

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E**  
**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**FERNANDA BARBOSA GOMES MELLO**

**COMPARATIVO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO**  
**CONVENCIONAL E PAVIMENTO PERMEÁVEL**

**VITÓRIA**  
**2022**

FERNANDA BARBOSA GOMES MELLO

**COMPARATIVO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO  
CONVENCIONAL E PAVIMENTO PERMEÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de Concentração de Saneamento Ambiental.

**VITÓRIA  
2022**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M527c Mello, Fernanda Barbosa Gomes, 1985-  
Comparativo de custos de implantação de pavimento convencional e pavimento permeável / Fernanda Barbosa Gomes Mello. - 2022.  
136 f.

Orientador: Daniel Rigo.  
Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Drenagem. 2. Pavimentos. I. Rigo, Daniel. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---

# **FERNANDA BARBOSA GOMES MELLO**

## **COMPARATIVO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO CONVENCIONAL E PAVIMENTO PERMEÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Modalidade Profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de concentração em Sustentabilidade, Ambiente e Sociedade e linha de pesquisa em Saneamento Ambiental e Saúde Pública.

Aprovada em 27 de janeiro 2022.

### **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. D.Sc. Daniel Rigo  
Orientador - PPGES / CT / UFES

---

Prof. D.Ing. Ricardo Franci Gonçalves  
Examinador Interno – PPGES / CT / UFES

---

Prof. D.Sc. Patrício José Moreira Pires  
Examinador Externo – PPGECC / CT / UFES

Em conformidade com as normas prescritas na Portaria Normativa Nº. 08/2021 – PRPPG/UFES, o Sr. Presidente da banca examinadora atesta que, a defesa foi realizada por meio de webconferência, ou outro suporte eletrônico a distância equivalente.

---

Prof. D.Sc. Daniel Rigo  
Orientador – PPGES / CT / UFES



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por DANIEL RIGO - SIAPE 1172712  
Departamento de Engenharia Ambiental - DEA/CT  
Em 01/02/2022 às 08:29

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/351030?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
RICARDO FRANCI GONCALVES - SIAPE 1176053  
Departamento de Engenharia Ambiental - DEA/CT  
Em 01/02/2022 às 08:47

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/351040?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
PATRICIO JOSE MOREIRA PIRES - SIAPE 1892755  
Departamento de Engenharia Civil - DEC/CT  
Em 01/02/2022 às 13:56

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/351407?tipoArquivo=O>

Dedico esta pesquisa aos meus filhos Luiz Henrique e Luiz Fernando. Que eles cresçam buscando o amor e o conhecimento, sem os quais prevalecem o preconceito e a ignorância.

Primeiramente a DEUS, a Quem devo toda honra e glória. Aos meus pais que sempre me apoiaram e me orientaram na busca do conhecimento, através dos estudos. Ao meu esposo e filhos pelo apoio e cooperação. Ao professor Daniel Rigo pela sugestão do tema, orientação e pela paciência.

A todos que, de alguma forma, me ajudaram, o meu muito obrigada!!

"Só quando a última árvore for derrubada,  
o último peixe for morto e o último rio for  
poluído é que o homem perceberá que  
não pode comer dinheiro."

Provérbio Indígena

## RESUMO

A ocupação desordenada aliada à falta de planejamento na construção das cidades acarretou um cenário insustentável, no qual a interação entre o homem e o meio ambiente precisa ser repensada. No que tange à gestão das águas pluviais, novos conceitos e processos tem surgido, no intuito de minimizar os impactos provocados pela urbanização. Nesse contexto, aparecem os SuDS - Sustainable Drainage Systems. SUDs são sistemas de drenagem sustentáveis que priorizam técnicas de controle de águas pluviais na fonte, dentre essas técnicas estão os pavimentos permeáveis que facilitam a infiltração de águas pluviais, diminuindo o escoamento superficial, além de servir como um filtro para a água da chuva e de aumentar a segurança da via. Outra grande vantagem do uso do pavimento permeável é que ele não demanda espaço extra para sua implantação. Em loteamentos, por exemplo, o pavimento permeável é aplicado no próprio arruamento e pode ser usado em calçadas, praças, estacionamentos, entre outros. Apesar da vasta lista de benefícios, o pavimento permeável é uma solução pouco usada no Brasil. Em vias de baixo tráfego, por exemplo é comum utilizar o pavimento convencional com bloco de concreto (PCBC). O presente estudo apurou o custo de implantação de pavimento permeável com bloco de concreto poroso (PPBCP) e comparou ao custo de implantação de PCBC, em vias de um loteamento residencial, constatando que a implantação do PPBCP pode ser de 5,23% a 46,27% mais cara que a implantação do PCBC. Verificou-se também que, em cenários onde o custo do bloco de concreto poroso é reduzido, o custo de implantação do PPBCP fica mais atrativo, chegando a uma diferença de -17,22% com relação ao custo de implantação do PCBC, quando os preços do bloco de concreto convencional e do bloco de concreto poroso são iguais.

Palavras chave: Pavimentos permeáveis - técnicas compensatórias - Sistema Urbano de Drenagem Sustentável - bloco de concreto poroso - custo de implantação.

## ABSTRACT

The disorderly occupation combined with the lack of planning in the construction of cities resulted in an unsustainable scenario, where the interaction between man and the environment needs to be rethought. Regarding the management of rainwater, new concepts and processes have emerged in order to minimize the impacts caused by urbanization, in this context, the SuDS - Sustainable Drainage Systems appear. SUDs are sustainable drainage systems that prioritize rainwater control techniques at the source, among these techniques are permeable pavements that facilitate the infiltration of rainwater by reducing surface runoff, in addition to serving as a filter for rainwater and increasing road safety. Another great advantage of using permeable pavement is that it does not require extra space for its implementation, in subdivisions, for example, permeable pavement is applied on the streets and can be used in sidewalks, squares, parking lots, etc. Despite the vast list of benefits, permeable pavement is a little used drainage solution, on roads with low traffic, for example, it is common to use conventional concrete blocks. The present study determined the cost of installing a permeable pavement with porous concrete block (PPBCP) and compared it to the cost of implementing a conventional pavement with concrete block (PCBC), in the paths of a residential subdivision, noting that the implantation of the PPBCP can be from 5.23% to 46.27% more expensive than the implementation of the PCBC. It was also verified that, in scenarios where the cost of the porous concrete block is reduced, the cost of implantation of the PPBCP becomes more attractive, reaching a difference of -17.22% in relation to the cost of implantation of the PCBC, when the conventional concrete block and porous concrete block prices are the same.

Keywords: Permeable pavements - compensatory techniques - Sustainable Urban Drainage System - porous concrete block - implementation cost.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A influência da urbanização na drenagem natural.....	24
Figura 2 - Conceito de canalização x reservação.....	25
Figura 3 - Sistemas de pavimentos permeáveis com infiltração.....	30
Figura 4 - Principais camadas do sistema de pavimentos permeáveis.....	31
Figura 5 - Blocos de concreto pré-moldados vazados.....	32
Figura 6 - Demonstração da permeabilidade do pavimento de concreto poroso.	33
Figura 7 - Demonstração da permeabilidade do pavimento de asfalto poroso.....	33
Figura 8 - Detalhe do tubo de PVC corrugado e perfurado.....	36
Figura 9 - Fluxograma de projeto.....	40
Figura 10 - Fluxograma para análise de viabilidade.....	41
Figura 11 - Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico.	57
Figura 12 - Sistema de pavimento permeável com infiltração total.....	59
Figura 13 - Sistema de pavimento permeável com infiltração parcial.....	60
Figura 14 - Sistema de pavimento permeável sem infiltração.....	60
Figura 15 - Preparação do subleito.....	67
Figura 16 - Colocação da manta.....	68
Figura 17 - Abertura de vala para instalação do dreno.....	69
Figura 18 - Instalação dos drenos.....	69
Figura 19 - Execução das camadas de sub-base e base.....	70

Figura 20 - Assentamento das peças pré-moldadas de concreto.....	71
Figura 21 - Assentamento de blocos de concreto poroso no bairro Barra do Jucu, Vila Velha – ES.....	72
Figura 22 – Rejuntamento.....	72
Figura 23 - Compactação.....	73
Figura 24 - Dimensões da área de estudo .....	75
Figura 25 - Blocos de concreto poroso e convencional. ....	77
Figura 26 - Projeto tipo MF – 01.....	82
Figura 27 - Dispositivos de drenagem.....	86
Figura 28 - Numeração das ruas para dimensionamento dos drenos e coletor tronco.....	91

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Tipo de infiltração do pavimento permeável em função das condições locais.....	31
Quadro 02 - Coeficiente de escoamento de superfícies.....	44
Quadro 03 - Coeficientes de escoamento C para período de retorno $\leq 10$ anos. ....	44
Quadro 04 - Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração (Método do SCS).....	46
Quadro 05 - Descrição de CN para diferentes solos e coberturas de uso e ocupação.....	48
Quadro 06 - Permeabilidade de solos.....	50
Quadro 07 - Coeficientes de permeabilidade K .....	51
Quadro 08 - Características dos solos.....	52
Quadro 09 - Parâmetros de tráfego correlacionados classificação funcional de vias.....	54
Quadro 10 - Definição da espessura da base de pavimentos.....	56
Quadro 11 - Custos relativos de soluções com pavimentos permeáveis.....	66
Quadro 12 - Características físicas e estruturais da rede viária básica.....	75
Quadro 13 - Definição da espessura da base de pavimentos.....	78

Quadro 14 - Espaçamento entre poços de visita.....	86
Quadro 15 - Índices de reajuste do DNIT.....	95
Quadro 16 - Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Redução de poluentes ao usar pavimentos permeáveis.....	28
Tabela 02 - Granulometria recomendada para as camadas de sub-base e base do pavimento permeável.....	35
Tabela 03 - Granulometria recomendada para as camadas de para as camadas de assentamento e material de rejunte do pavimento permeável.....	37
Tabela 04 - Relação raio hidráulico $x y/d$ .....	63
Tabela 05 - Coeficiente de rugosidade de Manning.....	64
Tabela 06 - Pesquisas que estudaram o coeficiente volumétrico de superfícies porosas.....	79
Tabela 07 - Dados da sarjeta.....	83
Tabela 08 - Dimensionamento dos Bueiros Tubulares.....	84
Tabela 09 - Características do subleito para implantação do PPBCP.....	87
Tabela 10 - Dados do dreno.....	91
Tabela 11 - Custo da drenagem convencional.....	99
Tabela 12 - Custo da pavimentação e drenagem convencional.....	101
Tabela 13 - Dimensionamento do Pavimento Permeável da Hipótese 1 (PPBCP Infiltração Total) .....	102
Tabela 14 - Custo de implantação do PPBCP infiltração total.....	103
Tabela 15 - Dimensionamento do Pavimento Permeável da Hipótese 2 (PPBCP	

Infiltração Parcial) .....	104
Tabela 16 - Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração de $10^{-7}$ m/s....	105
Tabela 17 - Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração de 1,4.10 <sup>-6</sup> m/s.....	106
Tabela 18 - Dimensionamento do coletor tronco.....	106
Tabela 19 - Custo de implantação do PPBCP infiltração parcial.....	107
Tabela 20 - Dimensionamento do Pavimento Permeável da Hipótese 3 (PPBCP Sem Infiltração) .....	107
Tabela 21 - Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração = 0,0 e CBR ≥ 2,5.....	108
Tabela 22 - Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração = 0,0 e CBR = 2,0.....	109
Tabela 23 - Custo de implantação do PPBCP sem infiltração .....	110
Tabela 24 - Custo de implantação do PPBCP Infiltração Total X PCBC.....	110
Tabela 25 - Custo de implantação do PPBCP Infiltração Parcial X PCBC.....	111
Tabela 26 - Custo de implantação do PPBCP Sem Infiltração X PCBC.....	112
Tabela 27 – Cenários considerando diferentes preços do bloco de concreto.....	113

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
3.1	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	26
<b>3.1.1</b>	<b>Tipos de Pavimentos Permeáveis .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Estrutura dos Pavimentos Permeáveis .....</b>	<b>31</b>
3.2	PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	38
<b>3.2.1</b>	<b>Concepção Funcional do Empreendimento .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Concepção do Pavimento Permeável.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Estudos Hidrológicos e Hidráulicos .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Serviços Geotécnicos .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Serviços Topográficos.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Estudos de Tráfego .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Projeto Geométrico .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.8</b>	<b>Projeto de Terraplenagem .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.9</b>	<b>Projeto de Pavimentação.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.10</b>	<b>Projeto de Drenagem .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.11</b>	<b>Projetos Complementares.....</b>	<b>64</b>
3.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DE CUSTO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS. ....	64
3.4	EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COM BLOCO DE CONCRETO POROSO .....	66
<b>3.4.1</b>	<b>Preparação do subleito.....</b>	<b>66</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Posicionamento da manta.....</b>	<b>67</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Instalação dos tubos de drenagem.....</b>	<b>68</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Execução das camadas de sub-base e base.....</b>	<b>69</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Assentamento das peças pré-moldadas de concreto .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4.6</b>	<b>Rejuntamento .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.7</b>	<b>Compactação .....</b>	<b>73</b>

---

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>74</b>
4.1	ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO .....	74
4.2	TIPO DE PAVIMENTO .....	76
4.3	DIMENSIONAMENTO MECÂNICO DOS PAVIMENTOS.....	78
4.4	DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM .....	79
4.5	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEAVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO (PPBCP) .....	87
4.5.1	<b>Hipótese 1 - PPBCP Infiltração Total .....</b>	<b>90</b>
4.5.2	<b>Hipótese 2 - PPBCP Infiltração Parcial .....</b>	<b>90</b>
4.5.3	<b>Hipótese 3 - PPBCP Sem Infiltração .....</b>	<b>92</b>
4.6	ORÇAMENTO .....	93
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>99</b>
5.1	PAVIMENTAÇÃO CONVENCIONAL COM BLOCO DE CONCRETO .....	99
5.2	PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO.....	101
5.3	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	110
5.3.1	<b>Influência do Custo do Bloco de Concreto no Preço Total de Implantação do Pavimento. ....</b>	<b>113</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>118</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXO 1 – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA .....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXO 2 – COMPOSIÇÕES .....</b>	<b>134</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada aliada a falta de planejamento na construção das cidades acarretou um cenário insustentável, onde a interação entre o homem e o meio ambiente precisa ser repensada. No que tange à gestão das águas pluviais, novos conceitos e processos tem surgido no intuito de minimizar os impactos provocados pela urbanização, além de propiciar maior conforto e interação com a paisagem natural. Nesse contexto, aparecem os SuDS - *Sustainable Drainage Systems*.

SuDS são sistemas de drenagem sustentável baseados em uma estrutura científica holística de sustentabilidade, onde todos os custos ambientais, conjuntamente aos fatores econômicos e sociais, devem ser considerados nos processos de tomada de decisões (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Dentro da possibilidade de implantar um sistema sustentável, o uso de pavimentos permeáveis tem se apresentado como uma alternativa viável em várias localidades. Segundo Marchioni e Becciu (2015) os resultados de pesquisas e estudos de caso relatados na literatura confirmam a viabilidade e os benefícios do uso de pavimentos permeáveis em áreas urbanas, além disso esta solução já é bem conhecida, comercialmente disponível e referida em muitas legislações municipais.

Os pavimentos permeáveis, quando usados em substituição ao pavimento comum (sendo o concreto asfáltico e o bloco de concreto, os tipos mais usados no Brasil), permitem a diminuição do volume de água de chuva escoado, além de aturem na qualidade da água infiltrada e na redução do aumento de temperatura provocada pela “ilha urbana de calor”. De acordo com Saadeh et al (2019) a estrutura do pavimento permeável serve como um reservatório para armazenar água e minimizar os impactos negativos das águas pluviais. Esses pavimentos ajudam a equilibrar o processo do ciclo hidrológico, podem eliminar a necessidade de tubos de drenagem e aumentam a resistência à derrapagem entre o pneu do veículo e a superfície do pavimento.

Atualmente, os pavimentos permeáveis são aplicados em áreas com baixa cargas de veículos e/ou volumes de tráfego, como calçadas, estacionamentos e ruas residenciais. No futuro, no entanto, com avanços na tecnologia e regulamentos

---

ambientais mais rigorosos, prevê-se que o pavimento será usado em estradas e rodovias urbanas (KAYHANIAN et al, 2019).

No Brasil, mesmo diante do apelo ambiental, os projetos de pavimentação, em grande parte, não consideram em sua análise a possível aplicação de pavimento permeável. Apesar dessa alternativa ser amplamente estudada, ser normatizada através da ABNT NBR 16.416/2015 e ser regulada por leis municipais, a falta de dados para estimativa dos custos aparece como entrave para aplicação de uma análise mais ampla.

O presente estudo propõe apurar o custo de implantação de pavimentos permeáveis, com bloco de concreto poroso, e compará-lo ao custo de implantação de pavimentação e drenagem convencional, com bloco de concreto, de forma a auxiliar tomadas de decisões que, na prática, podem mudar o conceito de pavimentação, integrando soluções inteligentes em prol da economia, segurança e sustentabilidade.

---

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Comparar os custos de implantação de pavimento permeável com bloco de concreto poroso (PPBCP) com os custos de implantação de pavimento convencional com bloco de concreto (PCBC), em vias de um loteamento residencial.

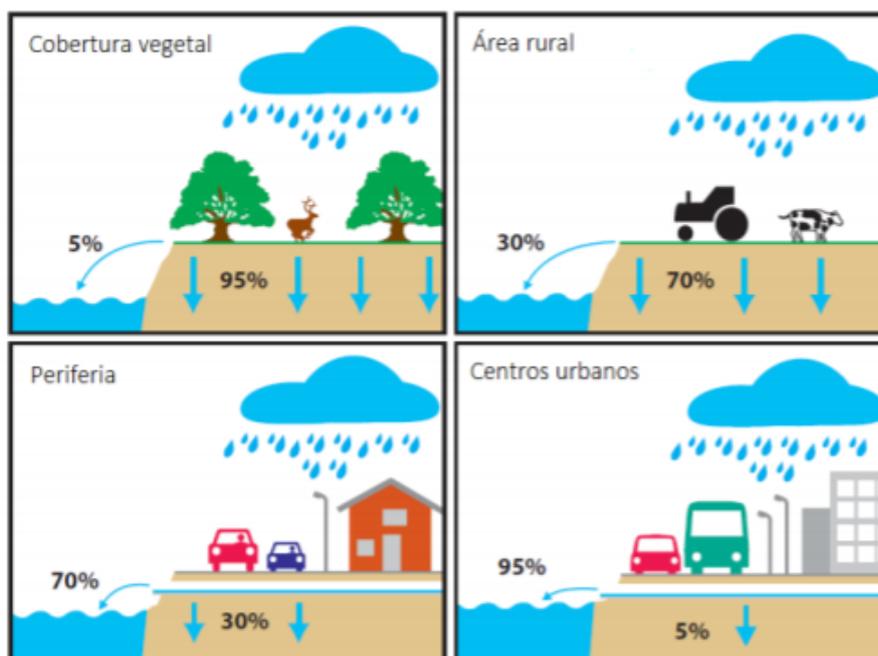
### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar a estrutura de um pavimento convencional com bloco de concreto (inclusive microdrenagem convencional), em vias de um loteamento residencial, para diferentes tipos de solo.
- Dimensionar a estrutura de um pavimento permeável com bloco de concreto poroso, em vias de um loteamento residencial para diferentes condições de implantação que envolvem o tipo de solo, o nível do lençol freático e a possibilidade de contaminação do sub-leito;
- Elaborar orçamentos dos itens (serviços) relevantes para comparação dos custos de implantação dos pavimentos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de urbanização atual tem provocado a impermeabilização do solo através de sua ocupação com construções de casas, edifícios, centros comerciais, praças, vias, entre outros. Em uma área com cobertura florestal, por exemplo, 95% da água da chuva se infiltra no solo, enquanto nas áreas urbanas este percentual chega a cair para apenas 5%, conforme ilustração da Figura 1 (INTERPAVE, 2008). Além disso, em muitas cidades no mundo, o processo de ocupação do solo não ocorreu de forma planejada, contribuindo ainda mais para que os efeitos da urbanização provocassem prejuízos ao homem e ao meio ambiente. As inundações são um exemplo dos efeitos negativos que podem ser contornados através de diferentes tipos de mecanismos.

Figura 1 - A influência da urbanização na drenagem natural



Fonte: Interpave (2008)

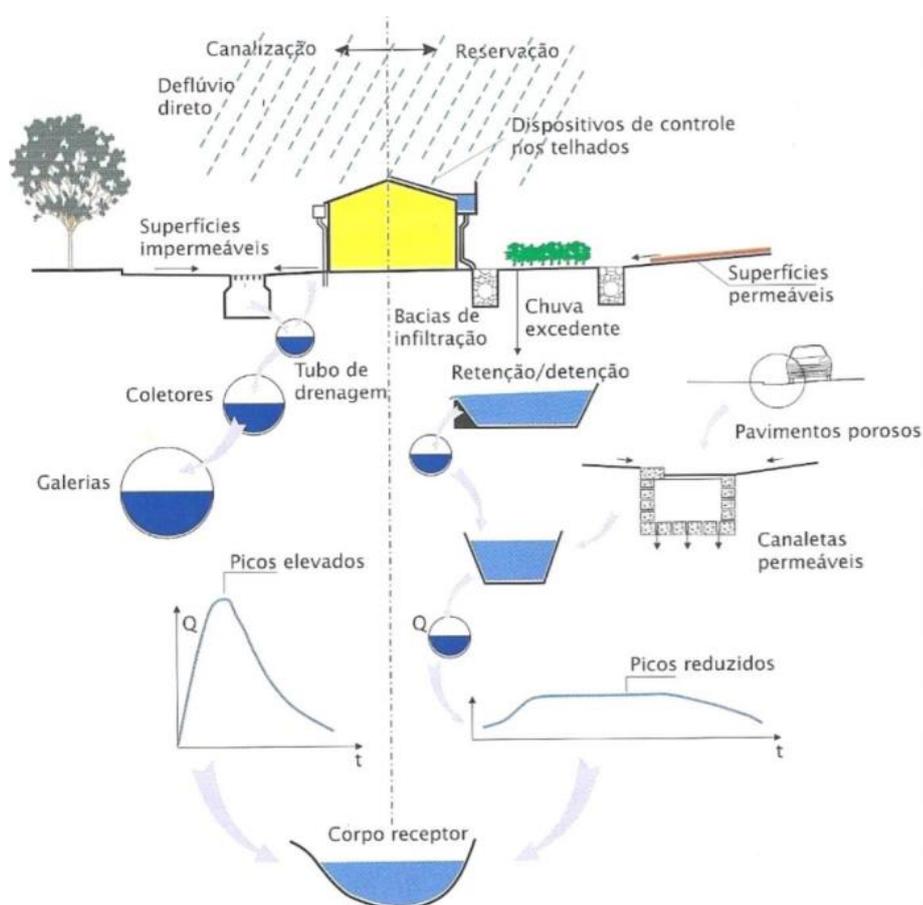
O sistema clássico de drenagem urbana possui preceitos chamados de higienistas que recomendam a rápida evacuação da água das áreas urbanas por meio de condutos, preferencialmente subterrâneos funcionando por gravidade. Esse sistema é constituído basicamente por dispositivos como sarjetas, boca de lobo e tubulação de drenagem que desaguam em canais abertos ou galerias.

A partir de 1970, outros mecanismos de drenagem alternativos passaram a ser mais amplamente estudados. As novas soluções propostas são medidas compensatórias

que consideram o impacto da urbanização de forma geral, buscando compensar os seus efeitos através do controle do excesso de água oriundo da impermeabilização, evitando sua transferência rápida para jusante (VIRGILIIS, 2009).

A Figura 2 ilustra o impacto das medidas compensatórias na redução do pico de vazão provocado pelas medidas higienistas (canalização).

Figura 2: Conceito de canalização x reservação.



Fonte: Canholi (2014).

Dentre as medidas não convencionais mais frequentemente adotadas temos aquelas que incrementam o processo de infiltração, retenção do escoamento ou retardo do fluxo nas calhas de córregos e rios (CANHOLI, 2014).

As alternativas de infiltração compõem um conjunto de estruturas e dispositivos que favorecem a infiltração da água no solo, compensando os efeitos da urbanização na fonte, atuando na diminuição das vazões máximas e contribuindo para a recarga das águas subterrâneas (CASTRO, 2012).

Essas medidas são amplamente utilizadas em vários países. Nos Estados Unidos, alguns estados têm criado leis mudando os objetivos e métodos de drenagem urbana, impondo a máxima infiltração ou armazenamento temporário da água de escoamento superficial. Em certos casos, a água armazenada é conduzida para diversos usos, tais como a irrigação (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

No Brasil, os conceitos e as metodologias de implantação e operação das técnicas compensatórias ainda são pouco conhecidos e difundidos. Além disso, não existem políticas públicas universalizadas de incentivo à sua adoção (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016).

Os pavimentos permeáveis apresentam-se como medidas compensatórias, não convencionais, com grande potencial de aplicabilidade visto que não necessitam de espaço urbano extra para seu uso, além de atenderem a dupla função de melhorar a qualidade da água e de reduzir a quantidade do escoamento superficial.

### 3.1 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

De acordo com Virgiliis (2009), pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade consideravelmente elevada de maneira a influenciar a hidrologia causando um efeito positivo ao meio ambiente.

A ABNT/NBR 16416:2015 traz a seguinte definição: pavimento permeável é aquele que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura.

Um projeto de pavimentação que contempla aplicação de pavimentos permeáveis está de acordo com o conceito de Projeto Urbano Sensível à Água (WSUD) que visa melhorar a capacidade dos ambientes urbanos de capturar, tratar e reutilizar as águas pluviais antes que elas tenham a chance de poluir e degradar nossos corpos hídricos (SARTIPI; SARTIPI, 2019).

Pinto (2011) mostrou que o desempenho do pavimento permeável testado em um estacionamento da universidade de São Paulo, resultou em um amortecimento de vazão afluente entre 28% e 87% no Bloco de concreto permeável e entre 56% e 85%

no concreto poroso asfáltico, concluindo que esse dispositivo se mostrou muito eficiente.

Sartipe e Sartipe (2019) apontam algumas vantagens no uso de pavimentos permeáveis com concreto poroso, entre elas:

- Drenagem instantânea de águas pluviais;
- Absorção de ruído dos veículos devido à alta porosidade;
- Aumento na segurança das estradas, evitando o brilho das superfícies escorregadias em condições de chuva;
- Alta capacidade de absorção de calor, ajudando a reduzir os efeitos do fenômeno das ilhas de calor.

O efeito da ilha de calor é caracterizado por temperaturas mais altas em área urbanas do que em áreas rurais, isso acontece devido às mudanças nas características da cobertura do solo, com supressão de vegetação e da evapotranspiração. Estudos comprovam que o pavimento permeável pode contribuir para a mitigação da Ilha de calor, sendo que a redução da temperatura pode chegar a 9,4°C (LIU; LI; PENG, 2018).

Os pavimentos permeáveis também demonstraram uma funcionalidade eficaz na remoção de poluentes principalmente por causa do processo de infiltração que ocorre (ANTUNES; GHISI; THIVES, 2018). Esse fator é de suma importância considerando que a contaminação dos mananciais é ocasionada pelo escoamento superficial, a qual transporta sedimentos coloidais que contêm nutrientes, em geral em altas concentrações (SANTOS et al., 2010).

Saadeh et al. (2019), comparou amostras de águas escoadas e águas infiltradas em pavimentos permeáveis. O estudo mostrou que as reduções médias de sólidos em suspensão (TSS) e da bactéria E. coli foram de 47% e 69%, respectivamente.

A porcentagem de remoção de alguns poluentes pode ser observada na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1: Redução de poluentes ao usar pavimentos permeáveis

Parâmetro	Redução de Poluentes (%)
Sólidos em suspensão	80-99
Fósforo	65-71
Azoto	75-85
Carbono orgânico total	82
Conduzir	50-98
Zinco	62-99
cromada	87-88
Cádmio	0-34
Cobre	42
Metais pesados	90-99
Demanda de oxigênio bioquímico	80-83
Demanda de oxigênio químico	88
Hidrocarbonetos	95
Óleo	97-98

Fonte: ANTUNES; GHISI; THIVES, 2018

A água pluvial infiltrada e armazenada na base do pavimento permeável pode ser utilizada como água não potável, após um simples processo de desinfecção. Uma simulação computacional mostrou que a água infiltrada em um estacionamento com pavimento poroso, poderia ser utilizada para lavagem de banheiro e mictórios de um edifício, representando uma economia de água potável na faixa de 53 a 54% (HAMMES; THIVES; GHISI, 2018).

É importante ressaltar que a infiltração nos pavimentos permeáveis pode ser afetada pela grande quantidade de sedimentos em suspensão presentes nas águas pluviais, que podem entupir a estrutura e, com o tempo, reduzir o desempenho do tratamento comprometendo sua vida útil. Pouco se sabe sobre o processo de entupimento dos pavimentos, mas, a manutenção periódica pode reduzi-lo através de varredura e/ou lavagem sob pressão (SANICOLA; LUCKE; DEVINE, 2018; RAZZAGHMANESH; BORST, 2018).

O desempenho do Pavimento Permeável depende muito das condições locais, incluindo distribuição de tamanho de partícula, cargas de sedimentos e a forma de importação de sedimentos para o Pavimento. Isso significa que devem ser realizados estudos específicos para cada região e não devem ser feitas comparações de resultados para pavimentos em condições diferentes (RECANATESI et al., 2017).

A manutenção de rotina é frequentemente usada para manter o desempenho hidráulico do pavimento permeável dentro de faixas de trabalho aceitáveis. Vários estudos relataram que o entupimento se estende apenas para a superfície superior do sistema de pavimento permeável e, portanto, a limpeza da superfície do pavimento pode potencialmente retornar a capacidade de infiltração para um nível aceitável. Em localidades com altos índices pluviométricos, alguns pesquisadores recomendam que a manutenção seja realizada de duas a quatro vezes por ano (RAZZAGHMANESH; BEECHAM, 2018).

Recomenda-se testar o pavimento logo após a sua construção e novamente após cinco anos para estimar sua taxa de entupimento. As conclusões deste estudo ajudarão a planejar a manutenção necessária dos pavimentos com mais confiança, para que eles continuem a desempenhar sua vida útil projetada (BOOGAARD et al., 2014).

Embora a manutenção periódica seja imprescindível, outros fatores também podem influenciar na taxa de infiltração. Um estudo realizado por BEAN et al. (2007) mostrou que pavimentos permeáveis que foram instalados em ambientes com solos arenosos mantiveram taxas de infiltração relativamente altas, independentemente da idade ou tipo do pavimento.

### **3.1.1 Tipos de Pavimentos Permeáveis**

Segundo Pinto (2011), os pavimentos permeáveis em uma primeira abordagem, podem ser de dois tipos:

**Infiltrantes:** quando se pretende que a água de chuva penetre na camada de pavimento e infiltre na camada do subleito.

**Armazenadores ou sem infiltração:** quando se pretende que a água de chuva permaneça retida dentro de um reservatório e seja despejada na microdrenagem por meio de condutos projetados para essa finalidade.

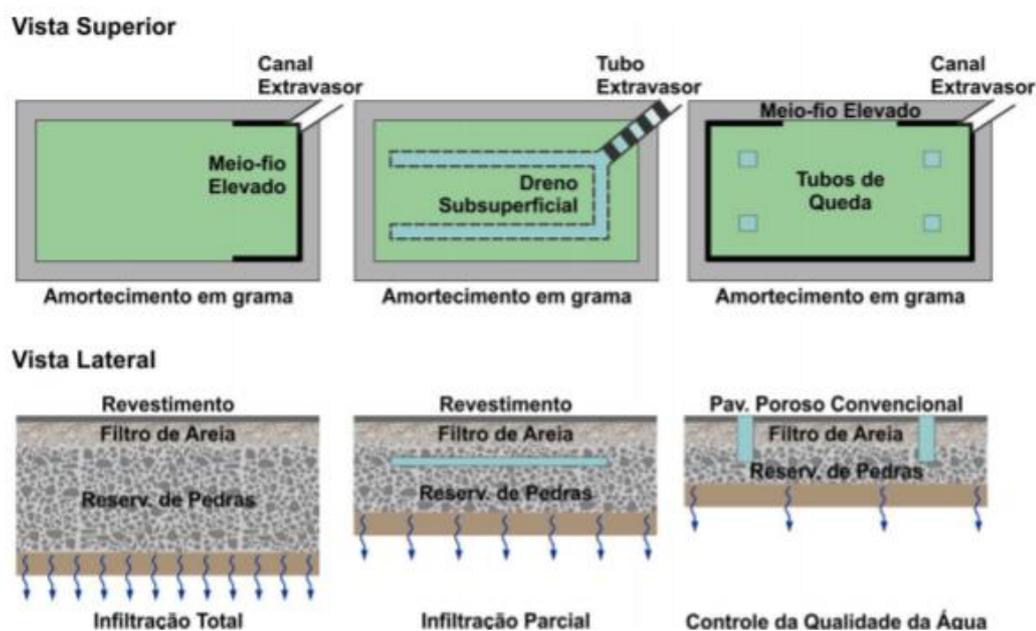
Ainda segundo a autora, os pavimentos infiltrantes podem ser de três tipos, de infiltração total, parcial ou para controle da qualidade da água. Os sistemas com infiltração total devem possuir uma camada granular de reservatório suficiente para

absorver o volume da chuva total de projeto descontada a porcentagem de água que infiltra durante a intempérie. Já os de infiltração parcial, usados em virtude da característica do material do subleito e sua capacidade de infiltração, possuem um sistema auxiliar de drenagem, que direcionam os volumes de água excedente que não serão infiltrados no solo.

O sistema de infiltração para o controle da qualidade de água é dimensionado somente para armazenar a parcela de água de chuva responsável pela maior aglutinação de poluentes, sendo que a chuva excedente não será tratada e deverá ser direcionada ao sistema de drenagem convencional.

A Figura 3 ilustra os três tipos de pavimentos infiltrantes: Infiltração total, parcial e para controle da qualidade da água.

Figura 3: Sistemas de pavimentos permeáveis com infiltração



Fonte: Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2013)

A ABNT NBR 16.416/2015 apresenta em seu Anexo B, de cunho informativo, o tipo de infiltração em função das condições locais, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipo de infiltração do pavimento permeável em função das condições locais

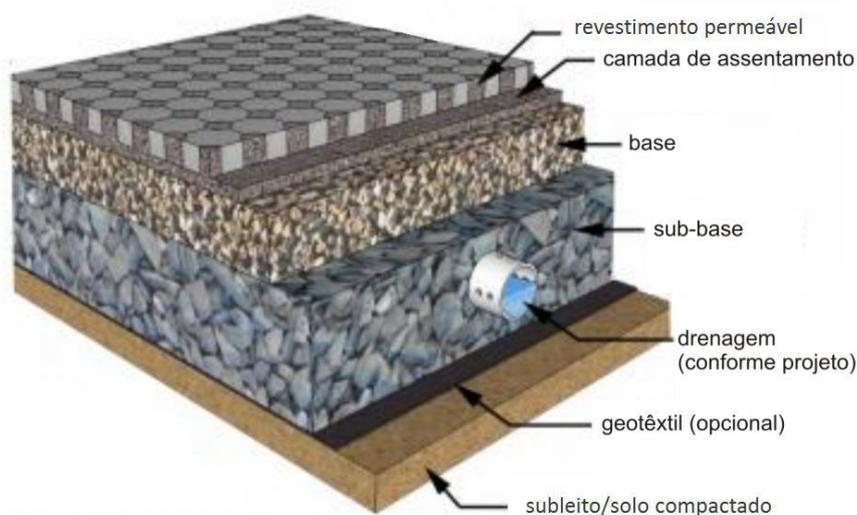
Condições locais		Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
Permeabilidade do subleito definida pelo coeficiente de permeabilidade $k$ (m/s)	$> 10^{-3}$	✓	✓	✓
	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	x	✓	✓
	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	x	x	✓
Máximo registro do lençol freático a pelo menos 1,0 m da camada inferior da base		x	x	✓
Presença de contaminantes no subleito		x	x	✓

Fonte: ABNT NBR 16.416/2015

### 3.1.2 Estrutura dos Pavimentos Permeáveis

A seção típica de um pavimento permeável é constituída basicamente dos mesmos componentes do pavimento convencional, sendo composta por: subleito; sub-base; base e revestimento. Além dos componentes básicos também pode ser usado dispositivos auxiliares como manta geotêxtil, tubos de drenagem e cama de assentamento. Poucos pavimentos possuem todos os componentes descritos, ao invés, cada pavimento deve ter uma combinação específica que atenda às suas próprias necessidades (VIRGILIIS, 2009). A Figura 4 apresenta a seção típica de um pavimento permeável.

Figura 4: Principais camadas do sistema de pavimentos permeáveis



Fonte: Motta (2019)

## Revestimento

De acordo com Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2013) quanto ao tipo de revestimento, os pavimentos permeáveis podem ser classificados em três tipos, a saber:

- Revestimento de concreto asfáltico poroso.
- Pavimentos de concreto de cimento Portland poroso.
- Pavimentos com blocos pré-moldados de concreto de cimento Portland vazados e preenchidos com material drenante granular ou areia."

O revestimento recebe diretamente o carregamento de tráfego transferindo esforços para as camadas inferiores. De maneira geral o revestimento é economicamente mais caro por ser constituído de material resistente ao desgaste. Subjetivamente ao revestimento são atribuídas características tais como aparência e acessibilidade (VIRGILLIS, 2009).

A camada de revestimento dos pavimentos permeáveis nos sistemas à base de cimento pode ser executada utilizando concreto poroso ou peças pré-moldadas de concreto que permite a passagem de água entre as juntas, conforme Figura 5 (MARCHIONE; SILVA, 2010).

Figura 5: Blocos de concreto pré-moldados vazados



Fonte: Virgiliis (2009)

O revestimento de concreto poroso pode ser moldado *in loco* ou pré-moldado. Na constituição desse revestimento é retirada uma fração da areia fina de sua mistura. Com isso consegue-se obter de 15% a 25% de vazios. Este tipo de pavimento possui maior resistência quando comparada ao concreto comum, porém é indicado para locais com tráfego leve ou pouco intenso, como calçadas (GONÇALVES; OLIVEIRA, 2014). A Figura 6 demonstra a permeabilidade de um bloco de concreto poroso.

Figura 6: Demonstração da permeabilidade do pavimento de concreto poroso



FONTE: BLINK102 (2018)

O asfalto poroso é outro tipo de revestimento normalmente usado para permitir a infiltração da água de chuva. No Brasil, a mistura asfáltica drenante mais conhecida é denominada Camada Porosa de Atrito – CPA –, cujas características estão descritas na especificação DNER-ES 386/99, do DNIT. Essa mistura asfáltica a quente apresenta, normalmente, 18% a 25% de vazios preenchidos com ar, em função das pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013). A Figura 7 demonstra a permeabilidade do asfalto posoro.

Figura 7: Demonstração da permeabilidade do pavimento de asfalto poroso



Fonte: Virgilis (2009)

## Base e Sub-base

A camada da base confere espessura à estrutura do pavimento e se encarrega de distribuir o carregamento sobre o subleito. Caso seja necessário, a camada de sub-base pode ser adicionada com a finalidade de aumentar a espessura ou para armazenar água no caso dos revestimentos porosos (VIRGILIIS, 2009).

A camada base também fornece grande parte da proteção de tensão de cisalhamento ao subleito e resistência à flexão na superfície do pavimento. No pavimento convencional, a camada de base é densamente compactada para fornecer uma plataforma para sobrepor a camada de superfície e fornecer boa resistência estrutural ao pavimento. Em pavimentos totalmente permeáveis, o percurso de base aberto é usado para permitir a água a ser armazenada enquanto se infiltra no subleito. O nível de compactação e a força resultante são influenciados pelo curso básico aberto. Para compensar a menor resistência e rigidez, é necessária uma espessura maior da camada de base. (SAADEH et al., 2019).

De acordo com ABNT NBR 16416:2015, a base e sub-base do pavimento permeável deve ser constituída por brita lavada com as seguintes características:

- Abrasão Los Angeles menor que 40, determinado de acordo com a norma brasileira NBR NM 51 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles".
- Índice de Suporte Califórnia (CBR) de pelo menos 80%, determinado de acordo com a norma brasileira NBR 9895 - Solo: Índice de Suporte Califórnia.
- Índice de vazios do agregado de, no mínimo, 32%, determinado de acordo com a Norma Brasileira NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.
- Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075mm igual ou menor que 2%, determinado pela NBR NM 46 - Agregados - Determinação do Material Fino que Passa Através da Peneira 75 um, por Lavagem.

Na Tabela 2, a seguir, estão as granulometrias sugeridas para a base e sub-base:

Tabela 2: Granulometria recomendada para as camadas de sub-base e base do pavimento permeável

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa %	
	Sub-base	Base
75 mm	0	—
63 mm	0 a 10	—
50 mm	30 a 65	—
37,5 mm	85 a 100	0
25 mm	90 a 100	0 a 5
19 mm	95 a 100	0 a 35
12,5 mm	—	40 a 75
4,75 mm	—	90 a 100
2,36 mm	—	95 a 100

Fonte: ABNT NBR 16416:2015

### Subleito

Material de subleito é o solo presente sob a camada base ou subbase do pavimento. Em pavimentos convencionais, o subleito é bem compactado durante a construção para aumentar a resistência estrutural do pavimento. No entanto, para implantação de pavimentos permeáveis, o grau de compactação deverá ser menor, de maneira a não impedir o processo de infiltração da água. Esta condição do subleito, pouco compactado e frequentemente saturado, deve ser considerado ao projetar a estrutura do pavimento permeável (SAADEH et al., 2019).

### Dispositivos Auxiliares

#### **Geotêxtil**

Entre as camadas da estrutura do pavimento deve ser utilizada um filtro geotêxtil, que impedirá a migração do material de uma camada para outra, auxiliando para que a estrutura não tenha redução na permeabilidade pela transferência de finos entre camadas (VIRGILIIS, 2009).

#### **Geomembrana (Manta Impermeável)**

O termo Geomembrana se aplica a um tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizado em sistemas impermeabilizantes. Alguns pavimentos porosos têm sua parte inferior revestida com geomembrana com o propósito de impedir a penetração de água para o subleito. Quando um solo possui material quimicamente tóxico a geomembrana impede a contaminação das águas ao meio ambiente. A função hidráulica de um pavimento cuja camada inferior da base é revestida limita-se a detenção e ao tratamento qualitativo das águas, não a infiltração (VIRGILIIS,2009).

### **Tubos de Drenagem**

Eventualmente há a necessidade de instalação de tubos do tipo dreno no fundo da camada de brita. Esses drenos permitem a liberação do excesso de água que venha a ficar armazenado no reservatório por um tempo superior ao máximo recomendado (ACIOLLI, 2005).

Os drenos tubulares apresentam elevada capacidade hidráulica, dependendo do diâmetro da tubulação e da declividade longitudinal adotados. Os tubos podem ser lisos ou corrugados de PVC, perfurados com diâmetro variável entre 5 cm e 10 cm (Suzuki *et al*, 2013). A Figura 8 apresenta um dreno tubular de PVC.

Figura 8: Detalhe do tubo de PVC corrugado e perfurado



Fonte: Suzuki et al, 2013

## Camada de Assentamento e rejunte

Nos pavimentos permeáveis o assentamento das peças pré-moldadas de concreto é feito utilizando agregado graúdo com dimensão máxima característica ( $D_{m\acute{a}x}$ ) igual a 9,5 mm, com granulometria recomendada de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Granulometria recomendada para as camadas de assentamento e material de rejunte do pavimento permeável

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa %
12,5 mm	0
9,5 mm	0 a 15
4,75 mm	70 a 90
2,36 mm	90 a 100
1,16 mm	95 a 100

Fonte: ABNT NBR 16416:2015

Um aspecto de grande importância no agregado da camada de assentamento é que ele tenha dimensão suficiente para garantir uma superfície uniforme para o assentamento das peças pré-moldadas de concreto, mas que também ocorra um travamento com a camada de base. Para que isso ocorra, de acordo com Marchioni e Silva (2021), os agregados da camada de base e da camada de assentamento devem atender o seguinte critério:

$$d_{15} \text{ base} / d_{15} \text{ assentamento} < 5 \text{ e } d_{50} \text{ base} / d_{50} \text{ assentamento} > 2$$

Onde:

$d_x$  = dimensão onde x% dos agregados é mais fino

O material de rejunte é aplicado em pavimentos permeáveis intertravados, cuja percolação ocorre entre as juntas ou entre as áreas vazadas do pavimento. Neste caso, dimensão máxima característica ( $D_{m\acute{a}x}$ ) deve ser igual ou menor que 1/3 da menor largura da junta ou da área vazada. A granulometria recomendada é a mesma do material de assentamento, conforme Tabela 3.

## 3.2 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Para implantação de pavimentos permeáveis existem algumas restrições que devem ser consideradas na fase de projeto.

As restrições para o uso de pavimentos permeáveis com infiltração são:

- ✓ Alto nível da camada impermeável do solo;
- ✓ Baixa permeabilidade do solo (é recomendada taxa de permeabilidade mínima de  $10^{-7}$  m/s);
- ✓ Alto nível do lençol freático (é recomendado que a parte inferior da base do pavimento esteja no mínimo a 0,60m de distância do nível alto do lençol)
- ✓ Possibilidade de contaminação do lençol freático;

Nestas situações, o sistema permeável (sem infiltração) tem a função de um reservatório de retenção e deve ser previsto um sistema de drenagem responsável por conduzir a água captada ao local de descarga (GONÇALVES; OLIVEIRA, 2014).

O projeto deverá ainda atender, no mínimo, as especificações e conter as informações a seguir (ABNT, NBR 16416/2015):

- Condições de implantação, utilização do pavimento e interferências em geral;
- Condições de carregamento quanto ao tipo de solicitação, se móvel ou estática, frequência, magnitude e configuração a qual o pavimento deve estar sujeito;
- Capacidade de suporte do solo, determinada pelo índice de suporte Califórnia, conforme ABNT NBR 9895;
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme a ABNT NBR 13.292 ou a ABNT NBR 14.545, dependendo do tipo de solo;
- Consideração da condição de saturação do solo no caso de sistemas de infiltração total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático, sendo necessário que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,60m de distância do nível alto do lençol;
- As áreas de contribuição não podem exceder em até cinco vezes as áreas permeáveis do pavimento;
- Declividade máxima de 5,0% para as áreas permeáveis;

- Declividade máxima de 20% para as áreas de contribuição, cabendo ao projetista determinar a necessidade de implantar dispositivos redutores de velocidade;
- Resistência mecânica do revestimento aplicado;
- Massa específica do concreto permeável, quando for o caso do concreto permeável moldado no local;
- Detalhamento das juntas longitudinais e transversais, quando for o caso, do concreto permeável moldado no local;
- Avaliação do risco de contaminação do lençol d'água, mantendo-se a distância de no mínimo de 30m de fontes de captação de águas subterrâneas

Segundo Virgiliis (2019), a elaboração do projeto pode ser dividida em 13 etapas conforme fluxograma a seguir.

Observa-se no fluxograma, apresentado na Figura 9, quatro fases fundamentais:

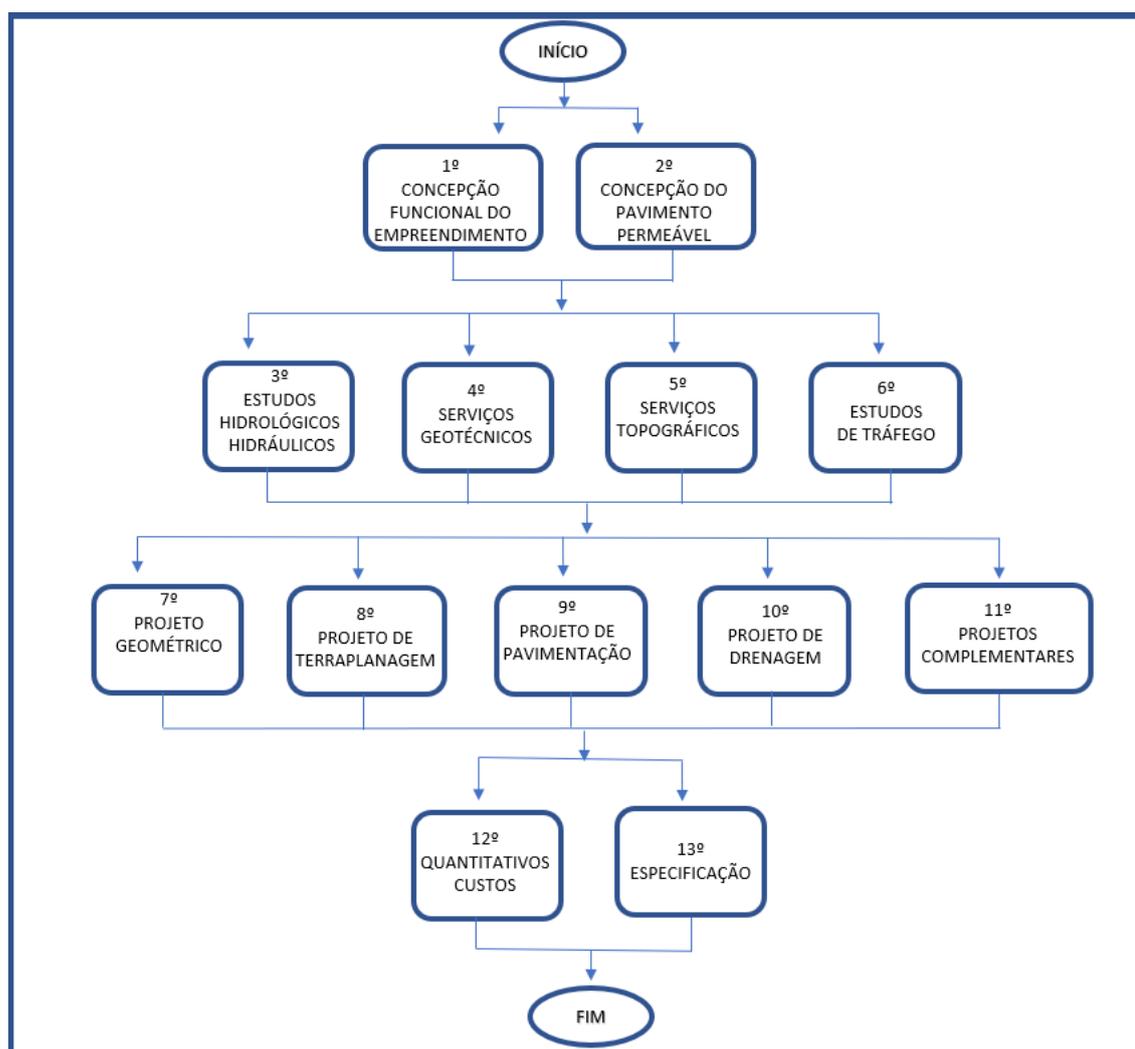
Fase 1 – Concepção (Concepção Funcional do Empreendimento e Concepção do Pavimento Permeável);

Fase 2 – Estudos (Hidrológicos, Hidráulicos, Geotécnicos, Topográficos e de Tráfego);

Fase 3 – Projetos (Geométricos, Terraplenagem, Pavimentação, Drenagem e Complementares) e

Fase 4 – Custos (Quantitativos e Especificações).

Figura 9: Fluxograma de projeto



Fonte: Adaptado de Virgiliis (2009)

### 3.2.1 Concepção Funcional do Empreendimento

Essa etapa visa definir as características físicas e operacionais do empreendimento onde será executado o pavimento permeável.

De acordo com a norma ABNT NBR 16.416/2015, o projeto de um pavimento permeável deve considerar o tipo de uso (estacionamentos, pátio industrial, vias de circulação de condomínios residenciais, parques etc.) e local de implantação.

Ainda de acordo com norma ABNT NBR 16.416/2015, a definição dos materiais e espessuras das camadas a serem executadas deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico. Para tanto, é necessário conhecer as vias

de acesso, os tipos de usuários, e frequência de eventos, composição e magnitude dos veículos de carga em relação ao volume total.

### 3.2.2 Concepção do Pavimento Permeável

A alternativa do pavimento permeável pode não ser viável para o local de implantação da obra, sendo assim, é importante verificar a viabilidade e depois definir a concepção ser adotada, podendo, o pavimento permeável, ser do tipo infiltração total, infiltração parcial ou sem infiltração.

O fluxograma apresentado na Figura 10 pode ajudar na análise e definição:

Figura 10: Fluxograma para análise de viabilidade



Fonte: Suzuki; Azevedo; Kabbach Júnior, (2013).

### 3.2.3 Estudos Hidrológicos e Hidráulicos

Os estudos hidrológicos e hidráulicos tem por objetivo determinar as vazões para o dimensionamento das estruturas de drenagem além da determinação da altura do

reservatório para armazenar o volume de água que infiltrará pelo pavimento. Esta altura deverá ser comparada com a obtida no dimensionamento estrutural (mecânico) do pavimento, devendo ser adotada a maior das duas espessuras.

Nessa etapa é definida a chuva de projeto considerando as curvas IDF Intensidade/ Duração/ Freqüência para o local do empreendimento e outros parâmetros como: tempo de retorno, coeficiente de escoamento superficial, vazão de projeto e precipitação excedente.

### 3.2.3.1 Precipitação e Período de Retorno

Em um dos métodos para definição da chuva de projeto são utilizadas as curvas IDF Intensidade/ Duração/ Freqüência para o local do empreendimento, a partir da obtenção de valores de precipitação em intervalos de tempo menores do que a duração total da chuva. Na ausência das curvas IDF pode-se recorrer a análise estatística de dados de chuva de pluviômetros, coletadas em intervalo de tempo diário.

Definida a Equação de Chuva a ser utilizada, passa-se à fixação dos períodos de recorrência, a qual envolve o conceito de “coeficiente de segurança” que se queira prestar às obras de drenagem. O tempo de retorno ou recorrência (TR) define o fator de probabilidade de ocorrência de determinada chuva. Quanto maior é o período de recorrência menor é a probabilidade de ocorrência de um afluxo às obras de drenagem superior ao previsto. De acordo com a norma ABNT NBR 16.416/2015, o período de retorno da precipitação deve ser no mínimo de dez anos, considerando a duração mínima de uma hora.

### 3.2.3.2 Cálculo das Vazões de Projeto

O cálculo do pico de vazão é baseado na metodologia utilizada para bacias até 2,0 Km<sup>2</sup>, indicada também para dispositivos de drenagem superficial onde os valores são obtidos pela fórmula do Método Racional (SUDERHSA, 2002):

$$Q=0,278.C.i.A$$

Em que:

Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

i é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

A é área de contribuição drenada (Km<sup>2</sup>).

### 3.2.3.3 Coeficiente de Escoamento Superficial “C”

O coeficiente “C” de escoamento superficial é também conhecido como coeficiente de runoff ou coeficiente de deflúvio. Por definição, coeficiente “C” é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado (Tucci,2000).

O valor de C, entre outros fatores, depende das características das superfícies tais como: impermeabilização, grau de compactação do solo, porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões onde a água pode ser armazenada.

De acordo com Tomaz (2012), influenciam no valor de “C” as seguintes variáveis:

- Porcentagem da área impermeável;
- Características do solo;
- Duração da chuva;
- Intensidade da chuva;
- Forma da área de drenagem;
- Capacidade de campo da camada de solo;
- Declividade da bacia;
- Freqüência escolhida;
- Uso do solo e características;
- Armazenamento de água na superfície do solo e
- Interceptação.

Os Quadros 2 e 3 trazem valores do coeficiente C, apresentados em manuais de hidrologia.

Quadro 2: Coeficiente de escoamento de superfícies

Tipo de Superfície	Coeficiente de Deflúvio C
<b>Ruas:</b>	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajeto de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
<b>Gramados: solos arenosos</b>	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
<b>Gramados: solo compacto</b>	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. DNIT, 2005.

Quadro 3: Coeficientes de escoamento C para período de retorno  $\leq 10$  anos.

Descrição da área	Coeficiente de Escoamento C
<b>Área comercial</b>	
Centro da cidade	0,70 a 0,95
Vizinhanças	0,50 a 0,70
<b>Área residencial</b>	
Habitações uni-familiares	0,30 a 0,50
Habitações multi-familiares isoladas	0,40 a 0,60
Habitações multi-familiares geminadas	0,60 a 0,75
Residencial suburbana	0,25 a 0,70
Apartamentos	0,50 a 0,70
<b>Industrial</b>	
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Parques e Cemitérios	0,10 a 0,25
Pátios pavimentados	0,20 a 0,35
Solo não cultivado	0,10 a 0,30
<b>Pavimentação</b>	
Asfalto ou concreto	0,70 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Telhados	0,70 a 0,95
<b>Gramado, solo arenoso</b>	
Terreno plano, 2%	0,05 a 0,10
Declividade média, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Bastante declividade, 7% ou mais	0,15 a 0,20
<b>Gramados, solo pesado</b>	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Declividade média, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Bastante declividade, 7% ou mais	0,25 a 0,35

Fonte: Manual of Practice – Design and Constructions of Sanitary and Storm Sewers, 1970 da ASCE in Wanielista, 1997 p. 206. Apud Tomaz (2007)

### 3.2.3.4 Precipitação Excedente

A chuva excedente é a denominação dada a parcela da chuva que escoara superficialmente pela bacia (CANHOLI, 2014).

Dentre as diversas metodologias para determinação do escoamento superficial direto, o método do SCS *Curve Number* é amplamente utilizado devido às seguintes características: possui reduzido número de parâmetros; permite a relação entre os parâmetros e as características físicas da bacia (PEREIRA, 2014).

Nesse modelo, a retenção de parte da chuva nas depressões do solo e a infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-vazão e que determinam a 68 quantidade de chuva que se transforma em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva. A estimativa da precipitação efetiva considera três variáveis: a precipitação no intervalo de tempo, a umidade anterior do solo e as características hidrológicas do solo. Na formulação está implícita uma retenção inicial de 20% da capacidade de infiltração do solo, para condições médias. A resultante está apresentada na equação a seguir:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S}$$

$$Ia = 0,2 \times S$$

Na qual:

Pe = Precipitação efetiva (mm);

P = precipitação total (mm);

Ia= perdas iniciais por retenção na bacia;

S = armazenamento do solo.

Para a determinação da capacidade máxima da camada superior do solo S, foi estabelecida uma escala na qual a variável é o parâmetro CN.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Na qual:

S = armazenamento do solo;

CN = Número de curva.

O parâmetro CN é um indicativo do potencial de infiltração do solo e varia de 0 a 100. Quanto menor o potencial de infiltração do solo, maior o CN. O CN varia em função da permeabilidade do solo, da cobertura vegetal, do tipo de superfície e da umidade anterior do solo.

No desenvolvimento do método, os solos são classificados em quatro tipos, que variam de acordo com a capacidade de infiltração do solo predominante na bacia. O quadro 04 apresenta a descrição de cada solo considerado pelo método.

Quadro 04: Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração (Método do SCS).

Grupo Hidrológico do Solo	Descrição	Capacidade de Infiltração (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos ( $h > 1,50$ m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%	1,20 - 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ( $h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila de até 10%	0,80 - 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas sub-superficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)	0,40 - 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis	0,15 - 0,00

Fonte: Canholi, 2014

As condições de umidade antecedente utilizadas pelo método se baseiam na quantidade de chuva acumulada nos últimos 5 dias. São elas:

Condição I: Solos secos, ou com precipitações acumulada menores que 15 mm nos últimos 5 dias.

Condição II: Situação média dos solos na época de cheias, com precipitações acumuladas entre 15 a 40 mm. Essa condição é normalmente utilizada para determinar os hidrogramas de escoamento superficial em vazões de projeto.

Condição III: Solos úmidos, em que as precipitações acumuladas nos últimos 5 dias ultrapassam o valor de 40 mm de chuva.

O Quadro 05 fornece os valores de CN para diferentes tipos de ocupação e para os quatro grupos hidrológicos. Os valores de CN apresentados correspondem à condição II de umidade, podendo ser convertida para as demais pelas Equações:

$$CN(I) = \frac{4,2 \times CN(II)}{10 - (0,058 \times CN(II))}$$

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + (0,13 \times CN(II))}$$

Onde CN(I), CN(II) e CN(III) são as condições de umidade nas três condições supracitadas. Dessa forma, é necessário definir a condição e a umidade da bacia analisada, e com auxílio das equações citadas alterar o valor de CN para a situação definida. Ao final, é calculado o valor escoamento superficial em função do CN encontrado.

Em situações que não se encontram as mesmas condições de uso e de ocupação do solo, de umidade e de tipo hidrológico de solo, é necessário que seja realizada uma média ponderada dos valores de CN em função das áreas delimitadas com a mesma característica.

Quadro 05: Descrição de CN para diferentes solos e coberturas

Tipos de Solo	Condições de Superfície	Área Impermeável (%)	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Estacionamentos e superfícies pavimentadas	Áreas impermeáveis: estacionamentos pavimentados, telhados, caminhos e passagens (excetuando-se passeios)	100	98	98	98	98
Comercial	Bairros urbanos de comércio e negócios	85	89	92	94	95
Industrial	Bairros industriais	72	81	88	91	93
Residencial	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 500m <sup>2</sup> ou menos (densidade elevada)	65	77	85	90	92
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 1000m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 1350m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 2000m <sup>2</sup> (densidade baixa)	25	54	70	80	85
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 8000m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82
Florestas	Madeira - Boa condição		30	55	70	77
Gramados, Pastagens	Pastagem, gramados ou campos - Boa Condição		39	61	74	80
Espaços Abertos	Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.). Condição satisfatória (cobertura de grama de 50% a 70%).		49	69	79	84
Agricultura	Cultivos em fileira - Linhas retas com resíduos de cobertura de vegetação do cultivo.		64	75	82	85

Fonte: Canholi, 2014

### 3.2.4 Serviços Geotécnicos

Essa etapa estuda as características geotécnicas do local de implantação do pavimento através de sondagem para caracterização do material do subleito e retirada de amostras para execução de ensaios geotécnicos correntes. Deverá ser verificada a posição do nível do lençol freático, ocorrência de solo mole, disponibilidade de caixas de empréstimo, bem como locais para depósito de materiais excedentes. Deverão ser avaliadas as características de permeabilidade do material existente no subleito para definição do tipo de funcionamento do reservatório: infiltração parcial ou armazenamento total (VIRGILIS, 2009).

As normas utilizadas para execução dessa etapa são as seguintes:

- DNER ME 041/94 - Preparação de Amostras para Ensaios de Caracterização
- DNER ME 080/94 - Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação
- DNER ME 082/94 – Determinação de Limite de Plasticidade
- DNER ME 122/94 – Determinação do Limite de Liquidez
- DNER ME 129/94 – Compactação Utilizando Amostras não Trabalhadas
- DNER ME 049/94 – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas
- ABNT NBR 9603/86 - “Execução de sondagens a Trado
- ABNT NBR 6502/95 - “Rochas e solos - terminologia”
- ABNT NBR 13441/95 - “Rochas e solos – simbologia

Os índices físicos, limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) ainda são utilizados para avaliar a variação de volume dos solos compactados, bem como a variação do teor de umidade por secagem (contração) ou por imersão em água (expansão). A variação de volume excessiva, sobretudo das camadas subjacentes ou constituintes dos pavimentos, é comumente considerada indesejável para o bom comportamento mecânico dos materiais empregados em camadas de pavimentos. Para as finalidades viárias, DNIT (Manual de Pavimentação, 2006) adota um máximo de 25% para Limite de liquidez e 6% para o Índice de plasticidade, para materiais empregados em camadas de base estabilizadas granulometricamente.

Outros parâmetros importantes para o projeto de pavimentos permeáveis são:

- Capacidade de suporte do solo de subleito conforme ABNT NBR 9895;
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme ABNT NBR 13292 ou 14545;
- Consideração da condição de saturação do solo no caso dos sistemas de infiltração total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático, sendo necessário que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,6m de distância do nível mais alto do lençol.

### 3.2.4.1 Capacidade de suporte do solo de subleito

A resistência mecânica dos solos e misturas pode ser avaliada pelo índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR), em que, além do valor da capacidade de suporte de amostras deformadas, obtém-se também, o valor da expansão que tem sido um parâmetro de grande importância em obras viárias (PEREIRA; MACHADO; CARVALHO, 2006).

O ensaio CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada.

A capacidade de suporte do solo de projeto é definida pelo Índice de Suporte Califórnia, a partir da análise dos resultados dos ensaios realizados.

Para definição do ISC de Projeto, é necessário realizar análise estatística dos ensaios de CBR das áreas das vias que deverá compor o subleito.

Os materiais constituintes do subleito deverão apresentar ISC maior que 2% e expansão volumétrica menor que 2% (MARCHIONE E OLIVIERA, 2021).

### 3.2.4.2 Taxa de infiltração do subleito

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo e se move para baixo em direção ao lençol freático. A taxa de infiltração no solo deve ser determinada pelos métodos previstos na ABNT NBR 13.292 ou ABNT NBR 14.545. A ABNT NBR 16.416 informa valores típicos dos coeficientes de permeabilidade K em função do grau de permeabilidade do solo, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 06: Permeabilidade de solos

Permeabilidade		Tipo de solo	K (cm/s)	K (m/h)
Solos Permeáveis	Alta	Pedregulhos	$>10^{-3}$	$>3,6$
	Alta	Areias	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	3,6 a 0,036
	Baixa	Siltes e	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	0,036 a 0,00036
Solos Impermeáveis	Muito	Argila	$10^{-7}$ a $10^{-9}$	0,00036 a
	Baixíssima	Argila	$<10^{-9}$	$<0,0000036$

Fonte: ABNT (2015)

Plínio Tomaz (2006), apresenta valores de K em função do tipo de solo, conforme quadro a seguir. DNIT (Manual de Drenagem de Rodovias, 2006) mostra o Quadro 7, a seguir:

Quadro 07: Coeficientes de permeabilidade K

Tipo de material	granulometria (cm)	K (cm/s)
Brita 5	7,5 a 10,0	100
Brita 4	5,0 a 7,5	80
Brita 3	2,5 a 5,0	45
Brita 2	2,0 a 2,5	25
Brita 1	1,0 a 2,0	15
Brita 0	0,5 a 1,0	5
Areia Grossa	0,2 a 0,5	$1 \times 10^{-1}$
Areia Fina	0,005 a 0,04	$1 \times 10^{-3}$
Silte	0,0005 a 0,005	$1 \times 10^{-5}$
Argila	menor que 0,0005	$1 \times 10^{-8}$

Fonte: Manual de drenagem e rodovias, DNIT (2006)

O Quadro 8, a seguir, apresenta o coeficiente de permeabilidade e CBR típicos para diferentes tipos de solo.

Quadro 08: Características dos solos

Classificação do Solo (USCS)		Típicos valores de coeficiente de permeabilidade [m/s]	Permeabilidade relativa quando compactado e saturado	Tensão de cisalhamento quando compactado	Compressibilidade	CBR típico
GW	Pedregulho bem graduado	10E-5 a 10E-3	Permeável	Excelente	Desprezível	30 - 80
GP	Pedregulho mal graduado	5.10E-5 a 10E-3	Muito permeável	Boa	Desprezível	20 - 60
GM	Pedregulho siltoso	10E-8 a 10E-4	Semipermeável a impermeável	Boa	Desprezível	20 - 60
GC	Pedregulho argiloso	10E-3 a 10E-6	Impermeável	Boa a razoável	Muito baixa	20 - 40
SW	Areia bem graduada	5.10E-6 a 5.E-4	Permeável	Excelente	Desprezível	10 - 40
SP	Areia mal graduada	5.10E-7 a 5.E-6	Permeável a semipermeável	Boa	Muito baixa	10 - 40
SM	Areia siltosa	10E-9 a 10E-6	Semipermeável a impermeável	Boa	Baixa	10 - 40
SC	Areia argilosa	10E-9 a 10E-6	Impermeável	Boa a razoável	Baixa	5 - 20
ML	Silte inorgânico de baixa plasticidade	10E-9 a 5.E-7	Impermeável	Razoável	Média	2 - 15
CL	Argila inorgânica de baixa plasticidade	10E-9 a 10E-8	Impermeável	Razoável	Média	2 - 5
OL	Silte orgânico de baixa plasticidade	10E-9 a 10E-6	Impermeável	Ruim	Média	2 - 5
MH	Silte inorgânico de alta plasticidade	10E-10 a 10E-9	Muito impermeável	Ruim a razoável	Alta	2 - 10
CH	Argila inorgânica de alta plasticidade	10E-11 a 10E-9	Muito impermeável	Ruim	Alta	2 - 5
OH	Argila orgânica de alta plasticidade	Não recomendado para pavimento intertravado permeável				
PT	Solos com alto teor de matéria orgânica	Não recomendado para pavimento intertravado				

Fonte: Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI, 2000), apud notas de aula de Marchiori, 2021.

Observa-se no Quadro 8 que não é recomendada a instalação de pavimentos permeáveis intertravados em solos com alto teor de argila orgânica ou em argilas orgânicas de alta plasticidade. Observa-se também no Quadro 8 que solos considerados permeáveis possuem CBR típico acima de 10.

#### 3.2.4.3 Condição de saturação do solo

A umidade excessiva no subleito e nas camadas da estrutura do pavimento pode ser proveniente de diversas fontes, a saber: infiltração, percolação, capilaridade e movimentos em forma de vapor de água.

O problema da condição de saturação do solo se agrava quando o subleito é constituído de materiais finos argilosos e quando os acostamentos laterais são

construídos por material pouco permeável, que atua como barreira, bloqueando as saídas.

Essa condição pode ser amenizada quando as vias são assentadas sobre subleito constituído de solos arenosos, nos quais a água infiltrada pode ser drenada verticalmente pela boa permeabilidade desse tipo de solo (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

#### 3.2.4.4 Nível do lençol freático

O nível do lençol freático é verificado através de investigação geotécnica.

De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416/2015, a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,60m de distância do nível alto do lençol. Essa recomendação é porque alguns solos podem perder suas características e sofrer desestruturação, mediante presença frequente de água. Mesmo em medidas de detenção ou retenção, isso pode ocorrer, tornando o fundo da estrutura muito “barrento” (MOTA; BASTOS, 2013).

Além da fragilidade do solo devido a água, a condutividade hidráulica, ou seja, a propriedade do solo de permitir que a água percole através de seus vazios também é influenciada pela presença da água do lençol freático. A redução do volume de poros ocupado pela água, faz com que ocorra uma diminuição no coeficiente de condutividade hidráulica (RAMIRES, 2010).

#### 3.2.5 Serviços Topográficos

O levantamento planialtimétrico cadastral deverá constituir-se de plantas com curvas de nível ou plano cotado dependendo das características geomorfológicas do local, amarrado ao sistema de drenagem da região.

A topografia deverá abranger toda a extensão da via definida para projeto, transversalmente e longitudinalmente e deverá conter o levantamento de eventuais interferências aéreas e subterrâneas existentes na área de implantação do pavimento, também deverão ser cadastradas todas as espécies vegetais de porte significativo ocorrentes na área de intervenção.

### 3.2.6 Estudos de Tráfego

Por meio dos estudos de tráfego é possível conhecer o número de veículos que circula por uma via em um determinado período, suas velocidades, suas ações mútuas, os locais onde seus condutores desejam estacioná-los, os locais onde se concentram os acidentes de trânsito, etc. Permitem a determinação quantitativa da capacidade das vias e, em consequência, o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhoria da circulação ou das características de seu projeto (DNIT, Manual de Pavimentação, 2006).

Os dados de tráfego são fundamentais para a determinação dos elementos necessários para fins de dimensionamento do pavimento, como o número equivalente (N) de operações de um eixo tomado com padrão.

Convencionou-se internacionalmente um eixo de referência que pudesse traduzir a influência deletéria dos eixos diversos sobre o pavimento. Foi escolhido o eixo simples padrão – ESP com roda dupla, com carga total de 8,2 tf (18.000lb) e pressão de pneu de 5,6kgf/cm<sup>2</sup> (80 psi).

Para a definição do número “N” as Instruções de Projeto da Prefeitura de São Paulo (IP-02 e IP-06) correlacionam esse parâmetro com a classificação funcional das vias conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 09: Parâmetros de tráfego correlacionados classificação funcional de vias

Função predominante	Tráfego Previsto	Vida de Projeto	Volume Inicial Faixa mais carregada		Equivalente/ Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,7 x 10 <sup>4</sup> a 1,40 x 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
Via local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40 x 10 <sup>5</sup> a 6,80 x 10 <sup>5</sup>	5 x 10 <sup>5</sup>
Vias Coletoras e Estruturais	MÉDIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 <sup>6</sup> a 3,1 x 10 <sup>6</sup>	2 x 10 <sup>6</sup>
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 <sup>7</sup> a 3,3 x 10 <sup>7</sup>	2 x 10 <sup>7</sup>
	MUITO PESADO	12	>10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 <sup>7</sup> a 6,7 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>7</sup>
Faixa Exclusiva de ônibus	VOLUME MÉDIO	12		<500		3 x 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>
	VOLUME PESADO	12		>500		5 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>7</sup>

Fonte: São Paulo (2004)

### 3.2.7 Projeto Geométrico

De acordo com O projeto geométrico tem por objetivo o completo estudo e consequente definição geométrica da via, das características técnicas, tais como raios de curvaturas, rampas, plataforma, etc., com precisão tal que permita sua conformação espacial, sua quantificação, correspondente orçamento e possibilite a sua perfeita execução através de um planejamento adequado (UFPR, 2019).

### 3.2.8 Projeto de Terraplenagem

O projeto de terraplenagem deve envolver o cálculo dos volumes de corte e aterro, levando em consideração fatores de empolamento, compactação e tipo de material escavado (VIRGILIIS, 2009).

Os elementos básicos empregados no projeto de terraplenagem são:

- Geometria do traçado definido no projeto geométrico;
- Largura da plataforma.

O projeto também deve determinar os locais de empréstimos e bota-fora de materiais e a elaboração de quadros de distribuição do movimento de terra (UFPR, 2019).

### 3.2.9 Projeto de Pavimentação

Prevê-se nessa etapa a definição da concepção do pavimento, principalmente do tipo de material para o revestimento, permeabilidade dos materiais etc. (VIRGILIIS, 2009).

De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416 – Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos, o projeto de um pavimento permeável deve considerar o tipo de uso e o local de implantação, sendo que a definição dos materiais e espessuras das camadas a serem executadas deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico.

#### 3.2.9.1 Dimensionamento mecânico

No Brasil, o dimensionamento mecânico do pavimento em blocos pré-moldados é dado pelo “Método de Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Pré-Moldados – Método da PCA –84 (Portland Cement Association)”, no qual, a espessura de camada

da base + sub-base é definida em função do número de solicitações equivalentes do eixo padrão 8,2 t e do Índice de Suporte Califórnia do subleito, conforme o Quadro 10, a seguir.

Quadro 10: Definição da espessura da base de pavimentos

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H <sub>BG</sub> )										
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
(10 <sup>0</sup> )	27	21	17								
2 x 10 <sup>3</sup>	29	24	20	17							
4 x 10 <sup>3</sup>	33	27	23	19	17						
8 x 10 <sup>3</sup>	36	30	25	22	19						
(10 <sup>4</sup> )	37	31	26	23	20						
2 x 10 <sup>4</sup>	41	34	29	25	22	17					
4 x 10 <sup>4</sup>	44	37	32	28	24	19					
8 x 10 <sup>4</sup>	48	40	35	30	27	21	17				
(10 <sup>5</sup> )	49	41	36	31	28	22	18				
2x10 <sup>5</sup>	52	44	38	34	30	24	19				
4x10 <sup>5</sup>	56	47	41	36	32	26	21				
8x10 <sup>5</sup>	59	51	44	39	34	28	23				
(10 <sup>6</sup> )	60	52	45	40	35	29	23	16			
2x10 <sup>6</sup>	64	55	47	42	38	30	25	17			
4x10 <sup>6</sup>	68	58	50	45	40	33	27	19			
8 x 10 <sup>6</sup>	71	61	53	47	42	34	29	20			
(10 <sup>7</sup> )	72	62	54	48	43	35	30	21			

Fonte: São Paulo, 2005

### 3.2.9.2 Dimensionamento hidrológico-hidráulico

A ABNT NBR 16.416/2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos, define o método de dimensionamento hidrológico-hidráulico, sendo:

$$H_b = (\Delta Q_c \cdot R + P - fTe) / Vr \text{ (equação 1)}$$

Onde: H<sub>b</sub> é a altura da camada de base granular (m);

$\Delta Q_c$  é a precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (m);

R é a relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável (A<sub>c</sub>/A<sub>p</sub>);

A<sub>c</sub> é a área de contribuição (m<sup>2</sup>);

A<sub>p</sub> é a área de pavimento permeável (m<sup>2</sup>);

$P$  é a precipitação de projeto (m);

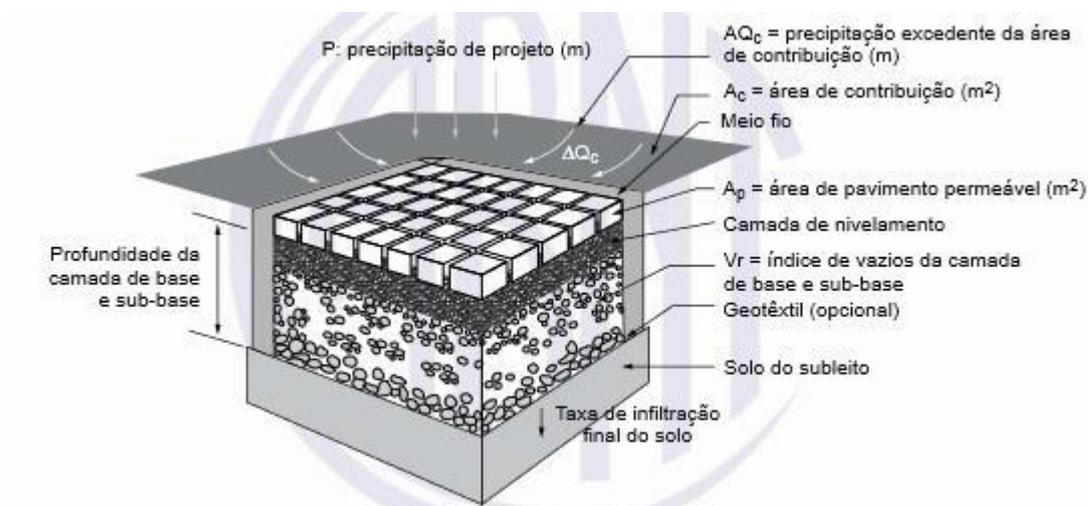
$f$  é a taxa de infiltração no solo (m/h);

$T_e$  é o tempo efetivo de enchimento da camada reservatório;

$V_r$  é o índice de vazios do material de base/reservatório.

A Figura 11, a seguir, ilustra os parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico.

Figura 11: Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico



Fonte: ABNT (2015)

De acordo com a ABNT (NBR 16.416/2015) o período de retorno mínimo deverá ser de 10 (dez) anos, considerando-se a duração mínima da chuva de 1 (uma) hora.

A equação considera o tempo de enchimento do reservatório  $T$ , ou seja, o tempo que leva para o reservatório ficar saturado na ocorrência da chuva de projeto. Recomenda-se adotar 2 h para este parâmetro (ABNT NBR 16.416/2015).

São necessárias duas verificações para a altura da base granular " $H_b$ ", a altura máxima da base permitida " $H_{máx}$ " e o nível do lençol freático (a parte inferior da base deve estar no mínimo à 0,6 m de distância do lençol freático).

Para a verificação do  $H_{máx}$ , utiliza-se a equação:

$$H_{máx} = f \times t_s / V_r \quad (\text{equação 2})$$

onde:

$t_s$  é o tempo máximo de armazenamento de água;

$f$  é a taxa de infiltração no solo (m/h);

$V_r$  é o índice de vazios do material de base/reservatório.

Esta verificação tem como objetivo evitar que altura da base granular  $H_b$  permita que a água permaneça na base um período maior que o tempo máximo de armazenamento de água  $t_s$ . De acordo com o *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI, 2020) o tempo de armazenamento pode variar de 24 a 48h.

Caso o valor de  $H_{máx}$  seja inferior ao  $H_b$  é necessário complementar o sistema com tubulação de drenagem para o manejo do excesso de água.

### **3.2.10 Projeto de Drenagem**

De acordo com o DNIT (Manual de Drenagem e Rodovias, 2006), entende-se por sistema de drenagem do pavimento o conjunto de dispositivos, tanto de natureza superficial como de natureza subsuperficial ou profunda, construído com a finalidade de desviar a água da sua plataforma.

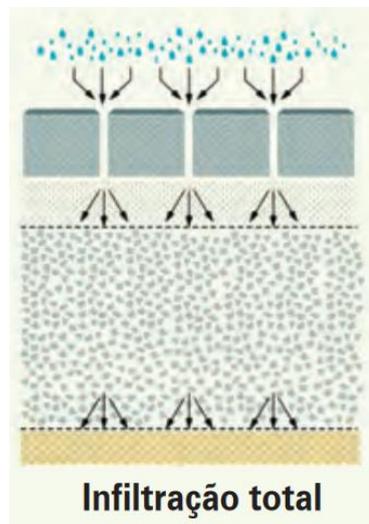
O sistema de drenagem convencional superficial é constituído de caimentos transversal e longitudinal favoráveis e instalação de valetas, sarjetas e dispositivos de captação para transportar a água a um local seguro de deságue.

O sistema de drenagem do pavimento permeável com bloco de concreto poroso dispensa os dispositivos de captação superficial, pois o escoamento superficial gerado nesse tipo de pavimento pode ser considerado nulo, sendo assim, toda água superficial deverá atingir a sub-base através da estrutura permeável do pavimento, podendo infiltrar no subleito e/ou ser conduzida através de drenos subsuperficiais até o ponto de deságue.

Os pavimentos permeáveis com infiltração total não necessitam de dispositivos de drenagem além da própria estrutura do pavimento, pois toda água que cai sobre o

pavimento deverá infiltrar no solo do subleito. A Figura 12 apresenta um esquema ilustrativo do sistema de pavimento permeável com infiltração total.

Figura 12: Sistema de pavimento permeável com infiltração total



Fonte: Marchione e Silva, 2021.

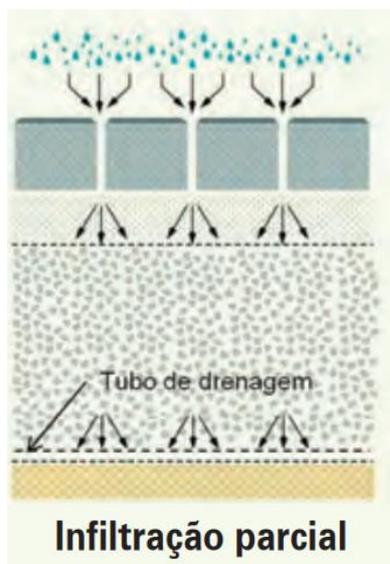
A norma DNIT 015/2006-ES define que os drenos subterrâneos são dispositivos instalados nas camadas subsuperficiais das rodovias, em geral no subleito, de modo a permitir a captação, condução e deságue das águas que se infiltram pelo pavimento ou estão contidas no próprio maciço.

Os drenos são usados nos pavimentos permeáveis do tipo infiltração parcial ou sem infiltração, eles devem ser instalados acima do subleito em valas preenchidas pelo material granular da sub-base.

Nos sistemas de infiltração parcial, parte da água precipitada alcança o subleito e se infiltra, outra parte fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, sendo removida através do dreno. Esse sistema é utilizado quando o solo é pouco permeável e evita que a água fique acumulada por muito tempo.

Nos sistemas de infiltração parcial é indicado o uso da manta geotêxtil para a retenção dos finos dos solos locais, que não devem ser carregados para o interior dos tubos, retardando o processo de colmatação desse dispositivo. A Figura 13 apresenta um esquema ilustrativo do sistema de pavimento permeável com infiltração parcial.

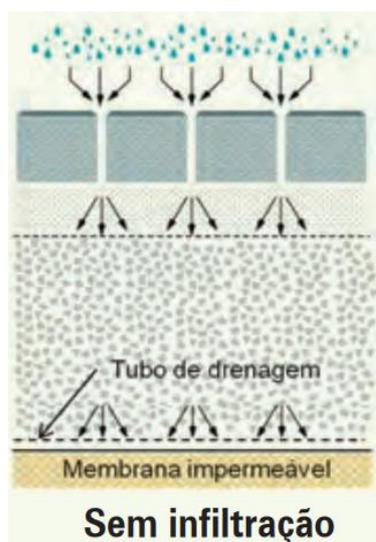
Figura 13: Sistema de pavimento permeável com infiltração parcial.



Fonte: Marchione e Silva, 2021.

Os sistemas sem infiltração são utilizados quando a permeabilidade do solo é muito baixa ou quando existe o risco de contaminação do lençol freático. A água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura do pavimento e não infiltra no subleito, sendo removida através do dreno. Nesse caso, deve-se utilizar a membrana impermeável, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Sistema de pavimento permeável sem infiltração.



Fonte: Marchione e Silva, 2021.

A eficiência dos drenos depende fundamentalmente da forma ou situação em que eles são instalados. Ele deve apresentar adequada conexão com as camadas permeáveis

adjacentes, ter capacidade hidráulica suficiente para drenar todo volume de água que chega até ele e não sofrer entupimento por causa do carreamento de finos para o interior da tubulação ao longo do tempo (Suzuki *et al*, 2013).

Ainda segundo Suzuki *et al* (2013) os tubos empregados em drenagem subsuperficial, além do tipo PVC, podem ser de concreto, argila, fibra, metálicos ou de diversos tipos de plásticos com superfícies lisa ou corrugada. Quando usados como drenos propriamente ditos, são perfurados ou com fendas e, às vezes, com juntas abertas; assim, a água pode fluir livremente através dos tubos. Devem ser envolvidos com agregados apropriados ou com mantas geotêxteis para evitar o entupimento das aberturas existentes em suas paredes.

Para dimensionamento do dreno é necessário definir o tempo máximo de armazenamento da água ( $t_s$ ) dentro da estrutura do pavimento do pavimento permeável, chamada de reservatório. De acordo com Gonçalves e Oliveira (2014) o sistema deve prever o esgotamento do "poço" em período de 6 a 12 horas, com tubos perfurados e espaçados de 3 a 8 m para a condução da água à rede de drenagem. De acordo com o ICPI (2020) o tempo de armazenamento pode variar de 24 a 48h. Marchioni (2021) menciona que o tempo máximo de armazenamento deve ser entre 24 e 72h, sendo que, se recomenda 24h para evitar a sobreposição de eventos.

Uma vez definido o tempo máximo de armazenamento, o tempo de esvaziamento do reservatório não deverá exceder esse limite, logo:

$$T_{esv} \leq t_s \text{ (equação 03)}$$

$$T_{esv} = \frac{V_{reservatório}}{q_{dreno} + q_{inf}} \text{ (equação 04)}$$

Onde:

$T_s$  = tempo máximo de armazenamento da água;

$T_{esv}$  = tempo de esvaziamento do reservatório;

$V_{reservatório}$  = Volume do reservatório;

$q_{dreno}$  = vazão de saída do tubo de drenagem;

$q_{inf}$  = vazão de infiltração no subleito.

O volume do reservatório é dado pelo volume da camada de base e sub-base “V” multiplicado pela porosidade do material da base e su-base “n”.

$$V_{reservatório} = V \times n$$

A vazão de infiltração no subleito pode ser calculada pela lei de Darcy que é válida para um escoamento “laminar”, tal como é possível e deve ser considerado o escoamento na maioria dos solos naturais (Tomaz, 2007).

Sendo assim, temos pela lei de Darcy:

$$Q = KiA \text{ (equação 5)}$$

Onde:

Q = vazão de infiltração no subleito

K = coeficiente de infiltração no subleito

i = gradiente hidráulico = 1

A = seção transversal ao fluxo (área do pavimento)

A vazão do dreno pode ser calculada pela fórmula de Manning, onde:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times RH^{2/3} \times S^{1/2}$$

sendo:

- Q = descarga (m<sup>3</sup> /s ou l/s)
- n = coeficiente de rugosidade de Manning
- A = área molhada (m<sup>2</sup>)
- RH = raio hidráulico (m)
- S = declividade do tubo (m/m)

O raio hidráulico é dado pela relação entre a área molhada e o perímetro molhado, e pode ser calculado em função da lâmina líquida ( $y/d$ ). A Tabela 4, a seguir, traz a relação entre  $y/d$  e a raio hidráulico (RH).

Tabela 04: Relação raio hidráulico x  $y/d$ .

<b>Y/D</b>	<b>Beta = RH/D</b>
0,025	0,016
0,050	0,033
0,075	0,048
0,100	0,064
0,125	0,079
0,150	0,093
0,175	0,107
0,200	0,121
0,0225	0,134
0,250	0,147
0,300	0,171
0,350	0,194
0,400	0,215
0,450	0,234
0,500	0,250
0,550	0,265
0,600	0,278
0,650	0,288
0,700	0,297
0,750	0,302
0,775	0,304
0,800	0,304
0,825	0,304
0,850	0,304
0,875	0,301
0,900	0,299
0,925	0,294
0,950	0,287
0,975	0,277
1,000	0,250

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2000).

A ABNT NBR 10844/1989 apresenta valores do coeficiente de rugosidade de Manning “n” para diferentes tipos de materiais usados em instalações de águas pluviais, conforme Tabela 5.

Tabela 05: Coeficiente de rugosidade de Manning

Material	$n$
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: ABNT NBR 10844/1989

De acordo com Hartwig (2012), no caso dos tubos corrugados de drenagem o coeficiente de rugosidade “n” é igual a 0,016.

### 3.2.11 Projetos Complementares

Deverão ser desenvolvidos ainda outros projetos, tais como de urbanização, de sinalização, de dispositivos de segurança ou de remanejamento de interferências quando necessário (VIRGILIS, 2009).

### 3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE DE CUSTO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.

Em obras de pavimentação, a análise de custos é parte integrante do processo de escolha do tipo de pavimento. A análise de custos deve considerar toda a vida útil do pavimento, incluindo gastos de instalação, operação e manutenção ou reposição.

MENDES et al. (2019) analisou os custos de implantação de pavimento em ruas do Município de Nova Xavantina, MT e observou que um pavimento permeável com concreto asfáltico poroso possui um custo aproximado de 23,5% superior àquele do pavimento convencional. O autor destacou que essa diferença se dá devido ao maior peso no custo unitário total do reservatório de britas.

TERHELL et al. (2015) realizou uma análise de custos e benefícios de pavimentos permeáveis instalados no campos da UC Davis, Califórnia, durante um período de 25

anos. No estudo, observou-se que quando comparados ao pavimento comum, os pavimentos permeáveis possuem custos associados e requerem maior investimento inicial. Segundo TERHELL et al. (2015), o alto custo inicial associado às superfícies permeáveis se deve ao projeto e à infraestrutura necessários para permitir que a água da superfície penetre adequadamente no solo subjacente. Apesar do maior custo inicial, o estudo de TERHELL et al. (2015) verificou que o pavimento permeável de asfalto poroso requer menor custo de manutenção, quando comparado ao asfalto comum. De acordo com TERHELL et al. (2015), a manutenção durante a vida útil do asfalto faz com que seja uma escolha mais cara que os pavimentos permeáveis, sem oferecer o benefício da recarga e filtragem da água. Ainda segundo o autor, o dinheiro economizado com a instalação de pavimentos permeáveis é de US \$ 64.649,66 ao longo de um período de 25 anos por meio hectare.

Outro fator relevante na análise dos custos é que a concepção do pavimento permeável integra o pavimento ao sistema de drenagem da via o que proporciona uma redução nos custos com a supressão de alguns dispositivos como caixas ralos e poços de visita. Um estudo realizado por Motta (2019), na cidade de Vila Velha/ES, apontou uma redução de 30,94% dos custos de implantação do sistema de drenagem.

Segundo Balbo (2020), um estudo para uma área de estacionamento de 100.000,00 m<sup>2</sup>, comparando os custos de implantação de pavimento de concreto permeável e pavimento asfáltico convencional, mostrou que os custos de implantação do concreto permeável diminuíram em comparação com aqueles do pavimento asfáltico convencional em razão da necessidade de equipamentos de drenagem deste último, bem como da manutenção no longo prazo. Contudo, em comparação direta dos custos de implantação de camadas de material de pavimentação, o pavimento permeável atingiu valor 25% maior, aproximadamente.

O Quadro 11 apresenta valores relativos a soluções típicas com pavimentos permeáveis, sendo que tais comparativos podem variar de local para local.

Quadro 11 - Custos relativos de soluções com pavimentos permeáveis

TIPO DE PAVIEMNTO PERMEÁVEL	CUSTO RELATIVO POR METRO QUADRADO
Pavimento em blocos com infiltração total	1,00
Pavimentos em blocos com selagem do subleito e coleta de águas com drenos	1,07
Pavimento asfáltico poroso	0,60
Pavimento de concreto permeável	0,81

Fonte: Balbo (2020)

De acordo com TERHELL et al. (2015), o asfalto convencional comparado ao concreto poroso, apesar de possuir custo de instalação relativamente baixo, requer maior custo de manutenção. Esses custos de manutenção estão relacionados a rachaduras e remendos de superfícies desgastadas

### 3.4 EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COM BLOCO DE CONCRETO POROSO

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2021), a execução do pavimento permeável é similar ao pavimento convencional, porém utilizando materiais diferentes para as camadas da estrutura do pavimento.

A ABNT NBR 16.416/2015 estabelece que a execução do pavimento permeável deve ser realizada conforme as metodologias construtivas compatíveis com o tipo de revestimento escolhido e que, para tanto, pode ser empregados os procedimentos utilizados em sistemas de pavimentação convencional (não permeável), deste que não entrem em conflito com suas especificações.

#### 3.4.1 Preparação do subleito

Sabe-se que a compreensão e o socamento do solo são essenciais para o ganho de resistência do subleito, assim como para o desempenho da estrutura do pavimento. Contudo, o solo do subleito, na medida do possível, dependendo da concepção pavimento permeável, deverá oferecer uma boa capacidade de infiltração, o que se perde normalmente com a compactação convencional. Sendo assim, ambos aspectos deverão ser considerados quanto à definição do processo construtivo (BALBO, 2020).

De acordo com a ABCP (2010), o subleito poderá ser constituído pelo solo natural do local ou proveniente de empréstimo, devendo apresentar índice de suporte Califórnia (CBR) maior que 2% e expansão volumétrica menor ou igual a 2%.

Toda a camada de subleito deve estar limpa, sem a presença de plantas, raízes e qualquer tipo de matéria orgânica. Antes da execução da base e sub-base deve ser verificado se o subleito atende a cota e os caimentos definidos no projeto.

A Figura 15 ilustra a etapa de preparação do subleito.

Figura 15 – Preparação do subleito



Fonte: ABCP, 2021.

### 3.4.2 Posicionamento da manta

A manta utilizada em pavimentos permeáveis pode ser do tipo geotêxtil ou impermeável.

O uso da manta geotêxtil é opcional. Quando especificado em projeto, ela tem como principal função evitar o carreamento de finos para a camada de sub-base e evitar a colmatação dos drenos (quando existentes).

A manta impermeável se faz necessária em caso de risco de contaminação da água do lençol freático. Nesse caso, a manta é utilizada para realização do isolamento da

água retida na estrutura do pavimento e também para impedir o carreamento de finos do subleito.

A manta deve ser posicionada logo acima do subleito e deve ser deixada uma sobra nas laterais de 0,3 m no caso de solos com Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior que 5 e de 0,6 m em solos mais fracos, com CBR menor ou igual a 5 (ABCP, 2010). A Figura 16 ilustra a etapa de colocação da manta.

Figura 16 – Colocação da manta



Fonte: ABCP, 2021.

### 3.4.3 Instalação dos tubos de drenagem

Os tubos de drenagem são necessários em caso de pavimentos permeáveis com infiltração parcial ou sem infiltração. Sua instalação deverá ser feita em valas no subleito, escavadas de acordo com a largura, o alinhamento e as cotas indicados no projeto.

A Norma DNIT 015/2006 - ES - Drenagem - Drenos subterrâneos - Especificação de serviço – estabelece que o material de envolvimento dos drenos subterrâneos deverá ser firmemente adensado, adotando-se compactador vibratório, de modo a garantir a imobilidade dos tubos, as espessuras das camadas e a perfeita graduação granulométrica dos materiais drenante e filtrante.

Os tubos coletores são, geralmente, colocados sobre berço de material granular compactado com as perfurações ou fendas na parte inferior, para reduzir a possibilidade de sedimentação no interior do tubo (Suzuki *et al*, 2013).

A Figura 17 mostra a abertura da vala para a instalação do dreno e a Figura 18 apresenta a instalação dos drenos sobre a manta.

Figura 17 – Abertura de vala para instalação do dreno



Fonte: ABCP, 2017.

Figura 18 – Instalação dos drenos



Fonte: ABCP, 2017.

#### **3.4.4 Execução das camadas de sub-base e base**

De acordo com Balbo (2020), bases granulares abertas não são de fácil compactação e ainda há que se considerar a questão da deformabilidade ou da resistência oferecida pelo subleito abaixo, pois o subleito poderá ser objeto de não compactação.

Seu espalhamento e distribuição o mais nivelado possível, sem o uso de equipamentos são aceitáveis para calçadas de pedestres e ciclovias (Balbo, 2020). Para praças públicas, estacionamentos e vias com circulação de veículos leves, recomenda-se o espalhamento da sub-base em camadas de 100 mm a 150 mm e base com espessura de 100 mm, podendo ser executada em uma camada e compactada utilizando placa vibratória ou rolo compactador de baixa frequência (ABCP, 2010; Balbo, 2020). A Figura 19 mostra o espalhamento da base com uso de equipamento mecânico.

Figura 19 – Execução das camadas de sub-base e base



Fonte: ABCP, 2021

### 3.4.5 Assentamento das peças pré-moldadas de concreto

De acordo com Marchione e Silva (2021), antes de iniciar a execução da camada de assentamento devem ser posicionadas as contenções laterais que garantam a estabilidade horizontal do sistema. Estas são constituídas de estrutura rígida ou de dispositivos fixados na base do pavimento, de modo a impedir o seu deslocamento. A camada de assentamento deve ser espalhada uniformemente com uma espessura suficiente para que após compactação tenha uma espessura final de 50 mm. O material de assentamento é então nivelado manualmente por meio de régua metálica, correndo a régua sobre as mestras ou de modo mecanizado, resultando em uma superfície sem irregularidades. Após o nivelamento a camada de assentamento não

deve ser submetida ao tráfego de equipamentos ou pedestres antes da instalação das peças de concreto. Os espaços deixados pela régua metálica devem ser preenchidos com material de assentamento.

A primeira fiada do deve ser assentada de acordo com o padrão de assentamento estabelecido no projeto, respeitando-se o esquadro e o alinhamento previamente marcados e a peça não deve ser arrastada sobre a camada de assentamento até sua posição final. Deve-se manter as linhas guia na frente da área de assentamento das peças, verificando-se regularmente o alinhamento longitudinal e transversal e efetuar os ajustes de alinhamento das peças, mantendo-se a espessura das juntas uniforme (MARCHIONE E SILVA, 2021). A Figura 20 mostra o assentamento feito com equipamento mecânico, já a Figura 21 apresenta a realização de um assentamento manual.

Figura 20 – Assentamento das peças pré-moldadas de concreto



Fonte: ABCP, 2021

Figura 21 – Assentamento de blocos de concreto poroso no bairro Barra do Jucu, Vila Velha - ES



Fonte: Própria

### 3.4.6 Rejuntamento

Após assentar as peças, deve-se espalhar o material de rejuntamento seco sobre a camada de revestimento, formando uma camada fina e uniforme em toda a área executada e então se executa a varrição do material de rejuntamento até que as juntas entre as peças e destas com a contenção lateral, sejam preenchidas a 5 mm do topo das peças (MARCHIONE E SILVA, 2021). A Figura 22 apresenta o material de rejuntamento sobre o bloco de concreto.

Figura 22 – Rejuntamento



Fonte: ABCP, 2021

### 3.4.7 Compactação

De acordo com Marchione e Silva (2021), a compactação deve ser executada utilizando-se placas vibratórias, que proporcionem a acomodação das peças na camada de assentamento, mantendo a regularidade da camada de revestimento sem danificar as peças de concreto e seguindo os seguintes critérios:

- ❖ A compactação deve ser realizada com sobreposição entre 15 cm a 20 cm em cada passada sobre a anterior;
- ❖ Alternar a execução da compactação com o espalhamento do material de rejuntamento, até que as juntas tenham sido preenchidas até 5 mm do topo do pavimento.
- ❖ A compactação deve ser executada aproximadamente até 1,5 m de qualquer frente de trabalho do assentamento, que não contenha algum tipo de contenção.

A Figura 23, a seguir, mostra a compactação do pavimento de bloco de concreto, utilizando-se placa vibratória.

Figura 23 – Compactação



Fonte: ABCP, 2021

## 4 METODOLOGIA

Esse capítulo expõe a metodologia a ser utilizada para alcançar os objetivos propostos nesse projeto. Ao final do trabalho pretende-se analisar os custos de implantação de pavimentos permeáveis com bloco de concreto poroso (PPBCP), em vias de um loteamento residencial, comparados ao pavimento convencional de bloco de concreto (PCBC).

### 4.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO

Para realização desse trabalho foi considerado que o pavimento permeável será implantado nas vias de um loteamento residencial com residências unifamiliares e com baixo tráfego de veículos (apenas tráfego local). Além disso, foi considerado que o loteamento em questão está localizado a mais de 30 metros de distância de córregos, reservatórios de água e pântanos, conforme preconiza a norma ABNT NBR 16416/2015 para a aplicação de pavimentos permeáveis.

A declividade adotada para as ruas do loteamento foi de 1%, atendendo ao item da norma ABNT NBR 16416/2015 que recomenda uma declividade do pavimento de no mínimo 1% e no máximo de 5%, caso contrário a velocidade do escoamento superficial reduz a sua infiltração. Também foi considerado, nesse estudo, que as áreas no entorno do pavimento não possuem declividades superiores a 20%.

A área adotada para cada lote foi de 250,00 m<sup>2</sup> (duzentos e cinquenta metros quadrados) com testada de 10,00 m (dez metros).

Para definição da largura das vias considerou-se dados do plano Diretor Municipal (PDM) de Vila Velha/ES, conforme apresentado no Quadro 12. A largura adotada para as vias foi de 12,00 m, considerando a largura da faixa de rolamento de 3,00 m para vias de tráfego local, sendo uma faixa de rolamento para cada sentido da via e mais 3,00 m de cada lado para estacionamento. Também foram consideradas calçadas de 2,0 m de cada lado da via.

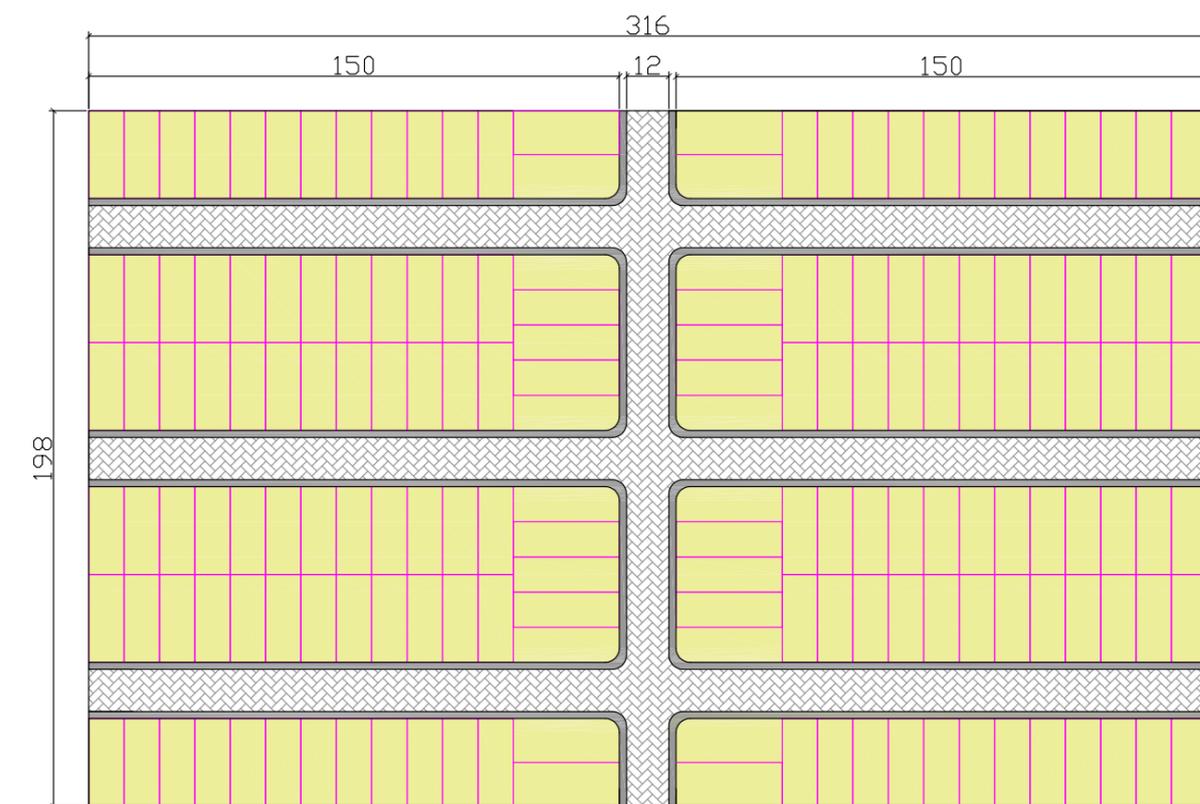
Quadro 12 – Características físicas e estruturais da rede viária básica

Características	Tipo de Via				
	Arterial - Classe 00	Arterial - Classe 1	Coletora	Local Principal	Local
Faixa de Domínio	40,00 m a 50,00m	22,00m a 40,00 m	18,00 m a 35,00 m	18,00 m a 26,00 m	12,00 m a 21,00m
Canteiro Central	Aconselhável mínimo = 3,00 m	Aconselhável mínimo = 3,00 m	Aconselhável mínimo = 2,00 m	Aconselhável mínimo = 2,00 m	-
Largura dos Passeios	mínimo = 4,00m	mínimo = 4,00m	mínimo = 3,00m		2,00 m
Largura da Faixa de Rolamento	3,50 m	3,50 m	3,00 a 3,50 m	3,00 a 3,50 m	3,00 m
Número de Faixas de Rolamento por Sentido	Sem canteiro central = 2	Sem canteiro central = 2	Sem canteiro central = 1 Estacionamento	Sem canteiro central = 1 Estacionamento	1
	Com canteiro central = 4	Com canteiro central = 4	Com canteiro central = 2 Estacionamento	Com canteiro central = 2 Estacionamento	
Tipo de Pavimentação	Asfalto ou concreto	Asfalto ou concreto	Asfalto ou concreto ou bloquete	Asfalto ou concreto ou bloquete ou paralelepípedo	Asfalto ou concreto ou bloquete ou paralelepípedo

Fonte: Adaptado do PDM de Vila Velha, ES (2018)

O layout definido para a área de estudo está apresentado a seguir (Figura 24):

Figura 24 – Layout da área de estudo



Fonte: Própria

Características gerais da área de implantação:

- Lotes com área de 250 m<sup>2</sup>;

- Vias de tráfego local com largura de 12,00 m;
- Calçadas com largura de 2,00m;
- Área total do loteamento: 62.568,00 m<sup>2</sup>;
- Área de contribuição: 49.206,80 m<sup>2</sup>;
- Área pavimentada: 13.361,20 m<sup>2</sup>;

A NBR 16.416/2015 limita a área de contribuição em cinco vezes a área do pavimento. A verificação do atendimento à Norma é dada pelo cálculo da relação R, sendo:

$$R = \text{área de contribuição} / \text{área pavimentada} = 49.206,80 / 13.361,20 = 3,68 < 5.$$

#### 4.2 TIPO DE PAVIMENTO

Foram considerados dois tipos de pavimento, o pavimento permeável de bloco de concreto poroso (PPBCP) e o pavimento convencional de bloco de concreto (PCBC).

##### **Revestimento**

O revestimento é a camada que recebe diretamente a ação de rolamento e carga de veículos, pedestres ou cargas estáticas, sendo assim o revestimento deve possuir características adequadas para oferecer segurança aos usuários da via.

Nesse estudo, considerou-se dois tipos de revestimento: o bloco de concreto convencional, que deve atender aos requisitos da ANBT NBR 9781/2013 – Peças de concreto para a pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, e o bloco de concreto poroso, que deve atender aos requisitos da 16.416/2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. A Figura 25 apresenta os dois tipos de bloco considerados no presente estudo.

Os blocos especificados nesse estudo possuem espessura de 8,0 cm. Para o bloco de concreto convencional adotou-se a resistência de 35 Mpa, atendendo ao mínimo estabelecido pela ANBT NBR 9781/2013 para o tráfego de pedestres e veículos leves. Já para o bloco de concreto poroso adotou-se a resistência de 20 MPa, atendendo ao mínimo estabelecido pela ANBT NBR 16.416/2015, também para o tráfego de pedestres e veículos leves.

Figura 25: Blocos de concreto poroso e convencional.



Fonte: Laís Santana – Informativo UFES (2019)

### **Base e sub-base**

O material que constitui a camada base do pavimento deve ser escolhido em função de sua compatibilidade com a camada superficial, do tipo de tráfego, dos aspectos construtivos, da porosidade e do custo.

O material mais comumente utilizado nessa camada do pavimento é do tipo granular, geralmente a brita ou macadame hidráulico (CASTRO, 2011). Verifica-se que a base em brita graduada simples (BGS) faixa B possui cerca de 29% de porosidade e o macadame hidráulico 40% (PINTO, 2011).

No presente estudo o material adotado para a base e sub-base foi GSB com índice de vazios de 32%.

A porosidade adotada foi calculada a partir da fórmula:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

Onde:

n = porosidade efetiva

e = índice de vazios

Sendo assim, para o índice de vazios de 32% a porosidade efetiva é de 24%.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO DOS PAVIMENTOS

No presente estudo a via projetada foi de tráfego leve por possuir características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego. Esse tipo de tráfego é caracterizado por um número "N" típico de  $10^5$  solicitação do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

O dimensionamento mecânico dos pavimentos (tanto o PPBCP quanto o PCBC) foi elaborado de acordo com o "Método de Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Pré-Moldados – Método da PCA –84 (Portland Cement Association)", no qual, a espessura de camada da base + sub-base é definida em função do tráfego (**adotado  $N = 10^5$** ) e do ISC do subleito, conforme o Quadro 13, a seguir:

Quadro 13: Definição da espessura da base de pavimentos

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H <sub>BG</sub> )										
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
(10 <sup>1</sup> )	27	21	17								
2 x 10 <sup>3</sup>	29	24	20	17							
4 x 10 <sup>3</sup>	33	27	23	19	17						
8 x 10 <sup>3</sup>	36	30	25	22	19						
(10 <sup>4</sup> )	37	31	26	23	20						
2 x 10 <sup>4</sup>	41	34	29	25	22	17					
4 x 10 <sup>4</sup>	44	37	32	28	24	19					
8 x 10 <sup>4</sup>	48	40	35	30	27	21	17			Min. 15	
(10 <sup>5</sup> )	49	41	36	31	28	22	18				
2x10 <sup>5</sup>	52	44	38	34	30	24	19				
4x10 <sup>5</sup>	56	47	41	36	32	26	21				
8x10 <sup>5</sup>	59	51	44	39	34	28	23				
(10 <sup>6</sup> )	60	52	45	40	35	29	23	16			
2x10 <sup>6</sup>	64	55	47	42	38	30	25	17			
4x10 <sup>6</sup>	68	58	50	45	40	33	27	19			
8 x 10 <sup>6</sup>	71	61	53	47	42	34	29	20			
(10 <sup>7</sup> )	72	62	54	48	43	35	30	21			

Fonte: São Paulo, 2005

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM

Para o dimensionamento da drenagem é necessário determinar a parcela de água que escoar e a parcela de água que infiltra na bacia de contribuição, no caso desse estudo, a bacia de contribuição é o próprio loteamento, portanto é necessário definir o coeficiente de escoamento a ser utilizado.

Vários estudos constataram que pavimentos permeáveis apresentam um escoamento superficial muito inferior ao escoamento gerado pelo pavimento convencional. Silva (2021) em sua pesquisa apresentou um levantamento de estudos que apuraram valores do coeficiente de escoamento volumétrico de superfícies porosas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 06: Pesquisas que estudaram o coeficiente volumétrico de superfícies porosas.

<b>Pesquisa</b>	<b>Revestimento</b>	<b>Chuva</b>	<b>Duração (min)</b>	<b>Coeficiente volumétrico (Vesc. sup./Vprec.)</b>
Suda (1988)	Blocos intertravados de concreto poroso	Simulada 50 mm/h	30	0
Araújo, Tucci e Golfenfum (2000)	Pavimento de concreto poroso 15 cm espessura	Simulada 116 mm/h	10	0,01
Acioli (2005)	Asfalto poroso	Monitorada variou entre 0,6 mm/h e 16mm/h	Variando entre 57 min e 42 horas	0,05
Bean, Hunt e Bildesapach (2007)	Pavimento de concreto poroso com 20 cm de espessura	Eventos monitorados menores do que 50mm por dia	Variadas	0
Castro (2011)	Placas de concreto poroso	Simulada 180 mm/h	15	0,06
Pinto (2011)	Bloco de concreto poroso	Monitorada 73mm acumulado	Evento de 2 horas e 10 minutos	0,48
Pinto (2011)	Bloco de concreto poroso	Monitorada 42mm acumulado	Evento de 2 horas e 10 minutos	0,14
Castro (2015)	Asfalto poroso	Simulada acima de 200 mm/h	Variando de 10 a 60 minutos	0,02

Fonte: Silva (2021)

Observa-se na Tabela 06 que a maioria das pesquisas que estudaram superfícies porosas obtiverem coeficiente de escoamento volumétrico bem próximo de 0. Inclusive no estudo de Silva (2021) não foi gerado escoamento superficial volumétrico para o PPBCP. Pode-se acrescentar ainda, o estudo realizado por Marchioni et al (2021) que chegou ao valor de coeficiente de escoamento volumétrico médio para o pavimento poroso de 0,07, no estudo foi usado um simulador de chuva com intensidades variando de 25 a 200 mm/h.

Com base no exposto, considerou-se, nesse estudo, que o escoamento superficial gerado no PPBCP será nulo, sendo assim, não foram considerados dispositivos de drenagem superficial para o PPBCP. A drenagem subsuperficial do PPBCP, quando necessária, será realizada através de drenos, conforme será detalhado mais adiante no item 4.5.

Para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem para o caso da pavimentação convencional com bloco de concreto (PCBC), utilizou-se o método racional dado por:

$$Q=0,278.C.i.A \text{ (equação 07)}$$

Em que:

Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

i é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

A é área de contribuição drenada (Km<sup>2</sup>).

Foi adotado o coeficiente de escoamento “C” de 0,5 conforme Quadro 4 para área residencial com habitações unifamiliares.

A intensidade da chuva foi determinada a partir da expressão de autoria do professor Robson Sarmiento para a cidade de Vitória/ES, que é a seguinte:

$$i = \frac{973,47 \times T^{0,19}}{(t+20)^{0,77}} \text{ (equação 09)}$$

Onde:

i: Intensidade da chuva (mm/h);

T: Período de Recorrência, adotado igual a 10 anos;

t: Chuva com duração igual ao tempo de concentração, adotado 10 minutos.

Para PCBC, foram dimensionados os dispositivos comumente utilizados em projetos de drenagem urbana:

- Dispositivos Coletores: Caixa Ralo;
- Meio Fio – Sarjeta;
- Bueiros Tubulares e
- Poços de Visitas.

#### Caixa Ralo

As caixas ralo devem captar e conduzir as vazões superficiais para as galerias. Nos pontos mais baixos do sistema viário, devem ser colocadas com vistas a se evitar a criação de zonas mortas com alagamentos e águas paradas.

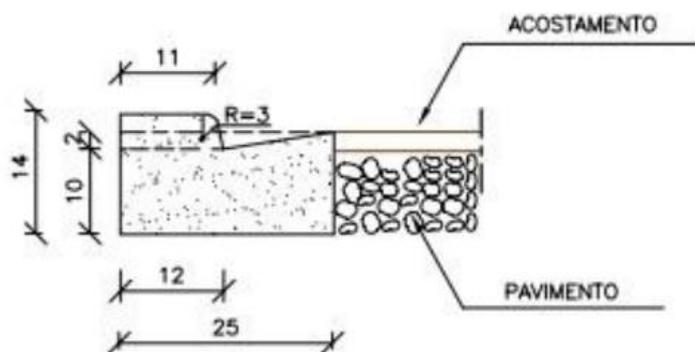
Recomenda-se adotar um espaçamento máximo de 60 m entre esses dispositivos, caso não seja analisada a capacidade de escoamento da sarjeta, visando evitar o escoamento superficial em longas extensões das ruas (TOLEDO, 2017).

Nesse estudo, as caixas ralo foram dispostas conforme Figura 27.

#### Sarjetas

Sarjeta constituem dispositivos que captam as águas que precipitam diretamente sobre a plataforma. Estabelecida a geometria para a sarjeta, função das disponibilidades de largura da plataforma, seu dimensionamento consiste no estabelecimento de seu comprimento crítico. A geometria adotada para a sarjeta segue o projeto tipo MF-01 do álbum de projetos-tipo do DNIT (Album de Projetos-tipo de dispositivos de drenagem, 2010), conforme Figura 26, a seguir:

Figura 26 – Projeto tipo MF - 01



Fonte: Álbum de Projetos-tipo de dispositivos de drenagem. DNIT, 2010.

Uma vez posicionadas as caixas ralo e poços de visita, as sarjetas foram verificadas quanto ao comprimento crítico.

O comprimento crítico será atingido, quando estiver para se dar o transbordamento da sarjeta. Os estudos do comprimento crítico das sarjetas se baseiam no critério de equivalência de vazões, considerando-se a fórmula do método racional com a equação da continuidade.

$$Q = \frac{A \times R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (\text{equação 10})$$

Sendo:

- Q = vazão máxima admissível (m<sup>3</sup>/s);
- S = Declividade da sarjeta (%);
- n = Coeficiente de Rugosidade de Manning;
- A= área molhada da sarjeta (m<sup>2</sup>);
- R= raio hidráulico (m).

Os dados da sarjeta, considerados no presente estudo estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 07: Dados da sarjeta

Largura da Sarjeta (cm)	Largura de inundação na rua (m)	Declividade transversal da Sarjeta (%)	Declividade transversal da Rua (%)	Coefficiente de Manning da Sarjeta	Coefficiente de Manning da Rua	Declividade Longitudinal da Rua (%)	Capacidade da Sarjeta (l/s)
13	1,6	5	4	0,013	0,017	1,00	32,80

Fonte: Própria

O comprimento crítico da sarjeta com a utilização do PCBC (C=0,50) foi de 64 m.

### Bueiros Tubulares

O dimensionamento é fundamentado nas vazões obtidas no âmbito dos estudos hidrológicos, considerando-se o período de recorrência e tempo de concentração estipulados. No dimensionamento, utiliza-se a fórmula de Manning (Tabela 8).

$$D = 1,55 \times \left( \frac{Qn}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (\text{equação 11})$$

Sendo:

D = Diâmetro [m];

Q = Vazão [m<sup>3</sup>/s];

S= Declividade [%];

n = Coeficiente de Rugosidade de Manning.

$$V = [0,397 \times D^{2/3} \times I^{1/2}] / n$$

V = Velocidade média [m/s];

D = Diâmetro [m];

I = Declividade [%];

n = Coeficiente de Rugosidade de Manning.

Tabela 08: Dimensionamento dos Bueiros Tubulares

(Continua)

ELEM. BUEIRO			CARACTERÍSTICAS DA BACIA				DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO				
AC	i (%)	Comp. (m)	Área (km <sup>2</sup> )	C	Tc (min)	I (mm/h)	Vel. (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Diâmetro (m)		
									Adotado	Calculado	Qtd.
PV - 01 ao PV - 02	0,45	55,61	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,03	0,40	0,21	1
PV - 02 ao PV - 03	0,45	43,98	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,05	0,40	0,28	1
PV - 03 ao PV - 04	0,45	66,00	0,00191	0,50	10,00	109,89	1,45	0,13	0,40	0,39	1
PV - 04 ao PV - 05	0,45	66,00	0,00191	0,50	10,00	109,89	1,89	0,31	0,60	0,54	1
PV - 05 ao DESAGUE	0,45	33,00	0,00096	0,50	10,00	109,89	1,89	0,38	0,60	0,58	1
PV - 06 ao PV - 07	0,45	55,61	0,00096	0,50	10,00	109,89	1,45	0,03	0,40	0,21	1
PV - 07 ao PV - 03	0,45	43,98	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,05	0,40	0,28	1
PV - 08 ao PV - 09	0,45	55,61	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,03	0,40	0,21	1

Tabela 08: Dimensionamento dos Bueiros Tubulares

(Conclusão)

AC	i (%)	Comp.	Área	C	Tc	I	Vel.	Vazão	Diâmetro (m)		
									Adotado	Calculado	Qtd.
PV - 09 ao PV - 04	0,45	43,98	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,05	0,40	0,28	1
PV - 10 ao PV - 11	0,45	55,61	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,03	0,40	0,21	1
PV - 11 ao PV - 04	0,45	43,98	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,05	0,40	0,28	1
PV - 12 ao PV - 13	0,45	55,61	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,03	0,40	0,21	1
PV - 13 ao PV - 05	0,45	43,98	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,05	0,40	0,28	1
PV - 14 ao PV - 15	0,45	55,61	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,03	0,40	0,21	1
PV - 15 ao PV - 05	0,45	43,98	0,00165	0,50	10,00	109,89	1,45	0,05	0,40	0,28	1

Fonte: Própria

### Poços de Visita

Para os Poços de Visita, CETESB (1980) sugere o uso do Quadro 14, que apresenta o espaçamento máximo recomendado para os poços de visita. Deve haver poços de visita nos pontos onde há mudança de direção, de declividade e de diâmetro e nos cruzamentos de vias públicas.

Quadro 14: Espaçamento entre poços de visita

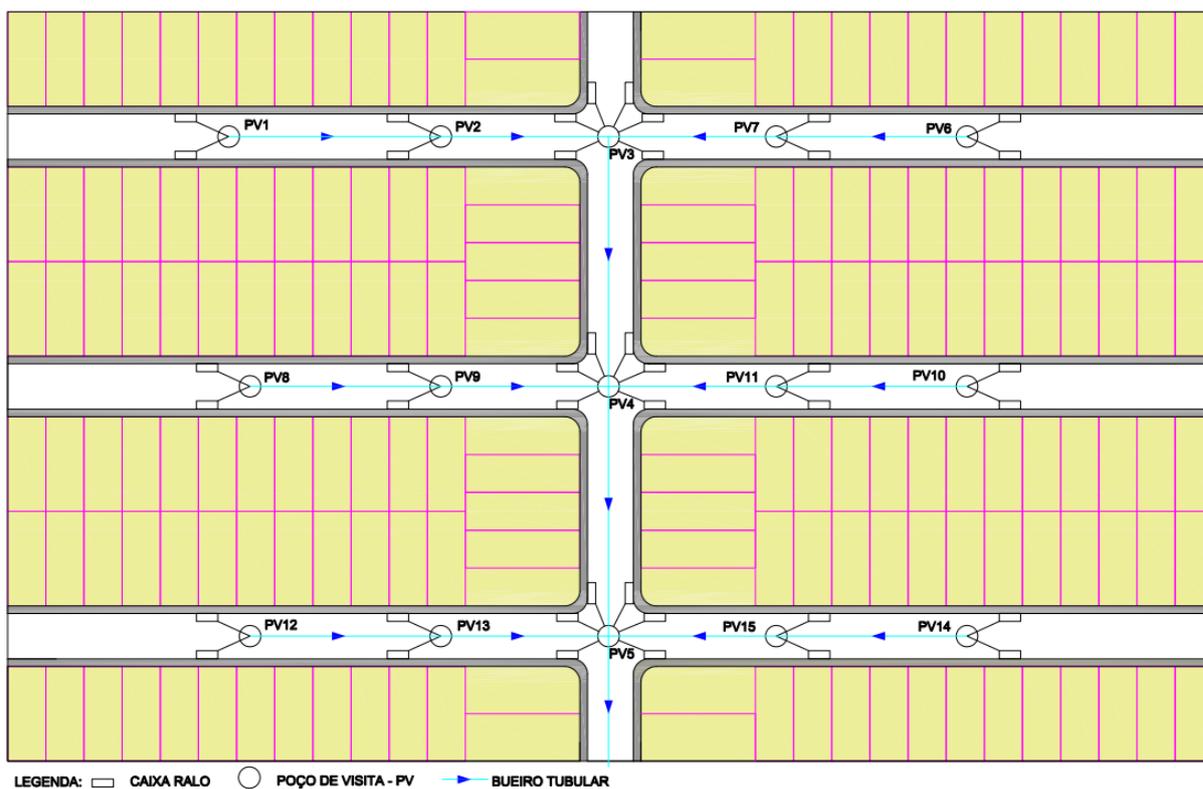
Diâmetro do conduto (cm)	Espaçamento (m)
30	120
50-90	150
100 ou mais	180

Fonte: CETESB (1980)

O afastamento entre poços de visita consecutivos deve ser o máximo possível, por critérios econômicos. O cálculo do comprimento crítico da sarjeta serve de balizamento para definição do espaçamento entre caixas ralo e poços de visita.

A Figura 27, a seguir, apresenta a localização dos dispositivos de drenagem, considerando o layout do loteamento estudado.

Figura 27: Dispositivos da drenagem convencional



Fonte: Própria

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEAVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO (PPBCP)

O pavimento permeável deve atender simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento, além de permitir a percolação e/ou acúmulo temporário de água em sua estrutura, sendo assim, é necessário dimensionar o PPBCP de duas formas: pelo método hidráulico-hidrológico e pelo método mecânico, adotando o maior valor entre os dois.

O dimensionamento mecânico do PPBCP foi realizado de acordo com o item 4.3, considerando o número de solicitações "N" de  $10^5$  (tráfego leve) para diferentes valores de CBR.

Observa-se no item 3.2.4, da referência bibliográfica, que podemos estabelecer uma relação entre o coeficiente de permeabilidade e o CBR de um dado tipo de solo. A partir do Quadro 08, que apresenta valores típicos de coeficiente de permeabilidade e de CBR para diferentes tipos de solo, podemos constatar que quanto mais permeável é o solo, maior é sua capacidade de suporte (medida pelo CBR). Com base no exposto, o presente estudo considerou a relação apresentada na Tabela 09.

Tabela 09: Características do subleito para implantação do PPBCP

Coeficiente de Permeabilidade (m/s)	CBR adotado
$10^{-3}$ a $10^{-6}$	$\geq 8$
$10^{-6}$ a $10^{-7}$	$\geq 5$

Fonte: Própria

No dimensionamento hidráulico-hidrológico considerou-se a equação apresentada na ABNT NBR 16416/2015.

$$H_b = (\Delta Q_c \cdot R + P - fTe) / Vr \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

$H_b$  = altura da base e sub-base

$\Delta Q_c$  é a precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (m);

R é a relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável ( $A_c/A_p$ );

$A_c$  é a área de contribuição ( $m^2$ );

$A_p$  é a área de pavimento permeável ( $m^2$ );

P é a precipitação de projeto (m);

f é a taxa de infiltração no solo (m/h);

$T_e$  é o tempo efetivo de enchimento da camada reservatório;

$V_r$  é o índice de vazios do material de base/reservatório.

O tempo efetivo de enchimento da camada reservatório " $T_e$ " adotado foi de 2h, conforme recomenda a ABNT NBR 16.416/2015.

A precipitação de projeto é dada pela intensidade " $i$ " multiplicada pela duração da chuva. A intensidade da chuva foi determinada a partir da expressão de autoria do professor Robson Sarmiento para a cidade de Vitória/ES, que é a seguinte:

$$i = \frac{973,47 \times T^{0,19}}{(t + 20)^{0,77}}$$

Onde:

i: Intensidade da chuva (mm/h);

T: Período de Recorrência;

t: Duração igual ao tempo de concentração.

Adotou-se o período de recorrência de 10 anos e duração da chuva de 1 hora conforme recomenda a ABNT NBR 16.416/2015.

Dessa forma temos:  $i = 51,63$  mm/h; e o total precipitado em 1 h será 51,63 mm.

No cálculo da precipitação excedente " $\Delta Q_c$ " pelo método do SCS Curve Number descrito no item 3.2.3.4, da revisão bibliográfica, se faz necessário estabelecer o coeficiente de escoamento superficial "CN" da área de estudo. Sendo a área um

loteamento residencial com lotes de 300m<sup>2</sup>, foi adotado o valor referente à bairros residenciais com lotes do tamanho médio: 500m<sup>2</sup> ou menos (densidade elevada) com condição de umidade média (Quadro 05).

Na determinação do CN também é necessário definir o tipo de solo (conforme Quadro 04), podendo ser do tipo A, B, C ou D. Sendo os solos do tipo C e D, considerados praticamente impermeáveis, o tipo de solo escolhido nesse estudo foi o tipo B (Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ( $h < 1,5\text{m}$ ) e permeáveis. Teor de argila até 10%), para simplificação do estudo, foi considerado, para determinação do CN, o mesmo tipo de solo em todas as situações, pois mesmo que o solo apresente uma condição de permeabilidade melhor, a escolha do solo Tipo B fica a favor da segurança, levando ao valor de CN = 85 (Quadro 05).

Logo, temos:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 44,82$$

$$Ia = 0,2 \times S = 8,96$$

$$\Delta Qc = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} = 20,81 \text{ mm}$$

onde:

$\Delta Qc$  = Precipitação efetiva (mm);

P = precipitação total (mm);

Ia = perdas iniciais por retenção na bacia;

S = armazenamento do solo.

Quanto à definição do tipo de pavimento permeável é necessário conhecer algumas características do local de implantação como a permeabilidade do subleito, o nível do lençol freático e a presença de contaminantes no subleito.

A NBR 16416/2015 traz em seu Anexo B, de cunho informativo, o tipo de infiltração do pavimento em função das condições locais, apresentado no Quadro 1.

Para a dimensionamento das estruturas do PPBCP considerou-se, nesse estudo, três hipóteses:

Hipótese 1 – PPBCP de Infiltração Total

Hipótese 2 - PPBCP de Infiltração Parcial

Hipótese 3 - PPBCP sem Infiltração

#### **4.5.1 Hipótese 1 - PPBCP Infiltração Total**

Na hipótese 1 foi considerado o uso de pavimento permeável com bloco de concreto poroso do tipo infiltração total (PPBCP Infiltração Total). Nesse caso, admite-se que o nível máximo do lençol freático está a pelo menos 0,6 metro da camada inferior da base do pavimento e que não existe risco de contaminação da água do lençol freático. O tempo máximo de esvaziamento do pavimento permeável adotado foi de 24h.

Admite-se na hipótese 1 (PPBCP Infiltração Total) que a altura da base e sub-base “H<sub>b</sub>” (equação 1) é maior que a altura máxima “H<sub>max</sub>” (equação 2) para que a água retida no reservatório de britas do PPBCP Infiltração Total não fique acumulada por mais de 24h.

#### **4.5.2 Hipótese 2 - PPBCP Infiltração Parcial**

Na segunda hipótese foi dimensionado o pavimento permeável com bloco de concreto poroso de infiltração parcial (PPBCP Infiltração Parcial) considerando que o máximo registro do lençol freático está a pelo menos 0,6 metro da camada inferior da base do pavimento e que não existe risco de contaminação do lençol freático.

Nessa hipótese, considera-se a necessidade de implantação de drenos para que a água não fique armazenada por mais de 24h (tempo máximo de esvaziamento adotado no presente estudo).

Na concepção dos drenos utilizou-se tubos de PEAD perfurados com diâmetro de 100mm e inclinação de 0,5%. A partir da fórmula de Manning calculou-se a vazão do tubo considerando a lâmina da água “y/d” = 0,65 e coeficiente de rugosidade n = 0,010, obtendo os valores da Tabela 10.

Tabela 10: Dados do dreno

Diâmetro (mm)	Inclinação (m/m)	n	y/d	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)
100	0,5%	0,010	0,65	10,8	0,57

Fonte: Própria

Os drenos foram dimensionados para cada rua, considerando o tempo de esvaziamento máximo de 24h. As ruas foram numeradas conforme Figura 28.

O coletor tronco, entre o PV1 e PV4 da Figura 28, será responsável por receber todo o fluxo dos drenos através de ligações nos poços de visita.

Figura 28: Numeração das ruas para dimensionamento dos drenos e coletor tronco



Fonte: Própria.

O tempo de esvaziamento foi calculado pela equação:

$$T_{esv} = \frac{V_{reservatório}}{q_{dreno} + q_{inf}} \text{ (equação 04)}$$

Onde:

$T_{esv}$  = tempo de esvaziamento do reservatório;

Vreservatório = Volume do reservatório;

qdreno = vazão de saída do tubo de drenagem;

qinf = vazão de infiltração no subleito.

O volume do reservatório foi calculado multiplicando o volume total da camada base e sub-base pelo valor da porosidade da brita BGS (24%).

A vazão de infiltração no subleito foi calculada pela lei de Darcy:

$$Q = KiA \text{ (equação 05)}$$

Onde:

Q = vazão de infiltração no subleito

K = coeficiente de infiltração no subleito

i = gradiente hidráulico = 1

A = seção transversal ao fluxo (área do pavimento)

No dimensionamento do coletor tronco foi considerado o diâmetro mínimo de 400 mm, usual em redes de drenagem convencionais, sendo verificado através da equação de Manning (equação 11).

#### **4.5.3 Hipótese 3 - PPBCP Sem Infiltração**

Na terceira e última hipótese foi dimensionado o pavimento permeável com bloco de concreto poroso sem infiltração (PPBCP Sem Infiltração). Essa hipótese será aplicada considerando que o máximo registro do lençol freático esteja acima de 0,6 metro da camada inferior da base do pavimento e/ou que exista o risco de contaminação do subsolo e/ou que a taxa de infiltração do subleito seja menor que  $10^{-7}$  m/s.

Considerou-se que não ocorrerá infiltração da água através do subsolo, pois foi admitido que será aplicada uma geomembrana abaixo da sub-base e que toda a água retida será drenada por meio de drenos subsuperficiais, sendo assim, a taxa de infiltração no subleito será igual a zero.

Na concepção dos drenos, de forma similar à Hipótese 2, considerou-se tubos de PEAD perfurados com diâmetro de 100mm e inclinação de 0,5%, com características apresentadas na tabela 12.

O tempo de esvaziamento foi calculado pela equação:

$$T_{esv} = \frac{V_{reservatório}}{q_{dreno}}$$

Onde:

$T_{esv}$  = tempo de esvaziamento do reservatório;

$V_{reservatório}$  = Volume do reservatório;

$q_{dreno}$  = vazão de saída do tubo de drenagem;

O volume do reservatório foi calculado multiplicando o volume da camada base e sub-base pela porosidade da brita BGS (0,24).

#### 4.6 ORÇAMENTO

É notório que os custos de obras em geral são muito sensíveis à sua localização geográfica, às condições naturais, sociais, econômicas e logísticas que aí são encontradas, bem como ao próprio plano de mobilização e instalação que o construtor tenha em mente. Contudo, nesse trabalho pretende-se obter uma comparação entre duas alternativas de sistemas de pavimentação e drenagem para uma mesma localidade, sendo assim, aspectos comuns às duas alternativas propostas serão desconsiderados.

Segundo o DNIT (Manual de Custos Rodoviários, 2003), a elaboração do orçamento deve ser precedida de estudo preliminar em que são estabelecidas as linhas gerais do Plano de Execução da Obra. O modo como a obra é executada influi diretamente em seu custo.

Após a fase de estudo preliminar inicia-se o orçamento propriamente dito. Nessa etapa, o conhecimento dos diversos serviços necessários a realização da obra dá ao

engenheiro de custos condições de estabelecer a lista dos itens de que se constituirá o orçamento. Para o caso de uma obra de pavimentação devem ser orçados os itens de transporte, materiais, serviços e mão de obra. Uma vez conhecidos os serviços que comporão o orçamento da obra, deverão ser selecionadas as composições mais adequadas para realizá-los, tendo em vista as circunstâncias particulares a cada caso.

O valor de determinado serviço rodoviário é obtido pelo produto de seu preço unitário pela quantidade efetivamente executada. Para efeito de elaboração de orçamento de obras, estes quantitativos de serviços devem ser levantados nos respectivos Projetos Finais de Engenharia que, em geral, contêm um Quadro de Quantidades, em que tais valores acham-se reunidos num só local, evitando que o Engenheiro de Custos tenha que buscá-los nas suas diversas seções.

O preço total da obra é obtido pelo simples somatório do valor de todos os serviços necessários à sua execução integral. Este preço pode ser apresentado em diferentes níveis de agregação, explicitando subtotais referentes a itemização do orçamento, em grau de detalhamento conveniente ao fim a que este se destina.

No presente estudo não foi realizado o projeto completo, mas cada uma das alternativas estudadas foi dimensionada com o intuito de realizar o levantamento de quantitativo e orçamento dos itens relevantes.

Para levantamentos dos custos foram usados itens da Tabela Referência de Preços e Composições de Custos Unitários do DER-ES - Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo, de novembro de 2021 com data base novembro/2020 (disponível em <https://der.es.gov.br/referencial-de-precos-edificacoes>).

Os serviços de instalação do bloco de concreto poroso e da geomembrana impermeável são itens que não constam na Tabela do DER-ES, por não serem comuns em obras rodoviárias. Sendo assim, nesse estudo foram realizadas composições com base nos preços apresentados pela prefeitura municipal de Vila Velha, em um processo licitatório de obra de pavimentação e drenagem do bairro Barra do Jucu com data base de março/2021. Além dos dois itens supracitados, também foi realizada composição para o dreno de PEAD com diâmetro de 100mm,

envolto por manta geotêxtil, conforme apresentado em anexo (Anexo 2 – Composições).

Devido à desatualização da data base foi aplicado um reajuste de preço para outubro de 2021. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT disponibiliza os índices de reajustamento de obras rodoviárias, sendo os índices de pavimentação e drenagem para novembro de 2020 e outubro de 2021 apresentados no Quadro 15.

Quadro 15: Índices de reajuste do DNIT

DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES	nov/20	mar/21	out/21
PAVIMENTAÇÃO	371,685	394,165	432,715
DRENAGEM	337,878	357,046	388,541

Fonte: Adaptado de DNIT - Índices de reajustamento de obras rodoviárias

O reajuste, calculado de acordo com a Instrução Normativa 59/DNIT SEDE, de 17 de setembro de 2021, é dado pela equação:

$$R = \frac{(I_i - I_0)}{I_0} \times V$$

Onde:

R = Valor da parcela de reajustamento a ser calculada;

I<sub>0</sub> = Índice de preço verificado no mês-base do contrato;

I<sub>i</sub> = Índice de preço referente ao mês de reajustamento;

V = Valor, a preços iniciais, da parcela do contrato ou serviço a ser reajustado.

Na composição de alguns itens o valor do transporte está inserido para ser calculado de acordo com a distância entre o fornecedor e o local da obra, mas, como esse estudo trata de um loteamento residencial sem localização definida, optou-se por desconsiderar os custos advindos do transporte. Verificou-se, inclusive, que o valor do transporte na composição dos itens 2.3 e 2.4 (Quadro 20) representa 0,10% do

valor total da drenagem convencional (Item 2) a cada km de distância em vias urbanas. Da mesma forma, verificou-se que os valores referentes ao custo de transporte da brita graduada (Item 1.2 – Quadro 20) representa 0,12% dos custos totais com pavimentação convencional (item 1 – Quadro 20) a cada km de distância em vias urbanas. Logo, concluindo que esses valores não são expressivos dentro da pesquisa, o item transporte foi desconsiderado.

No orçamento da drenagem convencional deve-se considerar os custos advindos do escoramento da vala aberta para instalação dos bueiros tubulares. De acordo com ABN NBR 9061- Segurança de escavação a céu aberto, escavações até 1,50 m de profundidade podem, em geral, ser executadas sem especial segurança com paredes verticais, isto se as condições de vizinhança e tipo de solo permitirem, já escavações com mais de 1,50 m de profundidade devem, em geral, ser protegidas com taludes ou escoramento. Com base na norma, considerou-se, nesse estudo que para bueiros tubulares DN 400mm não haverá necessidade de escoramento, pois a altura da vala (composta pelo diâmetro do bueiro acrescido do recobrimento de 1,00 metro) será menor que 1,50 m. Já para bueiros tubulares DN 600mm haverá necessidade de escoramento, pois a altura da vala será maior que 1,50 m.

Outro serviço que pode ocorrer em obras de drenagem é o rebaixo do lençol freático. Esse serviço consta na planilha do DER-ES como “Esgotamento de escavações para rebaixamento do nível d’água nos serviços de bueiros, galerias e outros, com conj. moto bomba” (código 43332 – DER-ES). Verificou-se que os custos mensais com o rebaixamento, nesse estudo, representam 1,35% dos custos totais com drenagem convencional. Considerando que nem sempre ocorrerá a necessidade de realizar esse serviço e que o valor calculado mensal não é expressivo dentro da pesquisa, o item rebaixo do lençol freático foi desconsiderado.

O Quadro 16 apresenta a relação de serviços e preço unitário usada para compor o orçamento do presente estudo. O orçamento elaborado refere-se apenas aos custos de implantação do pavimento, custos com manutenção não foram inclusos na pesquisa e devem ser considerados para fins de análise de viabilidade.

Quadro 16: Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos

(Continua)

1. PAVIMENTAÇÃO CONVENCIONAL COM BLOCO DE CONCRETO				
Item	REFERÊNCIA	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário reajustado DNIT 10/21
1.1	DER - 40898. Nov/2020	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia	m <sup>2</sup>	R\$ 107,08
1.2	DER - 43327. Nov/2020	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m <sup>3</sup>	R\$ 113,94
2. DRENAGEM CONVENCIONAL				
Item	REFERÊNCIA	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário reajustado DNIT 10/21
2.1	DER-40659. Nov/2020	Meio fio sarjeta de concreto tipo DP-1 (0,035 m <sup>3</sup> /m) inclusive caiação	m	R\$ 62,83
2.2	DER-41241. Nov/2020	Caixa ralo em blocos pré-moldados e grelha articulada em FFA em Vias Urbanas	und.	R\$ 1.620,72
2.3	DER-40424. Nov/2020	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR	m	R\$ 213,69
2.4	DER-40428. Nov/2020	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,60 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas	m	R\$ 342,13
2.5	DER-41174. Nov/2020	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas	m	R\$ 25,45
2.6	DER-41175. Nov/2020	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,60 m em Vias Urbanas	m	R\$ 31,69
2.7	DER-41167. Nov/2020	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,80m), em Vias Urbanas	und.	R\$ 3.309,36
2.8	DER-41168. Nov/2020	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,60 m (1,00 x 1,00 m), em Vias Urbanas	und.	R\$ 3.826,97
2.9	DER-40327. Nov/2020	Escoramento de cavas e valas, inclusive fornecimento e transportes das madeiras	m <sup>2</sup>	R\$ 274,15
3. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - INFILTRAÇÃO TOTAL				
Item	REFERÊNCIA	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário reajustado DNIT 10/21
3.1	Composição 01. Março/2021	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco	m <sup>2</sup>	R\$ 143,89
3.2	DER-43327. Nov/2020	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m <sup>3</sup>	R\$ 113,94
3.3	DER-40660. Nov/2020	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação	m	R\$ 68,62

Quadro 16: Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos

(Conclusão)

<b>4. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - INFILTRAÇÃO PARCIAL</b>				
<b>Item</b>	<b>REFERÊNCIA</b>	<b>Descrição do Serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário reajustado DNIT 10/21</b>
4.1	Composição 01. Março/2021	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco	m <sup>2</sup>	R\$ 143,89
4.2	DER-43327. Nov/2020	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m <sup>3</sup>	R\$ 113,94
4.3	DER-40660. Nov/2020	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação	m	R\$ 68,62
4.4	Composição 02. Março/2021	Dreno sub-superficial c/tubo PEAD perfur.d=100mm, env. geotêxtil RT-07, preenc. c/ brita	m	R\$ 44,01
4.5	DER-40424. Nov/2020	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas	m	R\$ 213,69
4.6	DER-41174. Nov/2020	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas	m	R\$ 25,45
4.7	DER-41167. Nov/2020	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas	und.	R\$ 3.309,36
<b>5. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - SEM INFILTRAÇÃO</b>				
<b>Item</b>	<b>REFERÊNCIA</b>	<b>Descrição do Serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário reajustado DNIT 10/21</b>
5.1	Composição 01. Março/2021	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco	m <sup>2</sup>	R\$ 143,89
5.2	DER-43327. Nov/2020	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m <sup>3</sup>	R\$ 113,94
5.3	DER-40660. Nov/2020	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação	m	R\$ 68,62
5.4	DER-41185. Nov/2020	Dreno em PEAD perfurado diâm. = 100 mm, inclusive transporte do tubo, em Vias Urbanas	m	R\$ 10,36
5.5	DER-40424. Nov/2020	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas	m	R\$ 216,34
5.6	DER-41174. Nov/2020	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas	m	R\$ 25,76
5.7	DER-41167. Nov/2020	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas	und.	R\$ 3.350,38
5.8	Composição 03. Março/2021	Geomembrana em (PEAD) de 1,00mm, fornecimento e aplicação.	m <sup>2</sup>	R\$ 32,93

\* O valor do transporte não foi incluso.

Fonte: Própria

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PAVIMENTAÇÃO CONVENCIONAL COM BLOCO DE CONCRETO

Os custos com a implantação do pavimento convencional com bloco de concreto (PCBC) foi dividido entre custos da drenagem e custos da pavimentação.

Os custos da pavimentação foram calculados considerando dois fatores: a área de pavimentação com blocos de concreto e o volume de base de brita graduada. Sendo a área de pavimentação igual a 13.361,20 m<sup>2</sup> (valor invariável), os custos da pavimentação convencional com bloco de concreto variaram de acordo com a altura da base e sub-base dimensionada para diferentes valores de CBR, conforme Tabela 11.

Além do custo com a pavimentação é necessário acrescentar os custos com a drenagem convencional, que totalizaram R\$ 532.235,65, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Custo da drenagem convencional

(Continua)

DRENAGEM CONVENCIONAL					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
2.1	Meio fio sarjeta de concreto tipo DP-1 (0,035 m <sup>3</sup> /m) inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40659)	m	2258,4	R\$ 62,83	R\$ 141.901,99
2.2	Caixa ralo em blocos pré-moldados e grelha articulada em FFA em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41241)	und.	42	R\$ 1.620,72	R\$ 68.070,26
2.3	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40424)	m	637,0	R\$ 213,69	R\$ 136.124,50

Tabela 11: Custo da drenagem convencional

(Conclusão)

DRENAGEM CONVENCIONAL					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
2.4	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,60 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40428)	m	99	R\$ 342,13	R\$ 33.871,02
2.5	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41174)	m	637,0	R\$ 25,45	R\$ 16.885,95
2.6	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,60 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41175)	m	99	R\$ 31,69	R\$ 3.137,55
2.7	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,80 m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41167)	und.	13	R\$ 3.309,36	R\$ 43.021,64
2.8	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,60 m (1,00 x 1,00 m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41168)	und.	2	R\$ 3.826,97	R\$ 7.653,94
2.9	Escoramento de cavas e valas, inclusive fornecimento e transportes das madeiras (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40327)	m <sup>2</sup>	300	R\$ 274,15	R\$ 82.244,04
TOTAL DO ITEM 2					R\$ 532.235,65

Fonte: Própria

A Tabela 12 apresenta os custos totais da pavimentação e drenagem convencional.

Tabela 12: Custo da pavimentação e drenagem convencional

CUSTOS COM PAVIMENTAÇÃO E DRENAGEM CONVENCIONAL			
CBR	PAVIMENTAÇÃO	DRENAGEM	TOTAL
≥ 8	R\$ 1.659.113,11	R\$ 532.235,65	R\$ 2.191.348,76
6	R\$ 1.704.784,40	R\$ 532.235,65	R\$ 2.237.020,05
5	R\$ 1.765.679,44	R\$ 532.235,65	R\$ 2.297.915,09
4	R\$ 1.857.022,01	R\$ 532.235,65	R\$ 2.389.257,66
3,5	R\$ 1.902.693,29	R\$ 532.235,65	R\$ 2.434.928,94
3	R\$ 1.978.812,10	R\$ 532.235,65	R\$ 2.511.047,75
2,5	R\$ 2.054.930,91	R\$ 532.235,65	R\$ 2.587.166,56
2	R\$ 2.176.721,00	R\$ 532.235,65	R\$ 2.708.956,65

Fonte: Própria

## 5.2 PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO

Considerou-se na Hipótese 1 (PPBCP Infiltração Total) que a altura da base e sub-base “Hb” deve ser menor que a altura máxima “Hmax”.

$$H_b \leq H_{max}$$

Sendo:

H<sub>b</sub> = altura da base e sub-base dada pela equação 1 e

H<sub>máx</sub> = altura máxima dada pela equação 2

$$H_{máx} = f \times t_s / V_r \text{ (equação 2),}$$

onde:

t<sub>s</sub> é o tempo máximo de armazenamento de água (adotado 24h);

f é a taxa de infiltração no solo (m/h);

Vr é o índice de vazios do material de base/reservatório (adotado 32%).

Logo, temos a taxa de infiltração no subsolo dada por:

$$f \geq (\Delta Q c. R + P)/(T_e + t_s)$$

Com isso, foi possível determinar a taxa de infiltração mínima aplicada à primeira hipótese (PPBCP Infiltração Total), sendo:

$$f \geq 0,0051 \text{ m/h} = 1,40 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

Observa-se no Quadro 1 que a ABNT NBR 16416/2015 recomenda o uso de pavimento permeável com infiltração total apenas para subleitos com taxa de permeabilidade de no mínimo  $10^{-3}$  m/s, contudo, podemos verificar que a taxa de infiltração de  $1,40 \cdot 10^{-6}$  m/s permite, dentro das condições estudadas, que toda água retida no reservatório de britas (base e sub-base do PPBCP) infiltre no subleito em menos de 24h. Sendo assim, é possível estabelecer a faixa de permeabilidade do solo para a hipótese 1 (PPBCP Infiltração Total) com coeficiente entre  $10^{-3}$  m/s (típico de solos com alta permeabilidade) e  $1,40 \cdot 10^{-6}$  m/s (típico de solos com permeabilidade média a baixa).

De acordo com a Tabela 09, considerou-se, nesse estudo, que solos com taxa de infiltração entre  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$  m/s possuem  $\text{CBR} \geq 8,0$ .

A Tabela 13 apresenta as alturas da base e sub-base adotadas no dimensionamento do pavimento da hipótese 1 (PPBCP Infiltração Total).

Tabela 13: Dimensionamento do Pavimento Permeável da Hipótese 1 (PPBCP Infiltração Total)

Taxa de infiltração do subleito (m/s)	Taxa de infiltração do subleito (m/h)	CBR	Hmax (m)	Altura da base + sub-base pelo método hidráulico (m)	Altura da base + sub-base pelo método mecânico (m)	Altura adotada base + sub-base (m)
$10^{-3}$	3,6000	$\geq 8$	270,00	-22,09	0,15	0,15
$1,11 \cdot 10^{-5}$	0,0420	$\geq 8$	3,00	0,15	0,15	0,15
$1,4 \cdot 10^{-6}$	0,0049	$\geq 8$	0,37	0,37	0,15	0,37

Fonte: Própria

Verificou-se, na Tabela 13, que para a taxa de infiltração de  $10^{-3}$  m/s a altura da base e sub-base calculada pelo método hidrológico-hidráulico apresenta valor negativo, logo, conclui-se que essa taxa permite a rápida infiltração da água de chuva sem que aconteça a necessidade de reservação. Para taxas de infiltração maiores que  $1,11 \cdot 10^{-5}$  m/s a altura do reservatório calculado pelo método hidrológico-hidráulico é menor que 15 cm, nesse caso, admitiu-se o valor mínimo de 15 cm para altura da base e sub-base, dado pelo método mecânico. Para taxas de infiltração abaixo de  $1,11 \cdot 10^{-5}$  m/s as alturas da camada base e sub-base ficam maiores que as alturas calculadas pelo método mecânico.

A Tabela 14 apresenta os custos de implantação do PPBCP tipo infiltração total.

Tabela 14: Custo de implantação do PPBCP infiltração total

CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO	BASE E SUB-BASE	CUSTO
≥ 8	≥ $1,11 \cdot 10^{-5}$ m/s	15 cm	R\$ 2.305.855,88
≥ 8	$1,4 \cdot 10^{-6}$ m/s	38 cm	R\$ 2.656.002,39

Fonte: Própria

Já considerando a hipótese 2 (PPBCP Infiltração Parcial) observa-se que a ABNT NBR 16416/2015 recomenda o uso de pavimento permeável com infiltração parcial apenas para subleitos com taxa de permeabilidade entre  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  m/s, contudo, como já verificado, nas condições estudadas, é possível aplicar o pavimento permeável com infiltração total em solos com coeficiente maior ou igual a  $1,4 \cdot 10^{-6}$  m/s. Dessa forma, é possível estabelecer a faixa de permeabilidade do solo para a hipótese 2 com coeficiente entre  $1,4 \cdot 10^{-6}$  m/s (típico de solos com permeabilidade média a baixa) e  $10^{-7}$  m/s (típico de solos com baixa permeabilidade).

Considerou-se, nesse estudo (Tabela 09), que solos com taxa de infiltração entre  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s possuem CBR ≥ 5,0.

A Tabela 15 apresenta as alturas da base e sub-base adotadas no dimensionamento do pavimento da hipótese 2 - PPBCP Infiltração Parcial.

Tabela 15: Dimensionamento do Pavimento Permeável da Hipótese 2 (PPBCP Infiltração Parcial)

Taxa de infiltração do subleito (m/s)	Taxa de infiltração do subleito (m/h)	CBR	Hmax (m)	Altura da base + sub-base pelo método hidráulico (m)	Altura da base + sub-base pelo método mecânico (m)	Altura adotada base + sub-base (m)
$1,4 \cdot 10^{-6}$	0,0051	$\geq 5$	0,37	0,37	$\leq 0,22$	0,37
$10^{-7}$	0,0004	$\geq 5$	0,03	0,40	$\leq 0,22$	0,40

Fonte: Própria

As tabelas 16 e 17, a seguir, apresentam o tempo de esvaziamento para a hipótese 2, considerando uma tubulação de drenagem com DN = 100mm por rua. As ruas foram numeradas conforme Figura 28. A altura da base e sub-base foi definida de acordo com a Tabela 15.

Tabela 16: Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração de  $10^{-7}$  m/s

DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS $f = 10^{-7}$ m/s								
RUA	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	H BASE E SUB-BASE (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Q POR DRENO (m <sup>3</sup> /h)	Qinf (m <sup>3</sup> /h)	nº de drenos	Tesv (h)
1	27	12	0,40	31,10	10,8	0,12	1	2,85
2	150	12	0,40	172,80	10,8	0,65	1	15,09
3	150	12	0,40	172,80	10,8	0,65	1	15,09
4	66,5	12	0,40	76,61	10,8	0,29	1	6,91
5	150	12	0,40	172,80	10,8	0,65	1	15,09
6	150	12	0,40	172,80	10,8	0,65	1	15,09
7	66,5	12	0,40	76,61	10,8	0,29	1	6,91
8	150	12	0,40	172,80	10,8	0,65	1	15,09
9	150	12	0,40	172,80	10,8	0,65	1	15,09
10	39,5	12	0,40	45,50	10,8	0,17	1	4,15

Fonte: Própria

Observa-se, nas Tabelas 16 e 17, que o tempo de esvaziamento calculado foi menor que 24 horas, validando a adoção de 1 dreno, DN 100 mm, por rua.

Tabela 17: Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração de  $1,4 \cdot 10^{-6}$  m/s

DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS $f = 1,4 \cdot 10^{-6}$ m/s								
RUA	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	H BASE E SUB- BASE (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )	Q POR DRENO (m <sup>3</sup> /h)	Qinf (m <sup>3</sup> /h)	Nº DE DRENOS	Tesv (h)
1	27	12	0,37	28,77	10,8	1,65	1	2,31
2	150	12	0,37	159,84	10,8	9,18	1	8,00
3	150	12	0,37	159,84	10,8	9,18	1	8,00
4	66,5	12	0,37	70,86	10,8	4,07	1	4,77
5	150	12	0,37	159,84	10,8	9,18	1	8,00
6	150	12	0,37	159,84	10,8	9,18	1	8,00
7	66,5	12	0,37	70,86	10,8	4,07	1	4,77
8	150	12	0,37	159,84	10,8	9,18	1	8,00
9	150	12	0,37	159,84	10,8	9,18	1	8,00
10	39,5	12	0,37	42,09	10,8	2,42	1	3,18

Fonte: Própria

Para o dimensionamento do coletor tronco da hipótese 2 foi considerado o diâmetro mínimo de 400 mm, usual em redes de drenagem convencionais. A Tabela 18 apresenta a verificação quanto ao diâmetro adotado.

Tabela 18: Dimensionamento do coletor tronco

PV Mont.	PV Jus.	Comp. (m)	Diâmetro (m)	Decliv. (m/m)	Vazão (l/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Tirante (%)
PV1	PV2	66,50	0,40	0,0045	9,00	32,40	1,66	17,20
PV2	PV3	66,50	0,40	0,0045	18,00	64,80	2,19	24,29
PV3	PV4	39,50	0,40	0,0045	27,00	97,20	2,51	29,86

Fonte: Própria

O custo de implantação da hipótese 2 (PPBCP infiltração parcial) está apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Custo de implantação do PPBCP infiltração parcial

CBR	Taxa de infiltração do subleito (m/s)	Base e Sub-base (cm)	Nº de drenos/rua	Custo
≥ 5	$1,4 \cdot 10^{-6}$	37	1	R\$ 2.772.752,49
≥ 5	$10^{-7}$	41	1	R\$ 2.803.200,01

Fonte: Própria

A pavimentação permeável sem infiltração é aplicada quando ocorre o risco de contaminação do solo ou do lençol freático, ou quando o nível do lençol freático está a menos de 0,60 m da base do pavimento. Nesse caso a infiltração deve ser nula.

Dessa forma, foram calculadas as alturas da base e sub-base dos pavimentos permeáveis sem infiltração, conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20: Dimensionamento do Pavimento Permeável da Hipótese 3 (PPBCP Sem Infiltração)

Taxa de infiltração do subleito (m/h)	CBR	Altura da base pelo método hidráulico (m)	Altura da base pelo método mecânico (m)	Altura adotada base + sub-base (m)
0,0000	≥2,5	0,41	≤0,41	0,41
0,0000	2,0	0,41	0,49	0,49

Fonte: Própria

Observe na Tabela 20 que, para solos com CBR maior ou igual a 2,5, foi adotada a altura da base e sub-base dimensionada pelo método hidráulico, por ser maior que a altura dimensionada pelo método mecânico.

As tabelas 21 e 22, a seguir, apresentam o tempo de esvaziamento para a hipótese 3 (PPBCP Sem Infiltração), considerando uma tubulação de drenagem com DN = 100mm por rua. As ruas foram numeradas conforme Figura 28. A altura da base e sub-base foi definida de acordo com a Tabela 20.

Tabela 21: Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração = 0,0 e CBR  $\geq$  2,5

DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS, CBR $\geq$ 2,5								
RUA	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	H BASE E SUB-BASE (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Q POR DRENO (m <sup>3</sup> /h)	Qinf (m <sup>3</sup> /h)	nº de drenos	Tesv (h)
1	27	12	0,41	31,88	10,8	0,00	1	2,95
2	150	12	0,41	177,12	10,8	0,00	1	16,40
3	150	12	0,41	177,12	10,8	0,00	1	16,40
4	66,5	12	0,41	78,52	10,8	0,00	1	7,27
5	150	12	0,41	177,12	10,8	0,00	1	16,40
6	150	12	0,41	177,12	10,8	0,00	1	16,40
7	66,5	12	0,41	78,52	10,8	0,00	1	7,27
8	150	12	0,41	177,12	10,8	0,00	1	16,40
9	150	12	0,41	177,12	10,8	0,00	1	16,40
10	39,5	12	0,41	46,64	10,8	0,00	1	4,32

Fonte: Própria

Tabela 22: Dimensionamento dos drenos para taxa de infiltração = 0,0 e CBR = 2,0

DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS $f = 0,000\text{m/h}$ , $\text{CBR} = 2,0$								
RUA	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	H BASE E SUB-BASE (m)	Volume ( $\text{m}^3$ )	Q POR DRENO ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Qinf ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	nº de drenos	Tesv (h)
1	27	12	0,49	38,10	10,8	0,00	1	3,53
2	150	12	0,49	211,68	10,8	0,00	1	19,60
3	150	12	0,49	211,68	10,8	0,00	1	19,60
4	66,5	12	0,49	93,84	10,8	0,00	1	8,69
5	150	12	0,49	211,68	10,8	0,00	1	19,60
6	150	12	0,49	211,68	10,8	0,00	1	19,60
7	66,5	12	0,49	93,84	10,8	0,00	1	8,69
8	150	12	0,49	211,68	10,8	0,00	1	19,60
9	150	12	0,49	211,68	10,8	0,00	1	19,60
10	39,5	12	0,49	55,74	10,8	0,00	1	5,16

Fonte: Própria

Observa-se, nas Tabelas 21 e 22, que o tempo de esvaziamento calculado foi menor que 24 horas, validando a adoção de 1 dreno, DN 100 mm, por rua.

Nessa hipótese os drenos lançam em um coletor tronco, conforme Figura 28, cujo dimensionamento encontra-se na Tabela 18.

Os custos de implantação da hipótese 3 (PPBCP sem infiltração) estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 23: Custo de implantação do PPBCP sem infiltração

Taxa de infiltração do subleito (m/h)	CBR	Base e Subbase (cm)	Nº de drenos/rua	Custo (R\$)
0,0000	≥2,5	41	1	R\$ 3.205.301,53
0,0000	2,0	49	1	R\$ 3.327.091,62

Fonte: Própria

### 5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Nas condições estudadas, o custo de implantação do pavimento convencional com bloco de concreto (PCBC) em solo com  $CBR \geq 8$  é de R\$ R\$ 2.191.348,76. Comparando esse valor com o custo de implantação do pavimento permeável com bloco de concreto poroso (PPBCP) tipo infiltração total, temos os resultados apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Custo de implantação do PPBCP Infiltração Total X PCBC

PPBCP INFILTRAÇÃO TOTAL X PCBC				
CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO	PPBCP - IT	PCBC	DIFERENÇA
≥ 8	≥1,11.10 <sup>-5</sup> m/s	R\$ 2.305.855,88	R\$ 2.191.348,76	5,23%
≥ 8	1,4.10 <sup>-6</sup> m/s	R\$ 2.656.002,39	R\$ 2.191.348,76	21,20%

Fonte: Própria

Observa-se que o custo de implantação do PPBCP infiltração total é invariável para taxa de infiltração no solo maior ou igual a  $1,11.10^{-5}$  m/s. Isso ocorre porque nessa faixa de taxa de infiltração a altura da base e sub-base sempre será igual a 15 cm. Nessa situação, o custo de implantação do PPBCP infiltração total será 5,23% maior que o custo de implantação do PCBC. Para taxas de infiltração menores que  $1,11.10^{-5}$  m/s, a diferença de custo de implantação entre o PPCBP infiltração total e o PCBC vai variar de 5,23% a 21,20%.

Em todas as situações apresentadas os custos de implantação do PPBCP infiltração total são superiores, isso ocorre, principalmente, por dois motivos:

1. O bloco de concreto poroso é mais oneroso que o bloco de concreto convencional. Mesmo não tendo os dispositivos de drenagem convencional, o PPBCP infiltração

total apresentou uma diferença de preço de 5,23% com relação ao PCBC para a mesma altura de base e sub-base. Essa diferença ocorreu devido ao custo do bloco de concreto poroso que, neste estudo, é 34,0% mais caro que o bloco de concreto convencional.

2. Para as taxas de infiltração menores que  $1,11 \cdot 10^{-5}$  m/s, os custos com a camada base e sub-base do PPBCP infiltração total são mais onerosos. Isso ocorre porque as alturas calculadas pelo dimensionamento hidrológico-hidráulico são maiores que as alturas calculados pelo método mecânico.

Para solos com taxa de infiltração entre  $1,4 \cdot 10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s, o sistema de infiltração do pavimento permeável, para o tempo máximo de esvaziamento de 24h, não poderá ser total, logo, foi admitido o sistema de infiltração parcial.

Nesse caso, o CBR do subleito poderá variar, sendo adotado o valor mínimo de 5. A comparação entre os custos de implantação do PPBCP do tipo infiltração parcial e o PCBC está apresentada na Tabela 25.

Tabela 25: Custo de implantação do PPBCP Infiltração Parcial X PCBC

PPBCP INFILTRAÇÃO PARCIAL X PCBC				
CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO (M/S)	PPBCP - IP	PCBC	DIFERENÇA
≥ 8	$1,40 \cdot 10^{-6}$	R\$ 2.772.752,49	R\$ 2.191.348,76	26,53%
	$10^{-7}$	R\$ 2.803.200,01	R\$ 2.191.348,76	27,92%
Entre 6 e 8	$1,40 \cdot 10^{-6}$	R\$ 2.772.752,49	R\$ 2.237.020,05	23,95%
	$10^{-7}$	R\$ 2.803.200,01	R\$ 2.237.020,05	25,31%
Entre 5 e 6	$1,40 \cdot 10^{-6}$	R\$ 2.772.752,49	R\$ 2.297.915,09	20,66%
	$10^{-7}$	R\$ 2.803.200,01	R\$ 2.297.915,09	21,99%

Fonte: Própria

Observa-se na Tabela 25 que os custos de implantação do PPBCP do tipo infiltração parcial variam de 20,66% a 27,92% mais caro que os custos de implantação do PCBC. Nesse caso, a diferença pode ser atribuída aos custos do bloco de concreto e da

camada de base e subbase, de maneira análoga ao caso do PPBCP do tipo infiltração total, além do custo do dreno envolto com a manta geotêxtil (pode-se observar na composição desse item (em anexo) que o custo maior se deve ao valor da manta geotêxtil).

A Tabela 26 apresenta a comparação entre os custos de implantação do PPBCP do tipo sem infiltração e o PCBC, para diversos valores de CBR.

Tabela 26: Custo de implantação do PPBCP Sem Infiltração X PCBC

PPBCP SEM INFILTRAÇÃO X PCBC				
CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO	PPBCP - IP	PCBC	DIFERENÇA
≥ 8	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.191.348,76	46,27%
6	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.237.020,05	43,28%
5	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.297.915,09	39,49%
4	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.389.257,66	34,15%
3,5	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.434.928,94	31,64%
3	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.511.047,75	27,65%
2,5	0	R\$ 3.205.301,53	R\$ 2.587.166,56	23,89%
2	0	R\$ 3.327.091,62	R\$ 2.708.956,65	22,82%

Fonte: Própria

Observa-se na Tabela 26 que o custo de implantação do PPBCP do tipo sem infiltração é invariável para solos com CBR maior ou igual a 2,5. Isso ocorre porque, nesse caso, a altura da base e sub-base calculada pelo método hidráulico-hidrológico será maior que a altura calculada pelo método mecânico. A diferença de preço entre o PPBCP do tipo sem infiltração e o PCBC varia de 22,82% a 46,27%, dependendo do CBR do solo.

Nesse caso, a diferença pode ser atribuída aos custos do bloco de concreto e da camada de base e subbase, de maneira análoga ao caso do PPBCP do tipo infiltração

total, além do custo da manta impermeável que se aplicam ao caso do PPBCP tipo sem infiltração.

### 5.3.1 Influência do Custo do Bloco de Concreto no Preço Total de Implantação do Pavimento.

O preço do bloco do concreto, utilizado para compor o preço do Serviço de Pavimentação (itens 1.1, 3.1, 4.1 e 5.1 do Quadro 17), teve como referência a planilha do DER, com data base em 11/20 ajustado para 10/21, para o caso de pavimentação com bloco de concreto convencional e a planilha da Prefeitura de Vila Velha/ES com data base 03/21 ajustado para 10/21, para pavimentação com bloco de concreto poroso. Esses valores representam a realidade do município de Vila Velha/ES e redondezas. A diferença constatada entre os blocos de concreto (convencional e poroso) foi de 34,0%, uma diferença bastante elevada que pode variar de acordo com a região de estudo. Essa variação pode ocorrer devido à fatores diversos, tais como, a demanda, a tecnologia empregada, o preço dos insumos, entre outros.

Para analisar a influência do custo do bloco de concreto no preço total de implantação do pavimento foram considerados diferentes cenários de custos dos blocos, de acordo com a Tabela 27.

Tabela 27: Cenários considerando diferentes preços do bloco de concreto.

Serviço	Custo (R\$)		
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia	R\$ 107,08	R\$ 107,08	R\$ 95,92
Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco	R\$ 143,89	R\$ 107,08	R\$ 104,56

Fonte: Própria

No cenário 1 foram mantidos os valores apresentados no Quadro 17, logo, os preços dos serviços de pavimentação com bloco de concreto (convencional e poroso) são os valores apresentados na Tabela 24.

No cenário 2 o preço do serviço de pavimentação com bloco de concreto poroso foi igualado ao preço do serviço de pavimentação com bloco de concreto convencional. No cenário 3 foram adotados valores referentes a uma cotação realizada na cidade de Guarulhos/SP, onde o preço do bloco de concreto poroso é R\$ 46,00 o m<sup>2</sup> e o preço do bloco de concreto convencional é R\$ 39,00 o m<sup>2</sup>. Substituindo o preço do bloco de concreto na Composição 01 (Anexo 2), temos os valores do Cenário 3.

Os gráficos, a seguir, apresentam os custos de implantação do PCBC e do PPBCP, considerando os diferentes cenários de custos de blocos.

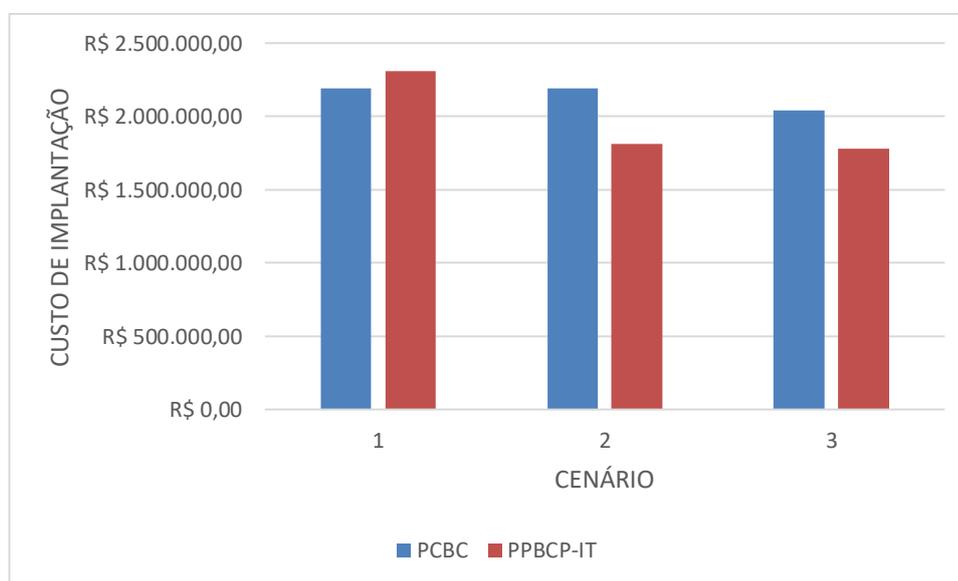


Gráfico 1: Custos de implantação de PCBC e PPBCP tipo infiltração total, considerando solos com CBR  $\geq 8$  e taxa de infiltração  $\geq 1,11 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Fonte: Própria

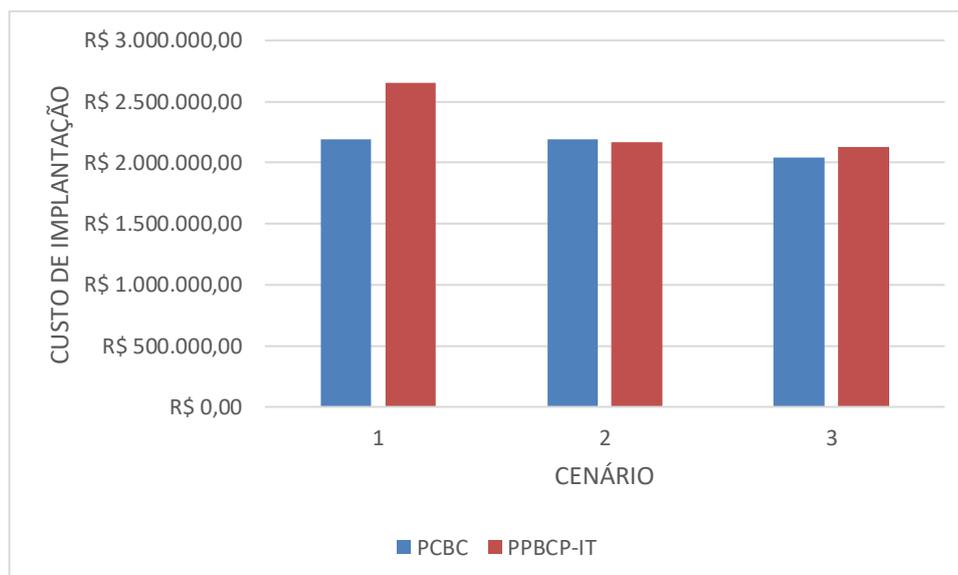


Gráfico 2: Custos de implantação de PCBC e PPBCP tipo infiltração total, considerando solos com  $\text{CBR} \geq 8$  e taxa de infiltração =  $1,4 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Fonte: Própria.

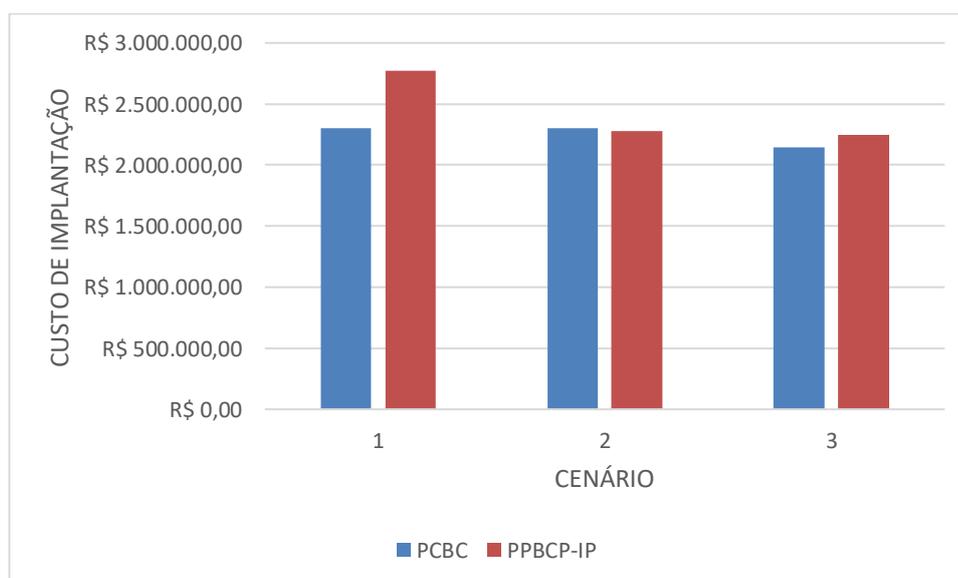


Gráfico 3: Custos de implantação de PCBC e PPBCP tipo infiltração parcial, considerando solos com  $\text{CBR}$  entre 5 e 6 e taxa de infiltração =  $1,4 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Fonte: Própria.

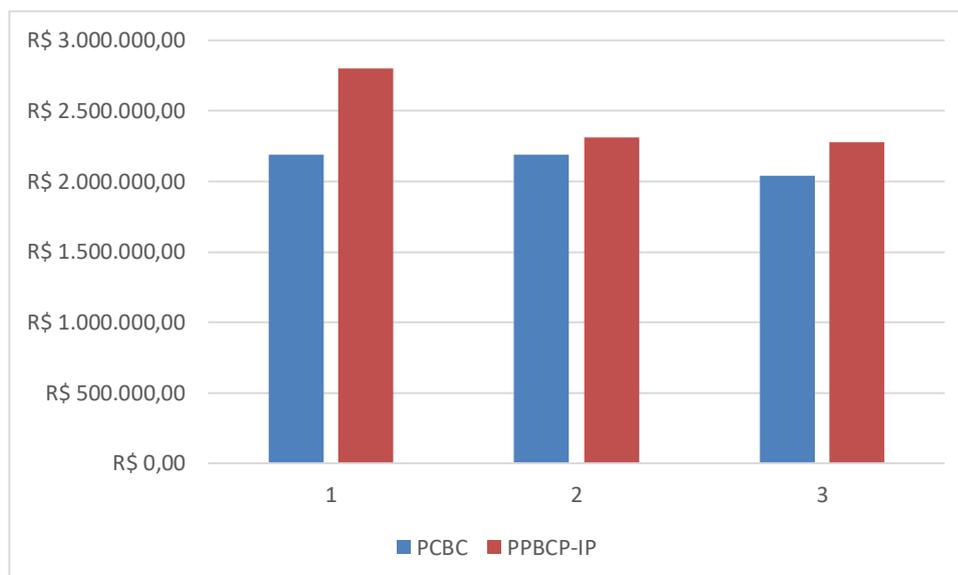


Gráfico 4: Custos de implantação de PCBC e PPBCP tipo infiltração parcial, considerando solos com  $\text{CBR} \geq 8$  e taxa de infiltração =  $10^{-7}$  m/s.

Fonte: Própria.

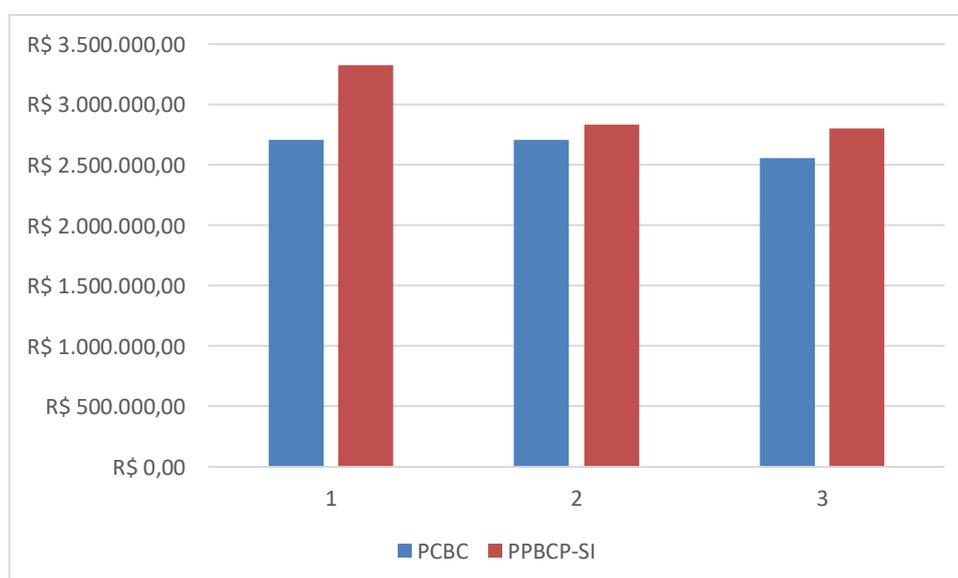


Gráfico 5: Custos de implantação de PCBC e PPBCP tipo sem infiltração, considerando solos com  $\text{CBR} = 2$ .

Fonte: Própria.

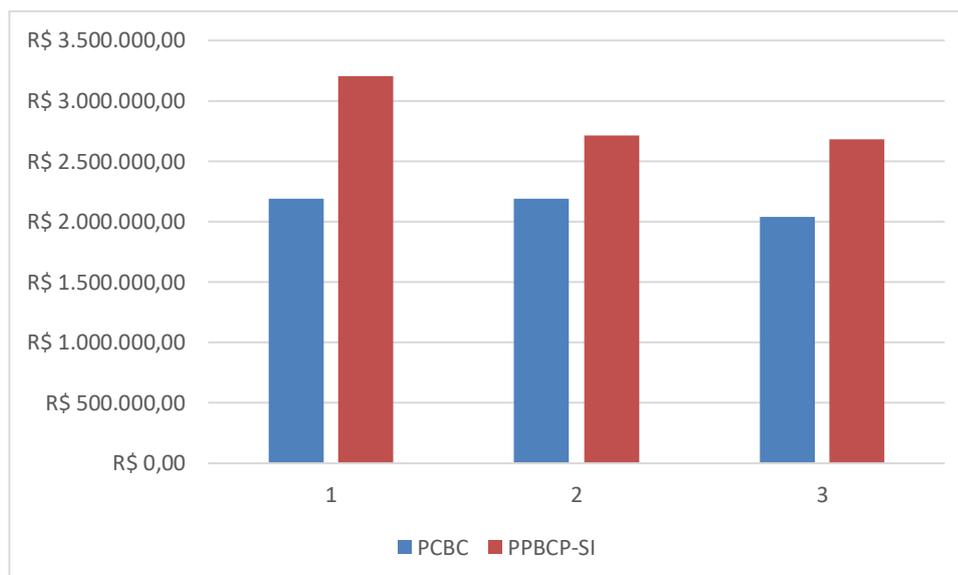


Gráfico 6: Custos de implantação de PCBC e PPBCP tipo sem infiltração, considerando solos com CBR  $\geq$  8.

Fonte: Própria.

No Gráfico 1, é possível observar que, nos cenários 2 e 3, os custos de implantação do PPBCP-IT são menores que os custos de implantação do PCBC, chegando a ser 17,22% e 12,82% menor nos cenários 2 e 3, respectivamente. No Gráfico 2, observa-se que a diferença de custo também é reduzida, ficando o PPBCP-IT mais barato 1,24% mais barato no cenário 2 e 4,32% mais caro no cenário 3.

Nos Gráficos 3 e 4, verifica-se a redução na diferença de custo considerando o PPBCP-IP. No Gráfico 3 a diferença de custo de implantação passou de 20,66% (cenário 1) para -0,74% e 4,48% nos cenários 2 e 3, respectivamente. No Gráfico 4 a diferença de custo de implantação passou de 27,92% (cenário 1) para 5,48% e 11,53% nos cenários 2 e 3, respectivamente.

Da mesma forma, verifica-se a redução na diferença de custo, nos Gráficos 5 e 6, considerando o PPBCP-SI. No Gráfico 4 a diferença de custo de implantação passou de 22,82%, no cenário 1, para 4,66% e 9,45% nos cenários 2 e 3, respectivamente. Já no Gráfico 5 a diferença de custo de implantação passou de 46,27%, no cenário 1, para 23,83% e 31,22% nos cenários 2 e 3, respectivamente.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo comparou os custos de implantação do PPBCP com os custos de implantação do PCBC. Dentre os insumos que compõem os custos do PPBCP, o verificou-se a influência do preço do bloco de concreto poroso, considerando que o preço desse insumo, que não consta na planilha do DER (usada como referência), varia de acordo com a região. É importante ressaltar que existe a tendência de redução de custo do bloco de concreto poroso, inclusive já observada em algumas localidades como na cidade de Guarulhos-SP.

Os custos de implantação de PPBCP-IT para solos com  $CRB \geq 8$  e taxas de infiltração maiores que  $1,1 \times 10^{-5}$  m/s ficaram 5,23% maiores que os custos de implantação de PCBC nas mesmas condições. Essa diferença deve-se ao custo do bloco de concreto poroso que nesse estudo foi 34% maior que o custo do bloco de concreto convencional. Em cenários onde o custo do bloco de concreto poroso é reduzido, observa-se que esse tipo de pavimento fica 17,22% mais barato que o PCBC, quando os preços dos blocos de concreto poroso e convencionais são igualados. Esse fato pode ser atribuído à supressão dos dispositivos de drenagem convencional (caixas, ralos, sarjetas, poços de visita, bueiros tubulares, entre outros).

Ainda se tratando do PPBCP-IT, verificou-se que para solos com  $CRB \geq 8$  e taxas de infiltração entre que  $1,1 \times 10^{-5}$  m/s e  $1,4 \times 10^{-6}$  m/s, os custos de implantação ficaram até 21,20% mais caros quando comparados ao PCBC. Nesse caso, além do preço do bloco de concreto poroso, deve-se considerar o aumento da camada de brita que compõe a base e a sub-base, como fatores que contribuem para o aumento do custo de implantação do PPBCP. Em cenários onde o custo do bloco de concreto poroso é reduzido, observa-se que esse tipo de pavimento pode ficar até 1,24% mais barato que o PCBC, quando os preços dos blocos de concreto poroso e convencionais são igualados.

A diferença entre os custos apurados para a implantação do PPBCP-IP e os custos de implantação do PCBC, variou de 20,66% a 27,92%, para solos com valores de  $CBR \geq 5$ . Foram avaliadas taxas de infiltração entre  $1,4 \times 10^{-6}$  m/s e  $10^{-7}$  m/s. Em cenários onde o custo do bloco de concreto poroso é reduzido, observa-se a redução da diferença de custo. Na pior situação, onde a taxa de infiltração do solo é mínima

( $10^{-7}$  m/s) a diferença de custo de implantação cai de 27,92% para 5,48% no cenário onde os custos dos blocos de concreto (poroso e convencional) são igualados. Nesse caso, mesmo com a redução do preço do bloco de concreto poroso o PPBCP permanece mais caro. A diferença de custo pode ser atribuída ao preço do dreno envolto com manta geotêxtil e diferença na espessura da camada de brita que compõe a base e a sub-base. Na melhor situação, onde a taxa de infiltração do solo é  $1,4 \times 10^{-6}$  m/s, a diferença de custo de implantação cai de 20,66% para -0,74%, quando os custos dos blocos de concreto (poroso e convencional) são igualados.

Os custos de implantação do PPBCP-SI foram analisados para solos com diferentes valores de CBR. A diferença de custo maior ocorreu para solos com  $\text{CBR} \geq 8,0$ . Nesse caso, o PPBCP-SI fica 46,27% mais caro que o PCBC. Em um cenário onde o custo do bloco de concreto poroso é igualado ao custo do bloco de concreto convencional a diferença de 46,47% cai para 23,83%.

Podemos afirmar que, no cenário atual, considerando a região do município de Vila Velha/ES e arredores os custos de implantação do PPBCP são maiores que os custos de implantação do PCBC, mesmo assim, deve-se considerar as vantagens do PPBCP como os ganhos sociais, ambientais e redução da drenagem a jusante. Considerando a tendência de redução de custo do bloco de concreto poroso, pode-se afirmar que o custo e implantação do PPBCP pode ficar mais atrativos e inclusive menor que o custo de implantação do PCBC.

## 7 REFERÊNCIAS

ABDOLLAHIAN, S. et al. **Stormwater Quality Benefits of Permeable Pavement Systems with Deep Aggregate Layers**. *Environments*, 2018, n. 6, 5 v, p. 68.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6416:2015**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:1989**.

ACIOLI, A. **Estudo Experimental de Pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005, p.145.

ANTUNES, L. N.; GHISI, E.; THIVES, L. P. **Permeable pavements life cycle assessment: A literature review** *Water (Switzerland)*. MDPI AG, 2018.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A.; **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. *RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos*. 2000. n. 3, 5 v, p. 21-29.

BALBO, J. **Pavimentos de concreto permeáveis uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BEAN, E. Z. et al. **Evaluation of Four Permeable Pavement Sites in Eastern North Carolina for Runoff Reduction and Water Quality Impacts**. 2007.

BEAN, E. Z.; HUNT, W. F.; BIDEISPACH, D. A. **Field Survey of Permeable Pavement Surface Infiltration Rates**. 2007.

BOOGAARD, F. et al. **Evaluating the infiltration performance of eight dutch permeable pavements using a new full-scale infiltration testing method**. *Water (Switzerland)*, 2014, n. 7, 6 v, p. 2070–2083.

BRASIL. Normativa 59/DNIT SEDE, de 17 de setembro de 2021.

BRUNETTI, G.; ŠIMŮNEK, J.; PIRO, P. **A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement**. *Journal of Hydrology*, 2016, 540 v, p. 1146–1161.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CASTRO, A. S; et al. **Avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial**, 2012, p. 263-273.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2011, p. 161.

CETESB. **Drenagem Urbana**. 2 ed. São Paulo: DAAE CETESB, 1980.

CHEN, L. M. et al. **Measurement of permeability and comparison of pavements**. Water (Switzerland), 2019, n. 3, 11 v.

COSTA JUNIOR, L. L. DA, BARBASSA, A. P. **Parâmetros de Projeto de Microrreservatório de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006, n. 1, 11v, p. 46-54.

DECINA, T. G. T.; BRANDÃO, J. L. B. **Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 2016, n. 1, 21 v, p. 207-217.

DNIT. **Manual de custos rodoviários**. 2003.

DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2005. p. 133.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. 2006.

DNIT. **Manual de Drenagens e Rodovias**. 2006.

DNIT. **Album de Projetos-tipo de dispositivos de drenagem IPR-736**, 2010.

DRAKE, J.; BRADFORD, A.; VAN SETERS, T. **Stormwater quality of spring-summer-fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement**. Journal of Environmental Management: 2014, 139 v, p. 69–79.

GONÇALVES, A. B.; OLIVEIRA, R. H. DE. **PHA2537-Água em Ambientes Urbanos Seminários PAVIMENTOS PERMEÁVEIS e sua influência sobre a Drenagem**. São Paulo, 2014

HAMMES, G.; THIVES, L. P.; GHISI, E. **Application of stormwater collected from porous asphalt pavements for non-potable uses in buildings**. *Journal of Environmental Management*, 2018, 222 v, p. 338–347.

HARTWIG, Marcelo P. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Aberta do Brasil. 2012

Interpave. **Permeable pavements: Guide to design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements**. Publicação L534:L217. 5 ed. Leicester, 2008.

JOKSIMOVIC, D.; ALAM, Z. **Cost efficiency of Low Impact Development (LID) stormwater management practices**. *Procedia Engineering*. Anais Elsevier Ltd, 2014.

KAYHANIAN, M. et al. **Application of permeable pavements in highways for stormwater runoff management and pollution prevention: California research experiences**. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2019, n. 4, 8 v, p. 358–372.

LIU, Y.; LI, T.; PENG, H. **A new structure of permeable pavement for mitigating urban heat island**. *Science of the Total Environment*, 2018, 634 v, p. 1119–1125.

LIU, J. et al. **Integrated life cycle assessment of permeable pavement: Model development and case study**. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 85 v.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo,: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010, p. 24.

MARCHIONI, M.; BECCIU, G. **Experimental Results on Permeable Pavements in Urban Areas: A Synthetic Review**, 2015, n. 7, 10 v, p. 806–817.

MENDES, E. et al. **Análise da viabilidade econômica de implantação de pavimento permeável como instrumento de drenagem urbana nas vias mais alagadas do município de Nova Xavantina-MT**. Revista Interação Interdisciplinar, 2019, n. 2, 03 v.

MOTA, E.; BASTOS, C. **Pavimento Permeável**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2013, p. 20.

MOTTA, L. D. A, et al. **Procedimentos de projeto viário em pavimentos permeáveis com base na abnt nbr 16.416/2015 – comparação entre blocos permeáveis e convencionais**, 2019.

OLIVEIRA, L. F. G. S. **Dimensionamento e análise de desempenho hidráulico de estacionamentos com drenagem convencional e pavimento permeável, apoiado por modelagem computacional**, 2018, p. 79.

PEREIRA, M. C. S. **Relação de Eficiência e Custos dos Reservatórios de Detenção e Pavimento Permeável na Bacia Hidrográfica do rio Pirajuçara**, 2014, p. 187.

PEREIRA, R. S.; MACHADO, C. C.; CARVALHO, C. A. B. **Aplicações de Misturas Solo - “Grits” em estradas florestais**. Revista Árvore, 2006, p. 619–627.

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho De Pavimentos Permeáveis Como Medida Mitigadora Da Impermeabilização Do Solo Urbano**, 2011, p. 283.

RAMIRES, M. C. P. **Estudo dos efeitos da presença do nível d’água no comportamento de dois solos lateríticos utilizados em fundações de rodovias no rio grande do sul**, 2010, p. 261.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S. **A review of permeable pavement clogging investigations and recommended maintenance regimes**. Water (Switzerland) MDPI AG, 2018.

RAZZAGHMANESH, M.; BORST, M. **Investigation clogging dynamic of permeable pavement systems using embedded sensors**. Journal of Hydrology, 2018, 557 v, p. 887–896.

RECANATESI, F. et al. **Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy)**. Journal of Environmental Management, 2017, 201 v, p. 6–18.

SAADEH, S. et al. **Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff**. International Journal of Transportation Science and Technology, 2019, n. 4, 8 v, p. 338–350.

SÃO PAULO, M. DE. **Ip – 02/2004 classificação das vias 1**. 2004.

SÃO PAULO, M. DE. **IP-06 Instrução para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto**, 2005, p. 17.

SANICOLA, O.; LUCKE, T.; DEVINE, J. **Using permeable pavements to reduce the environmental impacts of urbanisation**. International Journal of GEOMATE, 2018, n. 41, 14 v, p. 159–166.

SANTOS, G. G. et al. **Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica**. 2010.

SARTIPI, M.; SARTIPI, F. **Stormwater retention using pervious concrete pavement: Great Western Sydney case study**. Case Studies in Construction Materials, 2019, 11 v.

SILVA, Alessandro da. **Avaliação Experimental de Pavimentos Permeáveis e dimensionamento de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável: Estudo de caso da bacia do canal do Congo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo.

SUDERHSA. **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR**, 2002, p. 150.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. **I. Drenagem subsuperficial de pavimentos conceitos e dimensionamento**. Oficina de Textos. 2013.

**Tabela Referência de Preços e Composições de Custos Unitários do DER-ES - Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo, de novembro de 2021 com data base novembro/2020.** Disponível em: < <https://der.es.gov.br/tabela-referencia-de-precos-e-composicoes-de-custos-unitarios>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

TERHELL, S.-L. et al. **Cost and Benefit Analysis of Permeable Pavements in Water Sustainability.** 2015.

TOLEDO. **Manual de drenagem urbana,** 2017, p.37.

TOMAS, Plínio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais.** Método Racional. Cap 2. 2012.

TOMAS, Plinio. **Infiltração e balanço hídrico.** Tech Spec Guide. Cap 0, 2007.

TUCCI, Carlos E. M. **Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos.* 2000. N. 05, 1 v, p. 61-68.

TSUTIYA, M. T., & SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário.** São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

TURCO, M. et al. **Unsaturated hydraulic behaviour of a permeable pavement: Laboratory investigation and numerical analysis by using the HYDRUS-2D model.** *Journal of Hydrology,* 2017, 554 v, p. 780–791.

UFPR. **Projeto Geométrico de Rodovias.** 2019.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. **Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro.** *Engenharia Sanitaria e Ambiental,* 2016, n. 4, 21 v.

VILA VELHA. **Licitações,** 2012. Disponível em: <<https://www.vilavelha.es.gov.br/licitacoes/view/39>>. Acesso em: 22 out. 2020.

VIRGILIIS, A. L. C. DE. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** 2009.

---

WOODS-BALLARD R WALLINGFORD R KELLAGHER H R WALLINGFORD P  
MARTIN BLACK, B. H.; BRAY ROBERT BRAY ASSOCIATES SHAFFER, R. P. **CIRIA  
C697 The SuDS manual**. Disponível em: <[www.ciria.org](http://www.ciria.org)>. Acesso em: 10 dez. 2021.

**ANEXO 1 – Planilha Orçamentária**

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA					
1. PAVIMENTAÇÃO CONVENCIONAL COM BLOCO DE CONCRETO					
<b>1.1 SOLOS COM CBR≥ 8</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.1.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.1.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	2.004,18	R\$ 113,94	R\$ 228.356,42
TOTAL DO ITEM 1.1					R\$ 1.659.113,11
<b>1.2 SOLOS COM CBR= 6</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.2.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.2.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	2.405,02	R\$ 113,94	R\$ 274.027,71
TOTAL DO ITEM 1.2					R\$ 1.704.784,40
<b>1.3 SOLOS COM CBR=5</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.3.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.3.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	2.939,46	R\$ 113,94	R\$ 334.922,75
TOTAL DO ITEM 1.3					R\$ 1.765.679,44
<b>1.4 SOLOS COM CBR=4</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.4.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.4.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	3.741,14	R\$ 113,94	R\$ 426.265,32
TOTAL DO ITEM 1.4					R\$ 1.857.022,01
<b>1.5 SOLOS COM CBR= 3,5</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.5.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.5.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	4.141,97	R\$ 113,94	R\$ 471.936,60
TOTAL DO ITEM 1.5					R\$ 1.902.693,29

1. PAVIMENTAÇÃO CONVENCIONAL COM BLOCO DE CONCRETO					
<b>1.6 SOLOS COM CBR= 3,0</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.6.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.6.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	4.810,03	R\$ 113,94	R\$ 548.055,41
TOTAL DO ITEM 1.6					R\$ 1.978.812,10
<b>1.7 SOLOS COM CBR= 2,5</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.7.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.7.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	5.478,09	R\$ 113,94	R\$ 624.174,22
TOTAL DO ITEM 1.7					R\$ 2.054.930,91
<b>1.8 SOLOS COM CBR= 2,0</b>					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
1.8.1	Pavimentação com blocos de concreto (35 MPa) esp.=08 cm,colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40898)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 107,08	R\$ 1.430.756,69
1.8.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT PAVIMENTAÇÃO out/21) (DER-ES - EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	6.546,99	R\$ 113,94	R\$ 745.964,31
TOTAL DO ITEM 1.8					R\$ 2.176.721,00

2. DRENAGEM CONVENCIONAL					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
2.1	Meio fio sarjeta de concreto tipo DP-1 (0,035 m <sup>3</sup> /m) inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40659)	m	2258,4	R\$ 62,83	R\$ 141.901,99
2.2	Caixa ralo em blocos pré-moldados e grelha articulada em FFA em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41241)	und.	42	R\$ 1.620,72	R\$ 68.070,26
2.3	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40424)	m	637,0	R\$ 213,69	R\$ 136.124,50
2.4	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,60 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40428)	m	99	R\$ 342,13	R\$ 33.871,02
2.5	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41174)	m	637,0	R\$ 25,45	R\$ 16.210,70
2.6	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,60 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41175)	m	99	R\$ 31,69	R\$ 3.137,55
2.7	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,80m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41167)	und.	13	R\$ 3.309,36	R\$ 43.021,64
2.8	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,60 m (1,00 x 1,00 m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41168)	und.	2	R\$ 3.826,97	R\$ 7.653,94
2.9	Escoramento de cavas e valas, inclusive fornecimento e transportes das madeiras (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40327)	m <sup>2</sup>	300	R\$ 274,15	R\$ 82.244,04
TOTAL DO ITEM 2					R\$ 532.235,65

3. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - INFILTRAÇÃO TOTAL					
3.1 TAXA DE INFILTRAÇÃO DE 10-3 a 1,16.10-5 m/s					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
3.1.1	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (Composição 01)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 143,89	R\$ 1.922.534,38
3.1.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	2004,18	R\$ 113,94	R\$ 228.356,42
3.1.3	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40660)	m	2258,4	R\$ 68,62	R\$ 154.965,08
TOTAL DO ITEM 3.1					R\$ 2.305.855,88
3.2 TAXA DE INFILTRAÇÃO DE 1,4.10-6 m/s					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
3.2.1	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (Composição 01)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 143,89	R\$ 1.922.534,38
3.2.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	5.077,26	R\$ 113,94	R\$ 578.502,93
3.2.3	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40660)	m	2.258,40	R\$ 68,62	R\$ 154.965,08
TOTAL DO ITEM 3.2					R\$ 2.656.002,39

4. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - INFILTRAÇÃO PARCIAL					
4.1 TAXA DE INFILTRAÇÃO DE 1,4.10-6 m/s					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
4.1.1	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (Composição 01)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 143,89	R\$ 1.922.534,38
4.1.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	5210,868	R\$ 113,94	R\$ 593.726,69
4.1.3	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40660)	m	2.258,40	R\$ 68,62	R\$ 154.965,08
4.1.4	Dreno sub-superficial c/tubo PEAD perfur.d=100mm, env. geotêxtil RT-07, preenc. c/ brita (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (Composição 02)	m	1.144,00	R\$ 44,01	R\$ 50.346,19
4.1.5	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40424)	m	172,50	R\$ 213,69	R\$ 36.862,25
4.1.6	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41174)	m	172,50	R\$ 25,45	R\$ 4.389,83
4.1.7	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41167)	und.	3,00	R\$ 3.309,36	R\$ 9.928,07
				TOTAL DO ITEM 4.1	R\$ 2.772.752,49

4.2 TAXA DE INFILTRAÇÃO DE 10-7 m/s					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
4.2.1	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (PMVV - cód.: 60103 - Sem transporte)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 143,89	R\$ 1.922.534,38
4.2.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	5.478,09	R\$ 113,94	R\$ 624.174,22
4.2.3	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40660)	m	2.258,40	R\$ 68,62	R\$ 154.965,08
4.2.4	Dreno sub-superficial c/tubo PEAD perfur.d=100mm, env. geotêxtil RT-07, preenc. c/ brita (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (Composição 02)	m	1.144,00	R\$ 44,01	R\$ 50.346,19
4.2.5	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40424)	m	172,50	R\$ 213,69	R\$ 36.862,25
4.2.6	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41174)	m	172,50	R\$ 25,45	R\$ 4.389,83
4.2.7	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41167)	und.	3,00	R\$ 3.309,36	R\$ 9.928,07
				TOTAL DO ITEM 4.2	R\$ 2.803.200,01

5. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - SEM INFILTRAÇÃO					
5.1 CBR≥2,5					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
5.1.1	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (PMVV - cód.: 60103 - Sem transporte)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 143,89	R\$ 1.922.534,38
5.1.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	5478,092	R\$ 113,94	R\$ 624.174,22
5.1.3	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40660)	m	2.258,40	R\$ 68,62	R\$ 154.965,08
5.1.4	Dreno em PEAD perfurado diâm. = 100 mm, inclusive transporte do tubo, em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41185)	m	1.144,00	R\$ 10,36	R\$ 11.853,40
5.1.5	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40424)	m	172,50	R\$ 216,34	R\$ 37.319,16
5.1.6	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41174)	m	172,50	R\$ 25,76	R\$ 4.444,24
5.1.7	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41167)	und.	3,00	R\$ 3.350,38	R\$ 10.051,13
5.1.8	Geomembrana em (PEAD) de 1,00mm, fornecimento e aplicação. (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 32,93	R\$ 439.959,93
TOTAL DO ITEM 5.1					R\$ 3.205.301,53

5.2 CBR=2					
ITEM	SERVIÇO	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UN.	PREÇO TOTAL
5.2.1	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (PMVV - cód.: 60103 - Sem transporte)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 143,89	R\$ 1.922.534,38
5.2.2	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 43327)	m <sup>3</sup>	6.546,99	R\$ 113,94	R\$ 745.964,31
5.2.3	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40660)	m	2.258,40	R\$ 68,62	R\$ 154.965,08
5.2.4	Dreno sub-superficial c/tubo PEAD perfur.d=100mm, env. geotêxtil RT-07, preenc. c/ brita (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (Composição 02)	m	1.144,00	R\$ 10,36	R\$ 11.853,40
5.2.5	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 40424)	m	172,50	R\$ 216,34	R\$ 37.319,16
5.2.6	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40 m em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41174)	m	172,50	R\$ 25,76	R\$ 4.444,24
5.2.7	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas (nov/20 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21) (DER-ES-EDIFICAÇÕES - cód.: 41167)	und.	3,00	R\$ 3.350,38	R\$ 10.051,13
5.2.8	Geomembrana em (PEAD) de 1,00mm, fornecimento e aplicação. (mar/21 + reajuste DNIT DRENAGEM out/21)	m <sup>2</sup>	13.361,20	R\$ 32,93	R\$ 439.959,93
TOTAL DO ITEM 5.2					R\$ 3.327.091,62

## **ANEXO 2 – Composições**

COMPOSIÇÃO 01						data base: (março 2021)	
<b>ITEM: Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-&gt; 08cm, sobre colchão de pedrisco esp-&gt;05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, em vias urbanas</b>							
Mão de Obra	Código padrão	Eq. Salaria	Encargos(%)	Sal/Hora	Consumo	Custo Horário	
Encarregado de O.A.C.	DER 20060	2,24	157,27	30,46	0,1205	3,67	
Calceteiro de O.A.C	DER 20035	1,23	157,27	16,7	0,241	4,02	
Servente	DER 20002	1	157,27	13,61	0,482	6,56	
					total	14,26	
Materiais	Código padrão	Und.	Custo Unitário	Consumo	Custo Unitário		
BLOCO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADO - ESP= 08CM, RESISTÊNCIA 20 MPA	PMV 782.0009	m2	67,5	1	67,50		
PEDRISCO	DER 10126	m3	95,98	0,05	4,80		
				total	72,30		
Equipamentos	Código padrão	Und.	Custo Unitário	Consumo	Custo Unitário		
ROLO AP DE PNEUS AP-26 (8,9T) (MULLER)	DER 30032	H	81,87	0,241	19,73		
RESUMO							
DISCRIMINAÇÃO	TAXA(%)	VALORES					
Mão de Obra (A)	157,27	14,26					
Materiais (B)		72,30					
Equipamentos (C)		19,73					
Produção da Equipe (D)		1,00					
Custo Horário Total (A+ C)		33,99					
Custo Unitário da Execução [(A/D) + (C/D)] = E		33,99					
Custo Direto Total (B+E)		106,28					
Bonificação e Dispesas Indiretas (BDI)	23,32	24,79					
Custo Unitário Adotado		131,07					

COMPOSIÇÃO 02					data base: (março 2021)	
ITEM: Dreno sub-superficial c/tubo PEAD perfur.d=100mm, env. geotêxtil RT-07, preenc. c/ brita						
Mão de Obra	Código padrão	Eq. Salaria	Encargos(%)	Sal/Hora	Consumo	Custo Horário
Encarregado de O.A.C.	DER 20060	2,24	157,27	30,46	0,1	3,05
Pedreiro de O.A.C	DER 20109	1,23	157,27	16,7	0,3	5,01
Servente	DER 20002	1	157,27	13,61	0,3	4,08
					total	12,14
Materiais	Código padrão	Und.	Custo Unitário	Consumo	Custo Unitário	
Brita 1 (incl. 0% IUM) sem frete	DER 10114	m³	70,75	0,14	9,91	
Manta Geotêxtil não tecida RT- 07 (07 kN/m)	DER 10323	m2	2,84	1,5	4,26	
Tubo plástico, corrugado, perfurado de PEAD (polietileno de alta densidade), padrão NBR, diâmetro 100mm	DER 10258	m	6,49	1	6,49	
				total	20,66	
RESUMO						
DISCRIMINAÇÃO	TAXA(%)	VALORES				
Mão de Obra (A)	157,27	12,14				
Materiais (B)		20,66				
Equipamentos (C)		0,00				
Produção da Equipe (D)		1,00				
Custo Horário Total (A+ C)		12,14				
Custo Unitário da Execução [(A/D) + (C/D)] = E		12,14				
Custo Direto Total (B+E)		32,79				
Bonificação e Despesas Indiretas (BDI)	23,32	7,65				
Custo Unitário Adotado		40,44				

COMPOSIÇÃO 03					data base: (março 2021)	
ITEM: Geomembrana em (PEAD) de 1,00mm, fornecimento e aplicação						
Mão de Obra	Código padrão	Eq. Salaria	Encargos(%)	Sal/Hora	Consumo	Custo Horário
Pedreiro de O.A.C	DER 20109	1,23	157,27	16,7	0,001	0,02
Servente	DER 20002	1	157,27	13,61	0,06	0,82
					total	0,83
Materiais	Código padrão	Und.	Custo Unitário	Consumo	Custo Unitário	
Geomembrana em PEAD de 1,00 mm	PMV 72B.0016	m2	23,71	1	23,71	
				total	23,71	
RESUMO						
DISCRIMINAÇÃO	TAXA(%)	VALORES				
Mão de Obra (A)	157,27	0,83				
Materiais (B)		23,71				
Equipamentos (C)		0,00				
Produção da Equipe (D)		1,00				
Custo Horário Total (A+ C)		0,83				
E		0,83				
Custo Direto Total (B+E)		24,54				
Bonificação e Despesas Indiretas (BDI)	23,32	5,72				
Custo Unitário Adotado		30,27				