_{perm} \times A_{perm}) + (C_{imp} \times A_{imp}) \quad (EQ.3)$$

Onde:

$\%imperv.$  – Porcentagem de área impermeável da bacia (%);

$C_{perm}$  – Coeficiente de escoamento da área permeável;

$C_{imp}$  – Coeficiente de escoamento da área impermeável;

$A_{perm}$  – Área permeável na bacia (Há);

$A_{imp}$  – Área impermeável na bacia (Ha).

As durações críticas da chuva (td) foram determinadas através da interação dos dados de chuva no SWMM, sendo realizado o processo de discretização dos dados por meio de diferentes tempos de concentração e durações. A análise da duração crítica ocorreu minuto-a-minuto, sendo respeitado a duração mínima de 10 minutos, adotada considerando-se que para durações críticas inferiores a 10 minutos o escoamento poderá sofrer retardos causados por obstáculos no escoamento. A Tabela 3 mostra as durações críticas e vazões de pico.

**Tabela 3:** Durações críticas e vazões de pico.

<b>Tempo de Retorno - TR (Anos)</b>	<b>Duração Crítica – TD</b>	<b>Vazão Exutório (m³/s)</b>	<b>Escoamento Superficial S1 (m³/s)</b>
2	13:00	0,716	0,274
5	15:00	0,998	0,476
10	13:00	1,388	0,676

**Fonte:** Autor, 2024.

### 3.2.2 Topografia

A topografia é utilizada em estudos que envolvem a modelagem computacional de técnicas compensatórias devido a necessidade de se obter as características da área em estudo, como declividade e elevações. Os dados necessários para o estudo podem ser obtidos através da utilização de técnicas de geoprocessamento, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Para o desenvolvimento do trabalho, foi empregado o uso do MDE do Copernicus, com resolução espacial de 30m. Esse modelo possui como autor a WorldDEM com o uso de dados da missão intitulada TanDEM-X. O MDE foi adquirido por meio do complemento Open Topography DEM (Versão 3.0) do software QGIS (Versão 3.32.20).

### 3.2.3 Uso e ocupação do solo

O mapeamento do uso e ocupação do solo é essencial para a compreensão das dinâmicas na área de estudo, como também um dos fatores essenciais no desenvolvimento do modelo computacional. A área de estudo é de tamanho considerado pequeno, dessa forma não foi viável a utilização de plugins, sendo a determinação das áreas permeáveis e impermeáveis realizada por meio de delimitação manual através de polígonos no software QGIS.

Foram utilizadas imagens atualizadas do Google Satélite para a determinação das áreas. Foi considerado como área permeável: copa de árvores, jardins, áreas não edificadas, canteiros, solos expostos e áreas verdes e corpos d'água. Os demais tipos de uso e ocupação do solo, como edificações, calçadas, praças e ruas, foram considerados como áreas impermeáveis.

Para a determinação dos percentuais de áreas permeáveis e impermeáveis foi realizado o somatório total dos polígonos através da calculadora nativa do software Qgis, sendo em



seguida realizado o cálculo da proporção das áreas de polígonos impermeáveis em relação a área total, sendo repetido o processo para a área permeável. A Tabela 4 mostra o percentual de áreas permeáveis e impermeáveis determinadas para a bacia hidrográfica.

**Tabela 4:** Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis.

Área Impermeável		Área Permeável		Área Total	
Abrangência	Percentual	Abrangência	Percentual	Abrangência	Percentual
(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)
120,46	79,37	31,31	20,63	151,77	100

Fonte: Autor, 2024.

#### 3.2.4 Pré-urbanização

Para o estudo, optou-se por realizar a análise da vazão de escoamento superficial no ponto de exutório nas condições de pré-urbanização, de forma a viabilizar a análise do comportamento do escoamento superficial quando aplicado o pavimento de concreto permeável frente às condições anteriores à impermeabilização da área de estudo.

Para realizar a análise, foram efetuadas simulações no SWMM utilizando o Método Racional, recomendado pelo DNIT (2005). Para a utilização desse método, Rossman e Simon (2022) recomendam o uso de uma área impermeável de 100 vezes o valor do coeficiente de escoamento superficial para condições de pré-urbanização. O DNIT (2005) não fixa um valor para o coeficiente, entretanto recomenda a utilização de valores entre 0,05 e 0,35 de acordo com a tipologia do solo da localidade. Nesse sentido, para o estudo foi adotado o valor de 0,20 por ser uma média para a faixa de valores recomendados pelo DNIT (2005). A tabela 5 mostra os valores de vazões.

**Tabela 5:** Vazões de pico para pré-urbanização.

Tempo de Retorno -TR (Anos)	Duração Crítica – TD	Vazão Exutório (m <sup>3</sup> /s)	Escoamento Superficial S1 (m <sup>3</sup> /s)
2	13:00	0,168	0,083
5	15:00	0,222	0,134
10	13:00	0,292	0,183

Fonte: Autor, 2024.

### 3.2.5 Dados de entrada do modelo computacional

#### 3.2.5.1 Sub-bacias e canal

Para a aplicação do método racional é necessário inserir 4 parâmetros básicos com as características necessárias de cada sub-bacia, sendo eles: largura, área, perímetro e declividade.

A largura da sub-bacia é definida por Rossman e Simon (2022) como o valor equivalente à largura do escoamento superficial. Existem diferentes formas para determinar o parâmetro, sendo adotado para o estudo as equações de Garcia (2005), onde é definido uma largura equivalente que representa a sub-bacia em um formato retangular. As Equações 4 e 5 definem o método de Garcia.

$$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (EQ.4)$$

$$le = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \times \left[ 1 - \sqrt{\left( \frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (EQ.5)$$

Onde:

Kc – Coeficiente de Compacidade;

P – Perímetro da sub-bacia (m);

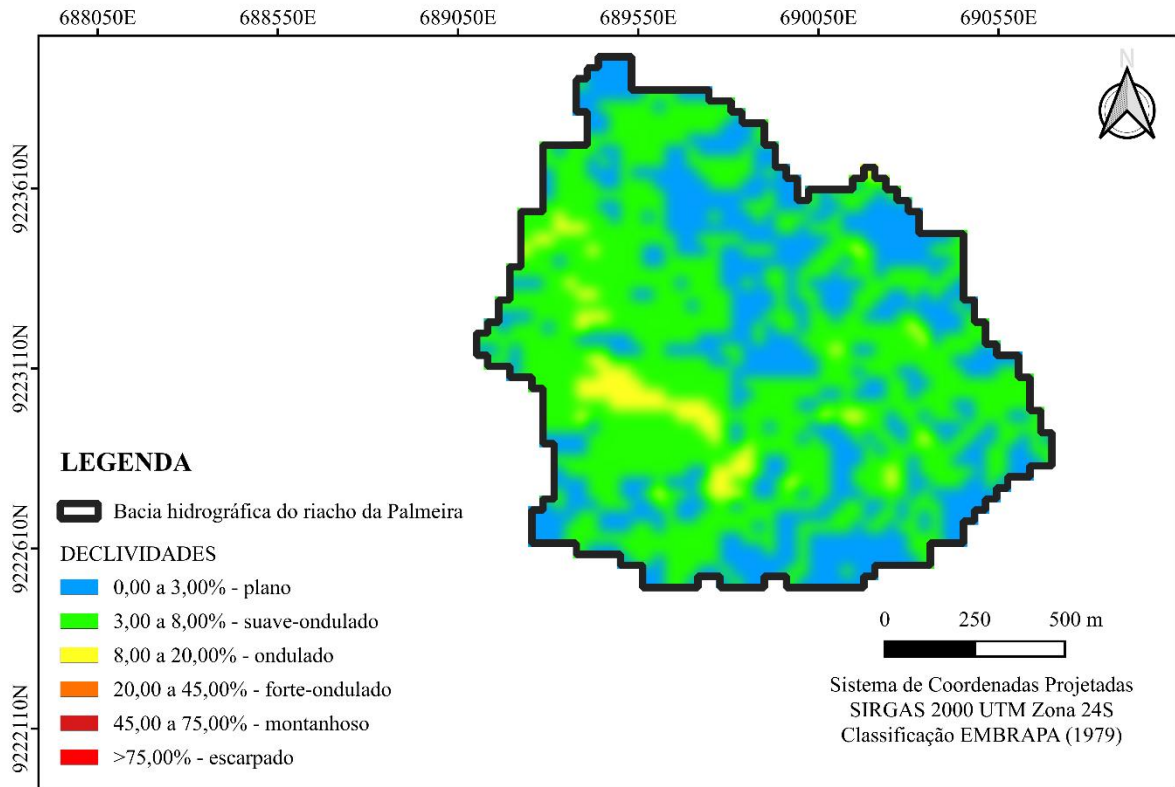
A – Área da sub-bacia (m<sup>2</sup>);

le – Largura equivalente (m).

A área de cada sub-bacia e os perímetros foram determinados através de técnicas de geoprocessamento no QGIS.

Para o trabalho foi utilizado uma declividade média ponderada. As faixas de declividades utilizadas para a ponderação foram sugeridas pela EMBRAPA (1979). A Figura 5 mostra o mapa de declividade e a Equação 6 evidencia o processo de determinação da declividade média ponderada.

**Figura 5:** Mapa de declividade da bacia hidrográfica.



**Fonte:** Autor, 2024.

$$Decliv. = \sum_{n=1}^i (peso, i \times decemb, i) \quad (EQ. 6)$$

Onde:

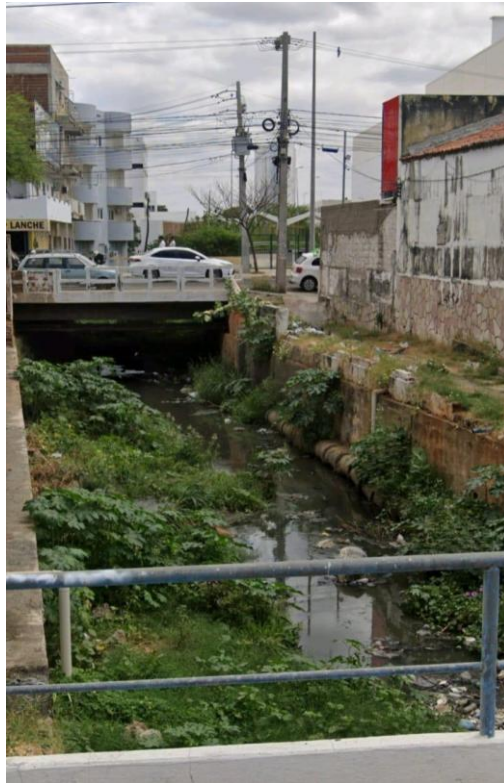
Decliv. – Declividade de projeto (%);

Peso,i – Peso relação a área total da bacia;

Decemb,i – Faixa de declividade Embrapa (%).

O processo de determinação de uma declividade ponderada surge da necessidade de se considerar todas as declividades no estudo, uma vez que a bacia hidrográfica possui uma considerável área englobada por apenas uma faixa.

O riacho da Palmeira possui seu trecho principal canalizado em formato retangular aberto em concreto, como mostra a Figura 6. Dessa forma, a sub-bacia S2 foi delimitada de forma a possuir seu ponto de exutório no canal. Os parâmetros adotados para o canal levam em consideração as suas dimensões geométricas e podem ser observados na Tabela 6.

**Figura 6:** Canal do riacho da Palmeira.

**Fonte:** Autor, 2024.

**Tabela 6:** Parâmetros do canal.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor (m)</b>
Largura	7,50
Altura	1,80
Comprimento	256,50

**Fonte:** Autor, 2024.

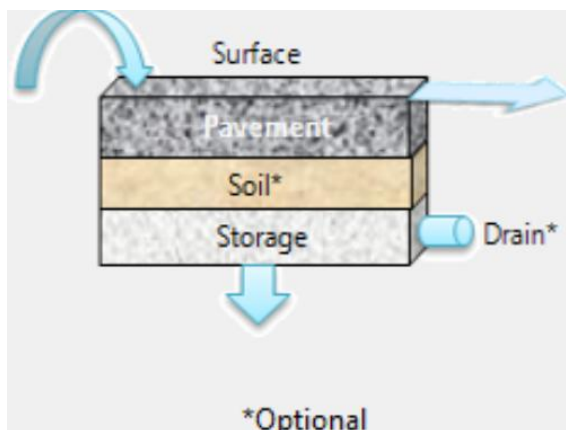
De acordo com Rossman e Simon (2022), é recomendável o uso de coeficiente de rugosidade superficial entre 0,011 e 0,020 para o tipo de canal. Para o estudo foi adotado o valor médio de 0,0155. As cotas de início e fim do canal foram determinadas através da análise do MDE do Copernicus por meio do complemento Profile Tool no software QGIS. O canal possui cota inicial de 235,31m, atingindo a cota final no exutório de 232,76m.

### 3.2.5.2 Técnica compensatória

A escolha do pavimento permeável foi realizada tomando como base as características da microdrenagem do local e as características do pavimento. Os pavimentos permeáveis, de

acordo com o manual de usuário do SWMM, são constituídos de 5 camadas, sendo elas: Superfície, Pavimento, Solo, Armazenamento e Drenagem. A figura 7 mostra o esquema das camadas de modelagem do pavimento permeável.

**Figura 7:** Camadas de modelagem do pavimento permeável.



**Fonte:** Rossman e Simon, 2022.

A camada de superfície é destinada para resistir ao desgaste causados pelo uso e clima, além de dar a declividade do pavimento. Para o estudo foram adotados os valores presentes na Tabela 7 para os parâmetros da camada de superfície, baseando-se nos estudos de Ciriminna *et al.* (2022) e confrontados com as recomendações de Rossman e Simon (2022).

**Tabela 7:** Parâmetros de camada de superfície do pavimento permeável.

Parâmetro	Valor
Altura de Berma (mm)	0
Fração de Vegetação	0
Rugosidade (n)	0,017
Declividade (%)	1

**Fonte:** Adaptado de Ciriminna *et al.*, 2022.

A camada de pavimento é considerada como a estrutura do pavimento, sendo responsável por resistir aos esforços solicitantes. Para o estudo foi adotado o pavimento de concreto permeável, utilizando os parâmetros definidos por Ciriminna *et al.* (2022) e que atendem aos valores sugeridos pelo manual de usuário do software. A Tabela 8 elenca os parâmetros da camada de pavimento.

**Tabela 8:** Parâmetros de camada de pavimento do concreto permeável.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Espessura (mm)	150
Volume de Vazios	0,15
Fração Impermeável	0
Permeabilidade (mm/h)	10000
Fator de Entupimento	0
Dias de Regeneração	0
Fração de Regeneração	0

**Fonte:** Adaptado de Ciriminna *et al.*, 2022.

A terceira camada do pavimento permeável é a camada de solo. Conforme Rossman e Simon (2022), essa camada é opcional. Apesar do solo natural da área possuir uma boa capacidade de permeabilidade, parâmetros como capacidade de campo e ponto de murcha, além da cabeça de sucção, não são conhecidos. Dessa forma, para o estudo foi considerado a substituição dessa camada para as áreas de aplicação da técnica compensatória, sendo adotado os dados de parâmetros do trabalho de Madrazo-Uribeetxebarria *et al.* (2023) onde foi utilizado uma camada de cascalho devido ao seu bom desempenho para infiltração. A Tabela 9 evidencia os parâmetros para a camada.

**Tabela 9:** Parâmetros de camada de solo do concreto permeável.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Espessura (mm)	38
Porosidade	0,44
Capacidade de Campo	0,09
Ponto de Murcha	0,03
Condutividade (mm/h)	100000
Inclinação de Condutividade	40
Cabeça de Sucção (mm)	80

**Fonte:** Adaptado de Madrazo-Uribeetxebarria *et al.*, 2023.

A quarta camada do modelo é destinada para armazenagem. Conforme Chen *et al.* (2021), essa camada realiza o controle de infiltração no leito do solo e/ou na rede de drenagem.

Para o estudo foi utilizado uma camada de pedra britada, onde os seus parâmetros podem ser observados na Tabela 10, que foi utilizado no estudo Ciriminna *et al.* (2022).

**Tabela 10:** Parâmetros de camada de armazenamento do concreto permeável.

Parâmetro	Valor
Espessura	400
Volume de Vazios	0,40
Infiltração (mm/h)	36
Fator de Entupimento	0

**Fonte:** Adaptado de Ciriminna *et al.*, 2022.

De acordo com Rossman e Simon (2022) a quinta e última camada do pavimento, destinada para drenagem, pode ser desconsiderada, visto que sua aplicação é indicada para casos em que o pavimento permeável é aplicado em grandes sistemas ou é destinado para macrodrenagem. Dessa forma, para o estudo essa camada foi desconsiderada.

### 3.2.5.3 Parâmetros de simulação

O processo de simulação de cenários no software SWMM depende, além dos parâmetros já abordados, das configurações de simulação. As configurações dos parâmetros de simulação são as considerações utilizadas acerca do método de infiltração de água no solo, o modelo de processos e o modelo de escoamento superficial.

Para as simulações foi adotado o método da equação de Horton (1939), devido ser um dos métodos mais utilizados para modelagens hidrológicas, para a infiltração de água no solo. A equação possibilita descrever numericamente a forma como a taxa de infiltração de água no solo diminui ao passar do tempo em um evento de precipitação, observando como esse valor tende a ficar constante. A equação de Horton pode ser observada na Equação 7.

$$f(t) = f_c + (f_0 + f_c) \times e^{-k \cdot t} \quad (EQ.7)$$

Onde:

$f(t)$  – Taxa de infiltração no tempo  $t$  (mm/h);

$f_c$  – Taxa de infiltração final (mm/h);

$f_0$  – Taxa de infiltração inicial (mm/h);

$k$  – Constante de decaimento;

t – Tempo decorrido (h).

### **3.3 Etapa 03: simulação de cenários**

Para o estudo foram definidos cenários para simulações de forma que analisem de diversas formas a aplicação da técnica compensatória na área de interesse. Esses cenários terão a finalidade de descrever processos de simulação no modelo SWMM. Tais cenários foram desenvolvidos de acordo com as possibilidades de implementação da técnica. Foram determinados os seguintes cenários:

- Cenário SPU – Cenário de Simulação de Pré-urbanização;
- Cenário SCA – Cenário de Simulação de Condições Atuais;
- Cenário SCPPS – Cenário de Simulação de Concreto Permeável no Patos Shopping;
- Cenário SCPUF – Cenário de Simulação de Concreto Permeável no Centro Universitário de Patos UNIFIP;
- Cenário SCP100 – Cenário de Simulação de 100% de Concreto Permeável.

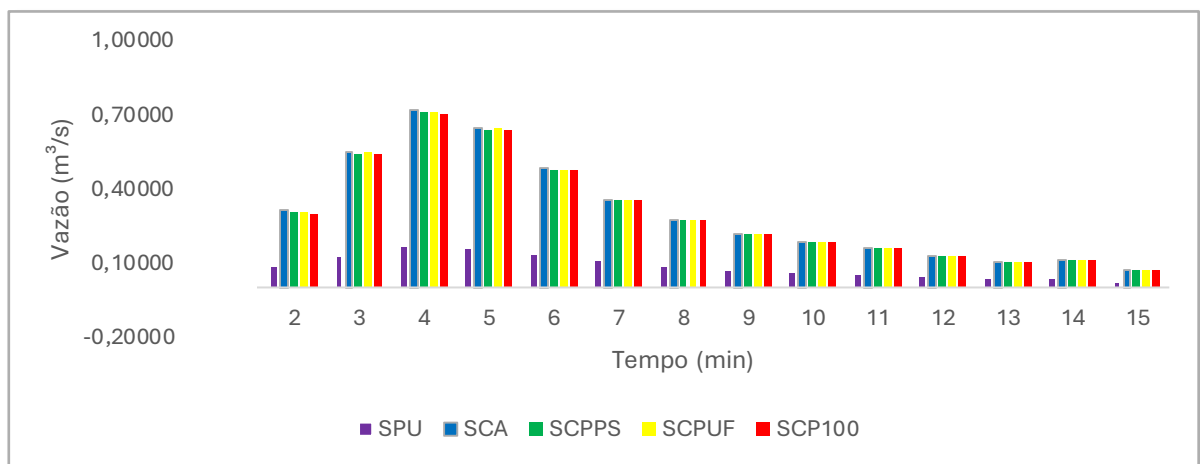


## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados na Vazão no Ponto de Exutório

Por meio das simulações foram gerados hidrogramas que demonstram a dinâmica da vazão no ponto de exutório da bacia hidrográfica do riacho da Palmeira. A Figura 8 mostra os resultados dos diferentes cenários para TR de 2 anos.

**Figura 8:** Comparação de vazões no ponto de exutório para TR=2 anos.



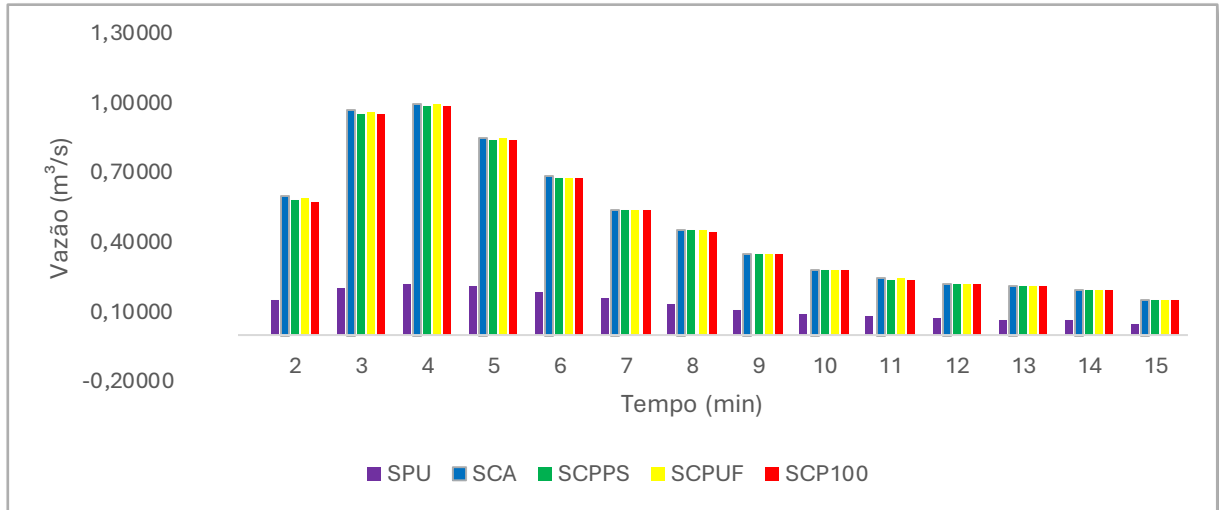
Fonte: Autor, 2024.

É possível observar que é obtido uma redução na vazão de pico. SCA, simulação de referência, gera um pico de 0,71641 m³/s. O cenário SCPPS obtém um pico de 0,70769 m³/s, enquanto SCPUF atinge 0,71346 m³/s e SCP100 0,70474 m³/s. O cenário de pré-urbanização, SPU, atinge 0,16781 m³/s, fazendo a técnica compensatória não atingir as condições anteriores a urbanização. É destacado, dessa forma, o cenário SCP100 com a maior redução, de 1,629% e, o cenário SCPUF não tendo bons resultados, com apenas 0,4118% de redução.

No entanto, é necessário ressaltar que a redução do escoamento superficial e da vazão no exutório implicam na preocupação em relação a alguns fatores, por exemplo, a distribuição espacial do pavimento permeável, as características de uso e ocupação do solo e a intensidade da precipitação, que se encontram diretamente relacionadas. Comparando com estudos similares, Montagna *et al.* (2021) em seu estudo obtiveram uma redução de 0,33% na vazão de pico para cenários com tempo de retorno inferiores a 5 anos, sendo um valor próximo ao determinado neste estudo. É observado ainda, que o estudo de Montagna *et al.* (2021) possui uma aplicação do pavimento permeável em maior escala, além do consórcio com trincheiras de infiltração em substituição às sarjetas.

A Figura 9 mostra os resultados dos diferentes cenários para TR de 5 anos.

**Figura 9:** Comparação de vazões no ponto de exutório para TR=5 anos.



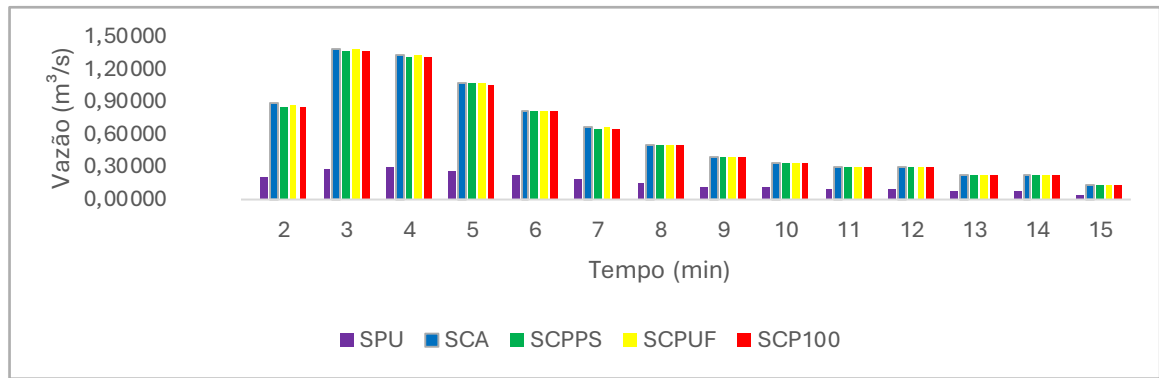
Fonte: Autor, 2024.

Pode-se observar uma redução na vazão de pico nos cenários analisados. A simulação de referência, SCA, possui um pico de  $0,998 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto o cenário SCPPS apresenta o pico de  $0,989 \text{ m}^3/\text{s}$ , seguido pelo cenário SCPUF com  $0,995 \text{ m}^3/\text{s}$  e o SCP100 registrando  $0,986 \text{ m}^3/\text{s}$ . Entretanto, quando analisado o cenário de pré-urbanização, SPU, atinge um pico de  $0,222 \text{ m}^3/\text{s}$ , indicando que a técnica compensatória não consegue reestabelecer as condições anteriores à urbanização. Dessa forma, o cenário SCP100 atinge a maior redução, de  $1,2729\%$  e, o cenário SCPUF não tendo bons resultados, com apenas  $0,3215\%$  de redução.

Os dados obtidos para este tempo de retorno podem ser comparados com os obtidos por Montagna et al. (2021), onde, para um tempo de retorno de 5 anos, foi obtido uma redução de  $1,84\%$  no volume. Entretanto, quando é realizado a comparação com o estudo de Tejedas, Possanti e Marques (2019), que obtiveram uma redução de  $6\%$ , é observado valores superiores aos obtidos neste estudo, assim como ocorre com o estudo de Peng et. al. (2022), onde foi registrado uma redução de  $13,94\%$ . Essa diferença é justificada através da dinâmica de chuva utilizada para o estudo, assim como a proporção do pavimento permeável em comparação com a área de contribuição.

A Figura 10 mostra os resultados dos diferentes cenários para TR de 10 anos.

**Figura 10:** Comparação de vazões no ponto de exutório para TR=10 anos.



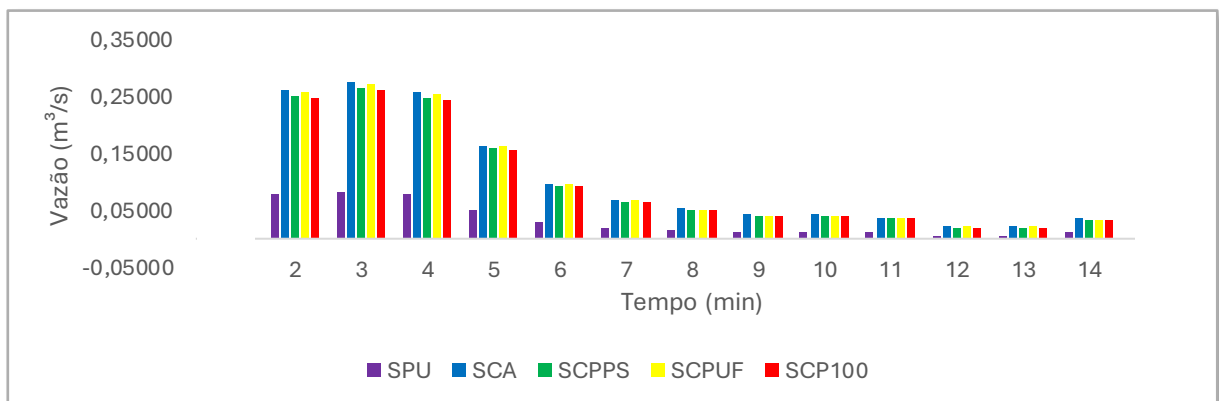
Fonte: Autor, 2024.

Pode-se observar uma redução na vazão de pico nos cenários analisados. A simulação de referência, SCA, possui um pico de 1,388 m³/s, enquanto o cenário SCPPS apresenta o pico de 1,371 m³/s, seguido pelo cenário SCPUF com 1,382 m³/s e o SCP100 registrando 1,365 m³/s. Entretanto, quando analisado o cenário de pré-urbanização, SPU, atinge um pico de 0,292 m³/s, indicando que a técnica compensatória não consegue reestabelecer as condições anteriores à urbanização. O cenário SCP100 destaca-se com a maior redução, de 1,636% e, o cenário SCPUF não tendo bons resultados, com apenas 0,4135% de redução.

#### 4.2 Resultados no Escoamento Superficial

O estudo analisa os resultados para o escoamento superficial na sub-bacia S1 devido a aplicação do pavimento permeável nessa área, resultado na redução do escoamento superficial dessa localidade. A Figura 11 mostra os resultados obtidos nas diferentes simulações para TR de 2 anos.

**Figura 11:** Comparação de escoamento superficial de S1 para TR=2 anos.



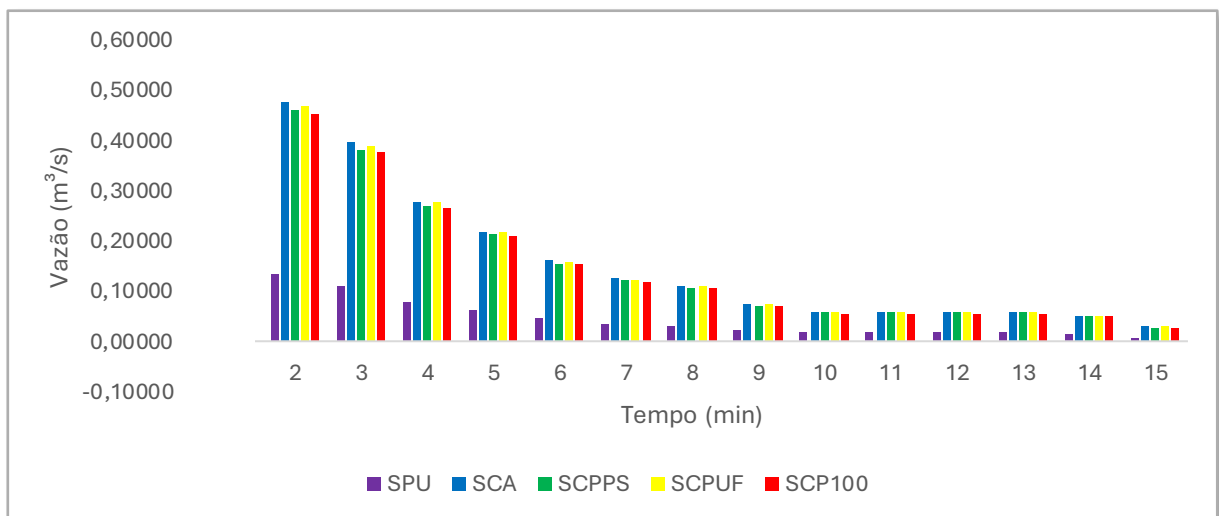
Fonte: Autor, 2024.

Observa-se uma redução no escoamento superficial nos cenários abordados. A simulação de referência, SCA, gerou um escoamento de 0,274 m<sup>3</sup>/s, enquanto o cenário SCPPS reduz esse valor em 3,38%, chegando a 0,265 m<sup>3</sup>/s. O cenário SCPUF reduz em 1,14%, alcançando 0,271 m<sup>3</sup>/s, ao passo que o cenário SCP100 reduz o escoamento em 4,53%, indo a 0,262 m<sup>3</sup>/s. Quando analisado a pré-urbanização no cenário SPU, o escoamento é de 0,083 m<sup>3</sup>/s, demonstrando que o pavimento não é capaz de retornar as condições de pré-urbanização.

Ao comparar estes resultados com estudos anteriores, é observado um valor similar, como o observado por Montagna *et al.* (2021), onde foi obtido uma redução de 2,82%. Chen, Lin e Lin (2022) chegaram a resultados com redução média de 14,7%, com a ocorrência de resultados isolados de 5,0%. Dessa forma, é destacado que os valores para este tempo de retorno se alinham com resultados de estudos anteriores.

A Figura 12 mostra os resultados obtidos nas diferentes simulações para TR de 5 anos.

**Figura 12:** Comparação de escoamento superficial de S1 para TR=5 anos.



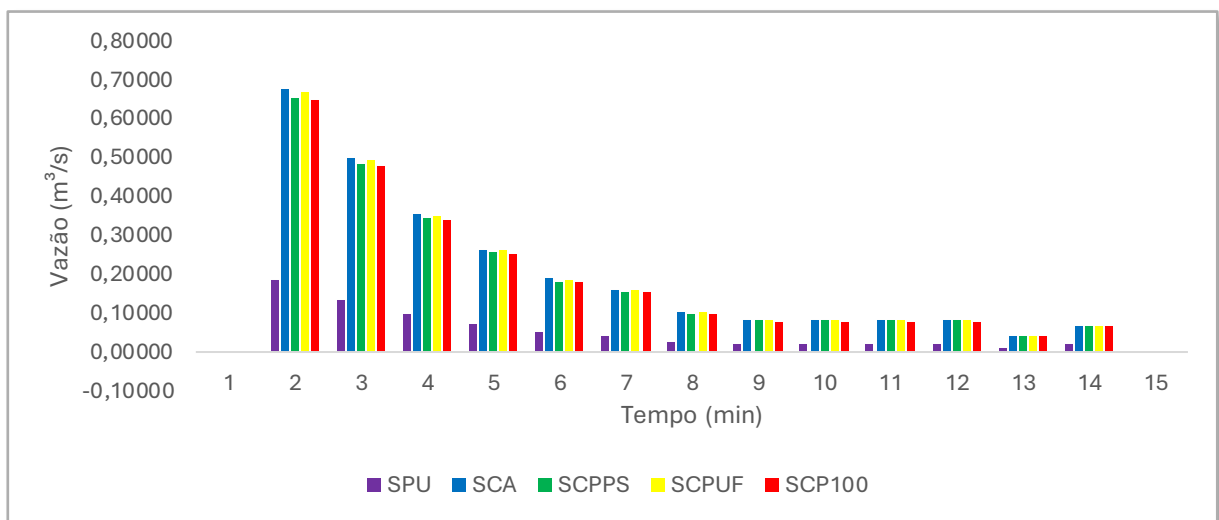
Fonte: Autor, 2024.

Observa-se uma redução no escoamento superficial nos cenários abordados. A simulação de referência, SCA, gerou um escoamento de 0,476 m<sup>3</sup>/s, enquanto o cenário SCPPS reduz esse valor em 3,38%, chegando a 0,459 m<sup>3</sup>/s. O cenário SCPUF reduz em 1,14%, alcançando 0,47 m<sup>3</sup>/s, ao passo que o cenário SCP100 reduz o escoamento em 4,53%, indo a 0,454 m<sup>3</sup>/s. Quando analisado a pré-urbanização no cenário SPU, o escoamento é de 0,134 m<sup>3</sup>/s, demonstrando que o pavimento não é capaz de retornar as condições de pré-urbanização.

Montagna et al. (2021) obtiveram uma redução de 7,90% no escoamento superficial com tempo de retorno de 5 anos, valores similares aos obtidos neste estudo. Além disso, Peng et al. (2022) obteve valores chegando a 12,11% e Tejedas, Possanti e Marques (2019) com 14%, mostrando valores superiores. Essa diferença é observada devido ao diferente e ocupação do solo, além da distribuição espacial do pavimento, que influenciam diretamente no escoamento superficial.

A Figura 13 mostra os resultados obtidos nas diferentes simulações para TR de 10 anos.

**Figura 13:** Comparação de escoamento superficial de S1 para TR=10 anos.



**Fonte:** Autor, 2024.

Observa-se que é atingido uma redução no escoamento superficial. SCA, simulação de referência, gera um escoamento de 0,67621 m³/s. O Cenário SCPPS consegue reduzir esse valor em 3,385%, indo a 0,65332 m³/s. SCPUF obteve 0,66847 m³/s, redução de 1,1446%, enquanto SCP100 reduz 4,5282%, indo a uma vazão de 0,64559 m³/s. Considerando SPU, o escoamento superficial foi de 0,18288 m³/s, fazendo a técnica compensatória não retornar as condições de pré-urbanização.

Os valores obtidos são semelhantes aos evidenciados por Peng *et al.* (2022), onde a redução do escoamento superficial para esse tempo de retorno foi de 9,09%. A ligeira diferença entre os valores encontrados é reflexo do contexto de aplicação e análise, levando em consideração o uso em consórcio do pavimento permeável com outras técnicas compensatórias, além das dinâmicas de uso e ocupação do solo e a relação entre área de aplicação da técnica compensatória e a área total.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise da aplicação do pavimento permeável como técnica compensatória para a drenagem urbana de Patos-PB, utilizando técnicas de modelagem computacional por meio do modelo SWMM, foi demonstrado que a implementação desse tipo de técnica compensatória satisfaz significativamente na mitigação dos problemas de drenagem do local. Os resultados mostram reduções superiores a 4,5% no escoamento superficial e 1,6% na vazão de pico do exutório.

Embora o avanço da urbanização tenha contribuído para a impermeabilização de uma área superior a 79,00% da bacia hidrográfica, a aplicação de técnicas compensatórias pode auxiliar na redução dos impactos causados por essa dinâmica de uso e ocupação do solo. É observado que os resultados apresentam valores condizentes com a abordagem utilizada, sendo viável a sua utilização como forma de auxílio ao sistema de drenagem da região que o estudo engloba. No entanto, é necessário destacar que o sistema de técnica compensatória não é capaz de substituir o sistema de drenagem tradicional.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Norma ABGE: 107/2024: ensaios de permeabilidade em solos utilizando furo de sondagem, poço, cava, slug test e anel duplo: procedimentos para execução e interpretação de resultados.** 1 ed. São Paulo: ABGE, 2024.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem.** Ed. 2, 2005. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715\\_manual\\_de\\_hidrologia\\_basica.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf). Acesso em: 27 de nov. 2024.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil:** período de 1991 a 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 30 de nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Atlas Digital,** 2024. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>. Acesso em: 27 de nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. **Serviço Geológico do Brasil,** 2024. Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/desastres/#>. Acesso em: 27 de nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas,** 2024. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/index.php>. Acesso em: 11 de dez. 2024.

BUENO, Fabio. **Política de Saneamento e os Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos: o novo marco do saneamento e a estrutura organizacional CORSAN – Guaíba/RS.** 2022 Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos). UFRGS: Porto Alegre, 2022.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. **Drenagem Urbana: manual de projeto.** DAEE-CETESB, 1986.

CHEN, W.; ZHENG, M.; GEO, Q.; DENG, C.; MA, Y.; JI, G. Simulation of Surface Runoff Control Effect by Permeable Pavement. **Water Science & Technology,** v.84, n.4, p.948-960, 2021. DOI: 10.2166/wst.2021.027.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrologia Aplicada.** Ed. Martha Edna Suarez R, 1994.

CIRIMINNA, D.; FERRERI, G. B.; NOTO, L. V.; CELAURO, C. Numerical Comparison of the Hydrological Response of Different Permeable Pavements in Urban Area. **Sustainability,** v.5704, n.14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14095704>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil.** Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 83p. Rio de Janeiro, 1979.

FRANCISCO, P. R. M. et al. Classificação Climática de Koppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v.8, n.4, p. 1006-1016, 2016.

GARCIA, Joaquim Ignacio Bonnacarrère. **Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela**. (2005). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSM, Santa Maria, 2005.

HORTON, Robert Elmer. Analysis of Runoff-plot Experiments with Varying Infiltration Capacity. **Transactions American Geophysical Union Banner**, v.20, 1939. DOI: <https://doi.org/10.1029/TR020i004p00693>.

HUFF, Floyd. A. Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. **Water Resources Research**, v.3, n.4, p.1007-1019, 1967. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>.

LATIF, A. A.; PUTRAJAYA, R.; ING, D. S. A Review of Porous Concrete Pavement: Compressive strength and clogging investigation. **Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology**, v.29, ed. 3, p. 128-138, 2023. DOI: <https://doi.org/10.37934/araset.29.3.128138>.

MADRAZO-URIBEETXEBARRIA, E.; ANTÍN, M. G.; EGUILEGOR, G. A.; ANDRÉS-DOMÉNECH, I. Analysis of the Hydraulic Performance of Permeable Pavements on a Layer-by-layer Basis. **Construction and Building Materials**, v. 387, 2023.

MELLO, C. R.; SILVA, A. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 455 p., 2013.

MONTAGNA, T.; et al. Simulação do Uso de Pavimento Permeável e Trincheira de Infiltração em Espaços Públicos de Mobilidade. **Sustainability in Debate**, v.12, n.1, p.150-169, Brasília, 2021.

NÓBREGA, A. E. L.; NEVES, Y. T. Determinação e Espacialização de Parâmetros de Equações de Chuvas Intensas para o Estado da Paraíba. **Geosp**, v.28, n.3, e215955. 2024. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2024.215955pt>.

PENG, J.; WANG, Q.; YANG, X.; YU, L.; XHONG, X. Application and Evaluation of LID Facilities in Spong Airport, China. **Water Science & Technology**, v.85, n.3, 2022. DOI: [10.2166/wst.2022.026](https://doi.org/10.2166/wst.2022.026).

ROSSMAN, L. A. et al. Storm Water Management Model User's Manual. Cincinnati: **Office of Research and Development - Water Supply and Water Resources Division**, 2015.

ROSSMAN, L. A.; SIMON, M. A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2**. United States Environmental Protection Agency - EPA, 2022.



TEJADAS, B. E.; POSSANTTI, I. B.; MARQUES, G. Simulação de Tecnologias LID em Lotes Urbanos para Controle de Escoamento Superficial. **Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2019.

XIE; NING; AKIN, M.; SHI, X. Permeable Concrete Pavements: A review of environmental benefits and durability. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, 1605-1621, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.134>


ZHANG, X.; KANG, A.; LEI, X.; WANG, H. Urban Drainage Efficiency Evaluation and Flood Simulation Using SWMM and Terrain Structural Analysis. **Science of the Total Environment**, v. 957, 2024.

**APÊNDICE A – Planilha de campo do ensaio de permeabilidade em campo**

Hora	TEMPO		NÍVEL			INFILTRAÇÃO		VELOCIDADE		OBS.
	Min.	Acumul. (min)	Leitura (mm)	Diferença (mm)	Acumulada (mm)	Infiltração (mm/h)				
08:53:00	0	0	204	0	0	0				
08:58:00	5	5	188	16	16	192				
09:03:00	5	10	175	13	29	156				
09:08:00	5	15	159	16	45	192				
09:13:00	5	20	149	10	55	120				
09:18:00	5	25	135	14	69	168	1			
09:23:00	5	30	191	13	82	156				
09:33:00	10	40	162	29	111	174				
09:43:00	10	50	134	28	139	168	1			
09:53:00	10	60	181	23	162	138				
10:03:00	10	70	158	23	185	138				
10:13:00	10	80	132	26	211	156	1			
10:23:00	10	90	172	32	243	192				
10:33:00	10	100	154	18	261	108				
10:48:00	15	115	124	30	291	120	1			
11:03:00	15	130	165	39	330	156	1			
11:18:00	15	145	166	38	368	152	1			
11:33:00	15	160	166	38	406	152				
11:48:00	15	175								

Altura do Anel (mm) 204

OBS. 1: Realizado reabastecimento dos anéis.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Patos - Código INEP: 25281925
	Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

<b>Assunto:</b>	Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
<b>Assinado por:</b>	Avanil Martins
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Avanil Martins Alves Neto, ALUNO (202016550027) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS, em 19/03/2025 21:25:19.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1426798

Código de Autenticação: 2595ee4be3

