



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARINA ALMONDES TEIXEIRA

PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEIO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
PARA REUSO EM FINS NÃO POTÁVEIS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Cabo de Santo Agostinho - PE
2024

MARINA ALMONDES TEIXEIRA

PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEIO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
PARA REUSO EM FINS NÃO POTÁVEIS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Dr. Martônio José Marques Francelino

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

T266p Teixeira, Marina Almondes.
Pavimento permeável como meio de captação de águas pluviais para reuso em fins não potáveis em um condomínio residencial / Marina Almondes Teixeira. – Cabo de Santo Agostinho, 2024.
67 f.; il.

Orientador(a): Martônio José Marques Francelino.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho - UACSA, Bacharelado em Engenharia Civil, Cabo de Santo Agostinho, BR-PE, 2025.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Ciclo hidrológico. 2. Drenagem. 3. Impermeabilização. 4. Pavimentos de concreto 5. Superfície - Preparação. I. Francelino, Martônio José Marques, orient. II. Título

CDD 624

MARINA ALMONDES TEIXEIRA

**PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEIO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS PARA REUSO EM FINS NÃO POTÁVEIS EM UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Civil da
Unidade Acadêmica do Cabo de Santo
Agostinho da Universidade Federal
Rural de Pernambuco para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em: 26/09/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Martônio José Marques Francelino (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Laiana Ferreira Costa (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Maurício Pimenta Cavalcanti (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

“Agradeço e dedico este trabalho a Deus, que até aqui me sustentou, e aos meus pais, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado.”

AGRADECIMENTOS

O curso de Engenharia foi, sem dúvida, um dos maiores desafios que já enfrentei, e sei que não teria chegado aonde estou hoje sozinha.

Ao professor Dr. Martônio José Marques Francelino que me aceitou como orientanda e confiou em meu trabalho desde o início, pela orientação, incentivo e apoio, e por todos os ensinamentos repassados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Elias e Aldenir, meus exemplos, que através de muito trabalho, dedicação e amor, deram-me a oportunidade de chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Sabrina, Gustavo, Otávio e Augusto, que mesmo distante, nunca deixaram de me apoiar e incentivar.

Aos meus sobrinhos, Sávio, Samuel e Helena, que são minha fonte de alegria e a quem quero servir de exemplo.

Ao meu noivo, Caio, que segurou minha mão, me ajudou e incentivou nos momentos em que pensei não ser capaz, você foi essencial.

A todas as amigas que a UACSA me proporcionou, em especial a Beatriz, Jhonatas, Gabrielle, Yasmin, Aline e Breno, que estiveram comigo desde o início dessa jornada, tornando a distância da minha família menos dolorosa.

Às minhas amigas de Picos, em especial a Janielle, Maria, e Jacielly que mesmo com toda distância, sempre se fizeram presentes.

Aos meus vizinhos, Sr. Deda, Dona Rosângela, Dona Deda, Sr. Pedro e Dona Maria, que me acolheram como família durante todos esses anos.

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para que eu chegasse até aqui.

A todos vocês expresso o meu amor e gratidão.

RESUMO

Os principais problemas ambientais urbanos estão associados principalmente a poluição, ilhas de calor, inversão térmica, enchentes e deslizamentos de terra. A carência de água já é uma realidade em muitas regiões e um fator agravante desse problema está relacionado à distribuição populacional. Nesse contexto, outro fator agravante é a impermeabilização do solo decorrente da desordenada ocupação urbana, que provoca impactos no meio ambiente, muitos relacionados às modificações do ciclo hidrológico. Uma alternativa que tem se mostrado bastante interessante é a utilização dos pavimentos permeáveis, uma vez que é capaz de reduzir o volume e a velocidade dos escoamentos superficiais de águas pluviais, além de reabastecer o lençol freático. Nesse sistema construtivo, a água infiltra através das camadas do pavimento e depois é armazenada temporariamente e pode ser aproveitada para diversos fins, ou infiltrar no solo, ou ser escoada de forma controlada. Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo realizar um estudo preliminar da utilização de pavimento permeável de concreto, como método de captação de águas pluviais, para armazenamento e posterior uso em fins não potáveis dentro de um condomínio residencial fictício, localizado na cidade de Cabo de Santo Agostinho – PE. São abordados também, tópicos referentes a composição, classificação, vantagens e desvantagens, manutenção e análise de viabilidade dos pavimentos permeáveis. Os resultados encontrados a partir desse sistema de captação de água pluvial, visando o aproveitamento para fins não potáveis, resultou em uma captação mensal de 682,4 m³, com investimento em torno de R\$ 281.758,068 para sua implantação e *payback* de aproximadamente 13 meses. Por fim, espera-se que este trabalho contribua para futuros estudos que venham a ser desenvolvidos sobre o tema.

Palavras-chave: ciclo hidrológico; drenagem; impermeabilização do solo; pavimento intertravado permeável.

ABSTRACT

The main urban environmental problems are mainly associated with pollution, heat islands, thermal inversion, floods and landslides. Water shortages are already a reality in many regions and an aggravating factor of this problem is related to population distribution. In this context, another aggravating factor is the impermeability of the soil resulting from disorderly urban occupation, which causes impacts on the environment, many related to changes in the hydrological cycle. An alternative that has proven to be quite interesting is the use of permeable pavements, since they are capable of reducing the volume and speed of surface runoff of rainwater, in addition to replenishing the water table. In this construction system, water infiltrates through the pavement layers and is then temporarily stored and can be used for various purposes, or infiltrate the soil, or be drained in a controlled manner. Thus, the present study aimed to carry out a preliminary study of the use of permeable concrete pavement as a method of rainwater collection for storage and subsequent use for non-potable purposes within a fictitious residential condominium located in the city of Cabo de Santo Agostinho - PE. Topics related to composition, classification, advantages and disadvantages, maintenance and feasibility analysis of permeable pavements are also addressed. The results found from this rainwater collection system, aiming at using it for non-potable purposes, resulted in a monthly collection of 682.4 m³, with an investment of around R\$ 281,758.068 for its implementation and a payback of approximately 13 months. Finally, it is expected that this work will contribute to future studies that may be developed on the subject.

Keywords: hydrological cycle; drainage; soil waterproofing; permeable interlocking pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das tensões nos pavimentos	17
Figura 2 – Pátio de condomínio com pavimento intertravado permeável	19
Figura 3 - Seção tipo de um pavimento permeável com blocos de concreto intertravado	20
Figura 4 – Exemplo de sistema de pavimento permeável com infiltração total	22
Figura 5 – Exemplo de sistema de pavimento permeável com infiltração parcial	23
Figura 6 – Exemplo de sistema de pavimento permeável sem infiltração	23
Figura 7 – Classificação quanto ao revestimento e função	24
Figura 8 – Análise de viabilidade de implantação de pavimentação permeável	26
Figura 9 – Classificação do tipo de fonte de poluição do escoamento superficial	28
Figura 10 – Fluxograma	35
Figura 11 – Análise de viabilidade de implantação de pavimentação permeável no residencial	43
Figura 12 – Exemplo de sistema de pavimento permeável sem infiltração	44
Figura 13 – Classificação quanto ao revestimento e função	44
Figura 14 – Perfil final do pavimento	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificação para o material de base e/ou sub-base	30
Tabela 2 – Distribuição granulométrica recomendada para o material das camadas de base e/ou sub-base	30
Tabela 3 – Especificação para o material de assentamento.....	31
Tabela 4 – Distribuição granulométrica recomendada para o material da camada de assentamento.....	32
Tabela 5 – Especificação para o material de rejuntamento	32
Tabela 6 – Distribuição granulométrica recomendada para o material de rejuntamento	33
Tabela 7 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável	34
Tabela 8 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego	37
Tabela 9 - Espessura necessária de base puramente granular (HBG)	38
Tabela 10 – Tipo de infiltração do pavimento em função das características do local ..	39
Tabela 11 – Tempo de retorno em relação ao tipo de ocupação	40
Tabela 12 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego	45
Tabela 13 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável	46
Tabela 14 – Espessura necessária de base puramente granular (H _{BG}).....	47
Tabela 15 – Tempo de retorno em relação ao tipo de ocupação	48
Tabela 16 – Coeficientes das equações de chuvas intensas para os municípios da RMR	49
Tabela 17 – Intensidades máximas anuais (mm/h) das precipitações calculadas pelas equações de chuvas intensas elaboradas para os municípios da Região Metropolitana de Recife para os tempos de retorno de 2 e 5 anos.....	49
Tabela 18 – Característica dos materiais granulares	50
Tabela 19 – Histórico pluviométrico do Cabo de Santo Agostinho (mm)	54
Tabela 20 – Estrutura tarifária residencial (COMPESA)	55
Tabela 21 – Detalhamento da economia mensal	56
Tabela 22 – Composição do custo do pavimento convencional.....	57
Tabela 23 – Composição do custo do pavimento permeável	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo entre tipos de material para camada superficial	21
Quadro 2 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	PAVIMENTO CONVENCIONAL.....	17
2.2	PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	18
2.2.1	Conceito	18
2.2.2	Composição	19
2.2.3	Classificação	22
2.2.3.1	Quanto a infiltração	22
2.2.3.2	Quanto ao revestimento e função	23
2.2.4	Vantagens e desvantagens	24
2.3	ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	25
2.4	MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL	26
2.5	QUALIDADE DA ÁGUA.....	27
2.6	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL	29
2.6.1	Requisitos gerais de projetos	29
2.6.2	Requisitos da camada de base e/ou sub-base	30
2.6.3	Requisitos da camada de assentamento.....	31
2.6.4	Requisitos do material de rejuntamento	32
2.6.5	Requisitos da camada de revestimento.....	33
2.6.6	Dispositivos auxiliares	34
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	PROJETO BASE.....	35
3.1.1	Local de implantação	36
3.1.2	Planta do empreendimento	36
3.2	MÉTODOS	36
3.2.1	Dimensionamento mecânico	36
3.2.2	Dimensionamento hidráulico.....	39

3.2.3	Análise dos custos e payback	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	ANÁLISE DA VIABILIDADE	43
4.2	CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO	44
4.2.1	Quanto a infiltração	44
4.2.1	Quanto ao revestimento e função	44
4.3	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL	45
4.3.1	Dimensionamento mecânico	45
4.3.2	Dimensionamento hidráulico	48
4.4	COMPATIBILIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO MECÂNICO X DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	51
4.5	SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS	52
4.5.1	Reservatório principal de águas pluviais	53
4.6	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA CAPTADA PARA USO NÃO POTÁVEL	53
4.7	ANÁLISE DOS CUSTOS E PAYBACK	54
5	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60
	APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DO EMPREENDIMENTO	66
	APÊNDICE B - SISTEMA DE DRENAGEM DO EMPREENDIMENTO	67

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a sustentação da vida em nosso planeta, sendo fundamental para a existência de todos os seres vivos e indispensável para a formação da atmosfera, regulação do clima, desenvolvimento da vegetação, bem como para a cultura e a agricultura (Rezende, 2016).

O volume de água existente no planeta é estimado em 1,35 milhão de quilômetros cúbicos, correspondendo à cerca de dois terços da superfície terrestre (Ferreira, 2005). Contudo, 97,5% da água existente no mundo é salgada, não sendo adequada ao nosso consumo direto nem à irrigação de plantações, e, os outros 2,5% correspondem a água doce, onde a maior parte se encontra em regiões de difícil acesso (geleiras e aquíferos subterrâneos), restando apenas 1% de água doce disponível em locais facilmente acessíveis para o consumo humano, como rios, lagos e na atmosfera (ANA, 2024). No Brasil estão presentes pelo menos 8% da reserva mundial de água doce, sendo que 80% destes encontram-se na Região Amazônica (Klepa *et al.*, 2020).

De acordo com Ferreira (2005), a água é considerada um recurso renovável devido ao seu ciclo hidrológico, que se caracteriza pela troca contínua de água na hidrosfera, entre a atmosfera, a água do solo, águas superficiais, subterrâneas e das plantas (evaporação, condensação, precipitação, infiltração e transpiração), porém a sua disponibilidade não aumenta proporcionalmente ao seu consumo, fazendo com que ocorra um desequilíbrio entre oferta e demanda, o qual tende a crescer cada vez mais. O autor ainda ressalta que, devido ao seu uso desordenado, a água doce é atualmente considerada um recurso esgotável.

No Brasil, a carência de água é uma realidade em muitas regiões, especialmente no Nordeste e no Sudeste (Medrado; Silva; Souza, 2023). Um fator agravante desse problema está relacionado à distribuição populacional, uma vez que nos locais com maiores concentrações de água existe pouca densidade populacional, em contrapartida, locais que possuem uma grande população apresentam baixas concentrações de água. Esse ponto foi corroborado por Ghisi (2006), que destacou a diferença entre a região Norte, que abriga apenas 8% da população, mas possui um potencial hídrico de 69%, e a região Nordeste, que acomoda 28% da população, mas possui apenas 3% de água disponível.

As causas da falta de água são complexas e podem estar relacionadas com o crescimento populacional, com o desmatamento, alterações climáticas, defasagem de

abastecimento de lençóis freáticos e também com o aumento da demanda por água para abastecimento populacional e atividades econômicas. (Medrado; Silva; Souza, 2023).

A impermeabilização do solo decorrente da ocupação urbana provoca impactos no meio ambiente, principalmente relacionados às modificações do ciclo hidrológico, maiores responsáveis pelo agravamento dos problemas ligados às inundações (Ramos *et al.*, 1999).

A captação da água da chuva para fins não potáveis em residências é uma alternativa que vem crescendo com o passar dos anos, pois provoca pouco ou quase nenhum impacto ambiental se comparado com outras tecnologias (Ferreira, 2005). Segundo um estudo desenvolvido por Ghisi, Montibeller e Schmidt (2006), em 62 cidades de Santa Catarina, o potencial de economia de água tratada, obtido através da captação de água pluviais pode variar de 34% a 92%, com potencial médio de 69%.

A utilização de pavimento permeável como meio de captação de água pluvial tem se mostrado uma opção bastante eficiente, principalmente como alternativa para aumentar as áreas de infiltração, uma vez que é capaz de reduzir o volume e a velocidade dos escoamentos superficiais, além de reabastecer o lençol freático (UNHSC, 2014).

Existe uma grande variedade de artigos na literatura apresentando os benefícios do uso dos pavimentos permeáveis, assim como a qualidade da água infiltrada por este tipo de pavimento (Vaz; Ghisi; Thives, 2021; Selbig *et al.*, 2019; Pilon *et al.*, 2019).

Em um pavimento permeável, a água infiltra através das camadas e depois é armazenada temporariamente, podendo ser aproveitada, infiltrar no solo ou ser escoada de forma controlada (Ballard, 2015). Estudos indicam que a passagem da água pelo pavimento permeável pode reduzir a quantidade de poluentes contidos na água da chuva e do escoamento superficial (Hammes, 2017).

Portanto, diante deste cenário, este trabalho visa contribuir para o desenvolvimento do tema através da implantação do sistema de captação de águas pluviais por meio de pavimentos permeáveis de concreto num condomínio fictício, teoricamente localizado na cidade do Cabo de Santo Agostinho - PE, para posterior utilização em fins não potáveis, como lavagens de carros e rega de jardins.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escassez de água potável é uma realidade enfrentada por muitos países no século XXI, e, até 2030, a população global precisará de aproximadamente 40% a mais de água. Todavia, devido ao consumo exacerbado, a tendência é que a quantidade de água potável

diminua, tornando crucial a adoção de formas alternativas de captação e armazenamento, visando o uso racional desse recurso hídrico (Bianchet, 2015).

Nos últimos anos, a demanda por água tem aumentado significativamente, principalmente devido ao crescimento populacional acentuado e desordenado nos centros urbanos, aliado ao aumento do consumo per capita, tornando necessária a adoção de medidas para conservação da água, sendo uma dessas, a substituição das fontes, que consiste basicamente em utilizar novas fontes de recursos hídricos em substituição às existentes, como por exemplo, o reaproveitamento da água pluvial. (Lima *et al.*, 2011).

Os autores ainda salientam que dentre os diversos aspectos positivos no uso dos sistemas de aproveitamento de água pluvial, pode-se citar: preservação do meio ambiente, contribuindo para proteção dos recursos naturais; baixo impacto ambiental; água com qualidade aceitável para vários fins, com pouco ou nenhum tratamento; aumento da segurança hídrica para atender à demanda crescente e áreas com deficiências no abastecimento; redução dos investimentos na captação da água em mananciais cada vez mais distantes das concentrações urbanas; diminuição do uso de água tratada para fins secundários; redução dos custos energéticos de transporte e dos custos de tratamento; alívio no sistema de drenagem; redução da probabilidade de enchentes e erosão dos leitos dos rios; redução dos custos decorrentes de inundações e alagamentos; possibilidade de uso para recarga dos lençóis subterrâneos e manutenção dos níveis do lençol freático elevado.

O reaproveitamento de água já é uma realidade, especialmente das águas pluviais, comumente advindas das coberturas (Hammes, 2017). No entanto, existem outras técnicas de coleta dessa água, como é o caso dos pavimentos permeáveis, o qual possui diversas vantagens, tais como: possibilidade de reutilização da água captada, melhora das características da água, aumento da área de infiltração e conseqüentemente decréscimo no acontecimento e/ou amplitude de inundações. (Antunes; Ghisi; Souza, 2021).

É crucial ressaltar que a excessiva impermeabilização do solo é um dos fatores que contribuem para o desequilíbrio hidrológico, tornando fundamental a utilização de mecanismos que aumentem a taxa de infiltração da água no solo, como os pavimentos permeáveis, que se mostram uma solução viável para os problemas citados (Bianchet, 2015).

Por fim, a captação de águas pluviais por meio de pavimentos permeáveis representa uma alternativa viável para redução do consumo de água potável, aumento da área de infiltração e conseqüente redução de impactos no ciclo hidrológico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo preliminar da utilização de pavimento permeável de concreto, como método de captação de águas pluviais, para armazenamento e posterior uso em fins não potáveis dentro de um condomínio residencial.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar um projeto preliminar de um condomínio residencial fictício para implantação do pavimento permeável como sistema de captação de água da chuva;
- Determinar e dimensionar o pavimento permeável que será utilizado;
- Elaborar um esboço do projeto de drenagem, englobando a coleta, o armazenamento e a distribuição das águas pluviais;
- Avaliar a redução do consumo de água tratada através da implementação do sistema de captação de água da chuva no condomínio;
- Verificar o custo e tempo de retorno da implantação do sistema.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho em questão será dividido em 5 capítulos.

O primeiro capítulo refere-se a introdução, onde é apresentada a área de pesquisa, bem como uma noção geral sobre o tema, especificando características e pontos importantes para o desenvolvimento do trabalho. Ademais é apresentada a justificativa, bem como o objetivo geral e os objetivos específicos.

O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica, onde são apresentadas informações a respeito dos pavimentos de um modo geral e suas classificações, adentrando, em sequência, no tema principal do estudo, que são os pavimentos permeáveis, com a descrição de pontos relevantes sobre cada tipo. Ainda nesse capítulo é descrito o roteiro para o dimensionamento mecânico e hidráulico dos pavimentos permeáveis.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada, onde estão expostas as informações relacionadas ao residencial onde será implantado o pavimento, bem como os dados pertinentes para a utilização do sistema no local.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos no dimensionamento mecânico e hidráulico do pavimento permeável, detalhando as características obtidas (materiais utilizados e espessuras das camadas). Além disso, também é apresentado um esboço do sistema de drenagem e, por fim, uma análise da viabilidade econômica do sistema.

O quinto e último capítulo abrange as conclusões obtidas a partir da finalização do trabalho.

Por fim, estão apresentadas as referências utilizadas para o desenvolvimento do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTO CONVENCIONAL

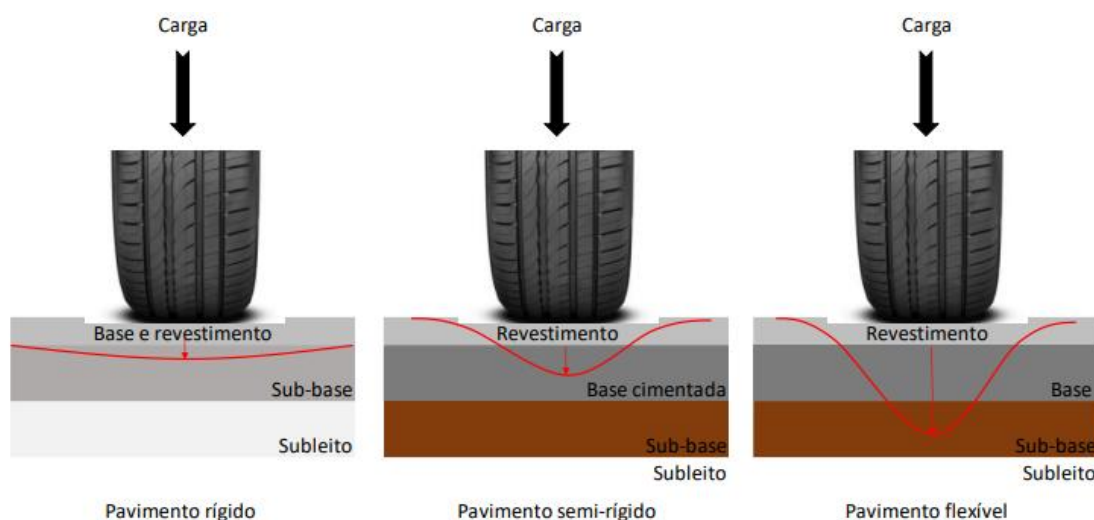
O pavimento é uma superestrutura composta por um sistema de camadas de espessuras específicas, dispostas sobre uma infraestrutura ou terreno de fundação, a qual denomina-se de subleito (DNIT, 2006).

Ainda de acordo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), os pavimentos podem ser classificados em três categorias:

- I. Flexível: pavimentos cujas camadas apresentam deformação elástica significativa sob carregamentos aplicados, distribuindo a carga de maneira equilibrada entre os níveis do pavimento. Exemplo típico: pavimento composto por uma base de brita graduada, macadame ou solo pedregoso, sobre a qual é aplicada uma camada de revestimento asfáltico;
- II. Semi-rígido: pavimento que se caracteriza por uma base cimentada com aglutinantes de propriedades cimentícias, como o solo-cimento (mistura devidamente compactada de solo, cimento e água), sobre a qual é aplicada uma camada asfáltica;
- III. Rígido: pavimento no qual o revestimento apresenta alta rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo praticamente todas as tensões decorrentes dos carregamentos aplicados. Exemplo típico: pavimento com revestimento de concreto de cimento Portland.

Na Figura 1 é possível observar a estrutura típica de cada tipo de pavimento, bem como a distribuição das cargas atuantes nas camadas que o compõe.

Figura 1 – Distribuição das tensões nos pavimentos



Fonte: Moura, 2024

Geralmente, os pavimentos são projetados para alcançar o máximo de impermeabilidade, visando uma maior proteção ao solo em relação a umidade, evitando que ocorra redução na resistência do solo pavimentado (Perrone; Souza, 2019).

2.2 PAVIMENTO PERMEÁVEL

2.2.1 Conceito

De acordo com os termos e definições regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 16.416:2015, as áreas permeáveis são superfícies que permitem a rápida percolação de água e contribuem para a diminuição do escoamento superficial (ABNT, 2015).

O pavimento permeável, por sua vez, é um sistema de infiltração projetado para redirecionar o escoamento superficial para um reservatório granular localizado sob a superfície do terreno (Scardua, 2021). Esses pavimentos podem funcionar tanto como filtros, permitindo a infiltração direta da água nos solos subjacentes através do material granular, quanto como bacias de retenção, capturando a água para direcioná-la a outro sistema de drenagem (Balbo, 2020).

De modo geral, os pavimentos permeáveis são uma categoria de pavimentos que, além de atenderem às demandas de esforços mecânicos, possuem uma estrutura projetada para permitir a percolação e infiltração de efluentes, devido aos vazios intercomunicáveis presentes em sua composição, proporcionando uma maior absorção de água nas áreas pavimentadas, sem comprometer a sua integridade estrutural (ABNT, 2015).

O perfil do pavimento permeável é projetado de modo a utilizar em sua composição materiais que permitam a passagem dos efluentes nas camadas de solo naturais, visando resgatar parte das condições iniciais do ciclo hidrológico, onde as águas pluviais, ao serem precipitadas, eram em grande parte infiltradas diretamente no solo enquanto escoavam sobre diversas superfícies (Scholz, 2007; Zhu *et al.*, 2019).

Os pavimentos podem ser utilizados em diversos locais, tais como pátios residenciais, comerciais e industriais, calçadas, estacionamentos e ruas de tráfego leve, colaborando assim com a redução das superfícies impermeabilizadas nas cidades (ABCP, 2021). Ainda de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), esses pavimentos podem ser utilizados para o atendimento das leis referentes as áreas infiltrantes nos empreendimentos, onde comumente são exigidos que 15% a 30% do terreno seja mantido sem impermeabilização, garantindo assim a área permeável e mantendo sua utilidade.

Figura 2 – Pátio de condomínio com pavimento intertravado permeável



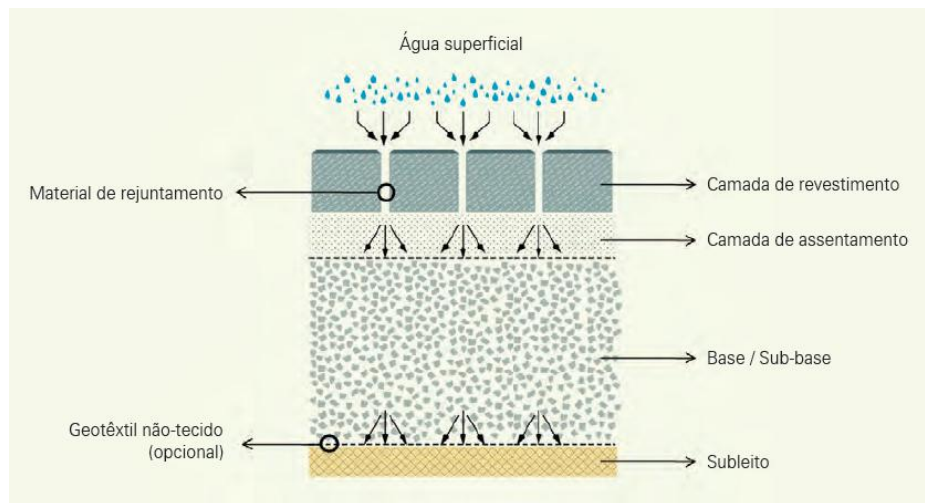
Fonte: ABCP, 2021

Desde que bem dimensionado e dependendo do grau de compactação do solo, os pavimentos permeáveis podem apresentar taxas de infiltração superiores a áreas com vegetação natural (Bianchet, 2015).

2.2.2 Composição

A Figura 3 demonstra uma seção típica de um pavimento permeável com blocos de concreto intertravado, modelo amplamente utilizado em estacionamentos, acessos residenciais, pavimentação de áreas litorâneas, parques, entre outros locais (Marchioni; Silva, 2016).

Figura 3 - Seção tipo de um pavimento permeável com blocos de concreto intertravado



Fonte: ABCP, 2021

Segundo (DNIT, 2006; Mendes; Amarante, 2021; ABNT, 2015; DNIT, 2006; DER, 2006), apresentam que a composição das camadas dos pavimentos permeáveis, assim como dos outros tipos de pavimentos, possui características específicas, no entanto, o perfil típico dos pavimentos drenantes pode ser constituído basicamente pelas seguintes camadas:

I. Revestimento permeável:

Camada superficial do pavimento, na qual são aplicados os esforços mecânicos, exposição às ações das intempéries e a variados tipos de solicitações, atendendo simultaneamente as características mecânicas e drenantes necessárias. Comumente apresentam coeficiente de permeabilidade maiores do que 10^{-3} m/s, sendo os tipos mais comuns:

- a. Pavimento de blocos de concreto intertravado rejuntado com materiais permeáveis;
- b. Concreto poroso;
- c. Asfalto poroso.

No quadro 1 é apresentado um comparativo entre os principais tipos de materiais utilizados nas camadas superficiais dos pavimentos permeáveis e o revestimento impermeável:

Quadro 1 - Comparativo entre tipos de material para camada superficial

Material Critérios	Blocos vazados	Asfalto poroso	Concreto poroso	Revestimento impermeável
Tipo de uso	Praças; Estacionamentos; Vias de pedestres; Calçadas	Todos os usos, desde que com estrutura reforçada	Todos os usos, desde que com estrutura reforçada	Todos os usos
Capacidade de absorção	Média	Boa	Boa	Nula
Aspecto visual	Bom, com possibilidade de variação de cores	Semelhante ao asfalto comum	Semelhante ao concreto comum	-
Periodicidade de manutenção	6 meses a 1 ano	Varia de acordo com a utilização – 6 meses a 2 anos	6 meses a 2 anos	Depende do local aplicado
Custo de implantação	Alto	Médio	Médio	Médio
Custo de manutenção	Alto	Médio a alto	Médio a alto	Baixo
Resistência/ Arrancamento	Boa	Média	Média a boa	Boa
Aderência	Média	Muito boa	Boa	Boa
Acústica	Média	Boa	Boa	Média
Retenção de partículas sólidas	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
Retenção de metais pesados dissolvidos	Muito boa	Baixa	Muito boa	Baixa

Fonte: adaptado de Oliveira, 2018

II. Camada de assentamento:

Camada utilizada especificamente para construção de Pavimento Permeável Intertravado com blocos de concreto, na qual se utiliza materiais permeáveis (agregados miúdos) para assentamento, nivelamento e execução das juntas espaçadas;

III. Base permeável:

Camada responsável por receber e distribuir os esforços, solicitações e carregamentos mecânicos ao solo natural. Possuem granulometria aberta (constância em seus diâmetros e pouca quantidade de finos) e atuam como o corpo receptor do efluente, assumindo características de um reservatório durante o processo de percolação e infiltração da água;

IV. Sub-base:

Camada complementar da base, a qual possui características semelhantes quanto a solicitações mecânicas e quesitos hidráulicos. Sua inclusão no perfil do pavimento pode ser opcional, dependendo da verificação e validação durante o dimensionamento estrutural do pavimento;

V. Membrana filtrante geotêxtil:

Mantas de poliéster não tecidas, geralmente classificadas como geossintéticos, capazes de filtrar e separar partículas e elementos sólidos, evitando a passagem entre as camadas do pavimento;

VI. Subleito:

Camada final dos serviços de movimentação de terra, sobre a qual serão aplicadas as camadas que formarão a estrutura e o perfil do pavimento permeável.

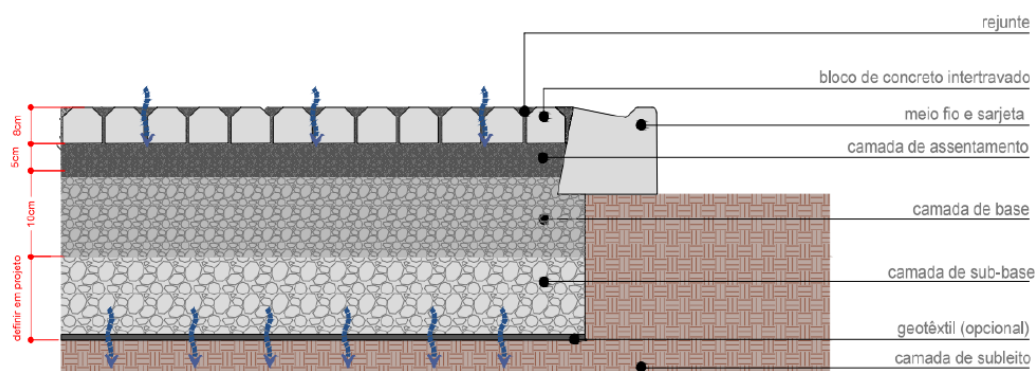
2.2.3 Classificação

2.2.3.1 Quanto a infiltração

De acordo com a NBR 16.146, o pavimento permeável pode ser classificado de três maneiras distintas quanto à infiltração das águas pluviais e a escolha do sistema de infiltração deve levar em consideração as características do solo e os condicionantes do projeto (ABNT, 2015):

- I. Pavimento com infiltração total (Figura 4): nesse sistema, toda a água precipitada é infiltrada no subleito. É indicado em situações que o solo do subleito apresenta alta permeabilidade e o nível do lençol freático for suficientemente baixo (Hammes, 2017);

Figura 4 – Exemplo de sistema de pavimento permeável com infiltração total

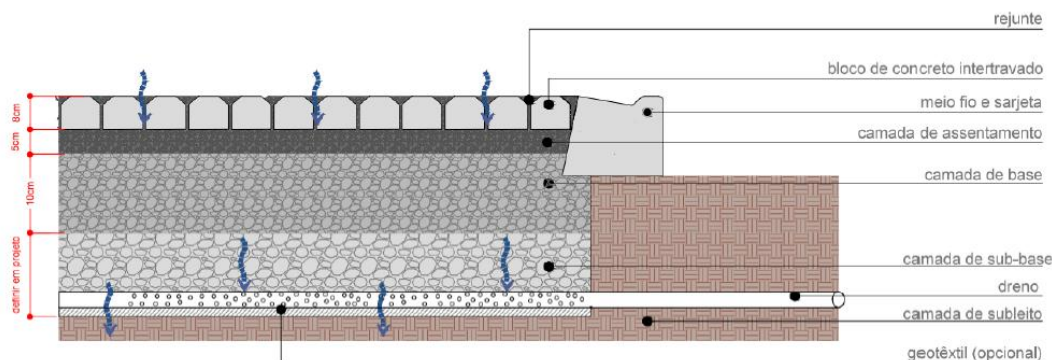


Fonte: ABCP, 2016

- II. Pavimento com infiltração parcial (Figura 5): nesse sistema uma parte da água precipitada é infiltrada no subleito e a outra parte é mantida temporariamente nas camadas de base e sub-base, sendo coletada por drenos e direcionada a rede de coleta.

Indicado para situações em que o subleito apresenta baixa permeabilidade (Hammes, 2017);

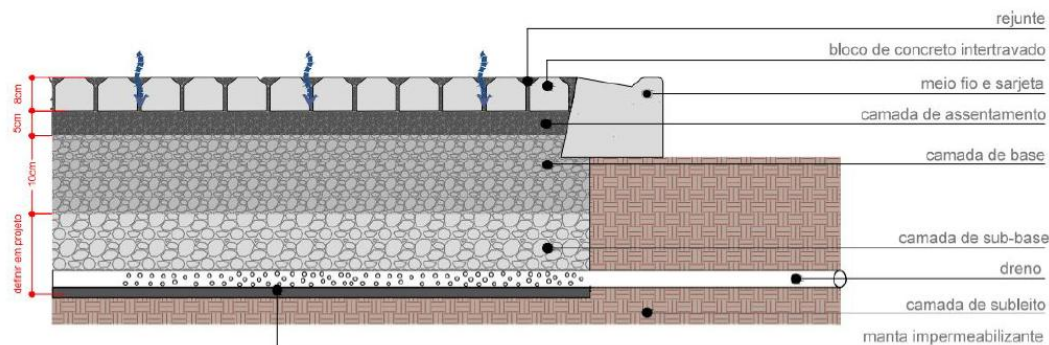
Figura 5 – Exemplo de sistema de pavimento permeável com infiltração parcial



Fonte: ABCP, 2016

III. Pavimento sem infiltração (Figura 6): nesse sistema toda a água precipitada não infiltra no subleito, sendo temporariamente mantida nas camadas de base e sub-base, sendo removida por drenos e direcionada a rede de coleta. Indicado para situações em que o subleito possa ser comprometido quando exposto a água, por apresentar baixa permeabilidade ou baixa resistência, ou quando o lençol freático está muito próximo da sub-base (menos que 0.6 m) (Hammes, 2017; ABCP, 2021);

Figura 6 – Exemplo de sistema de pavimento permeável sem infiltração



Fonte: ABCP, 2016

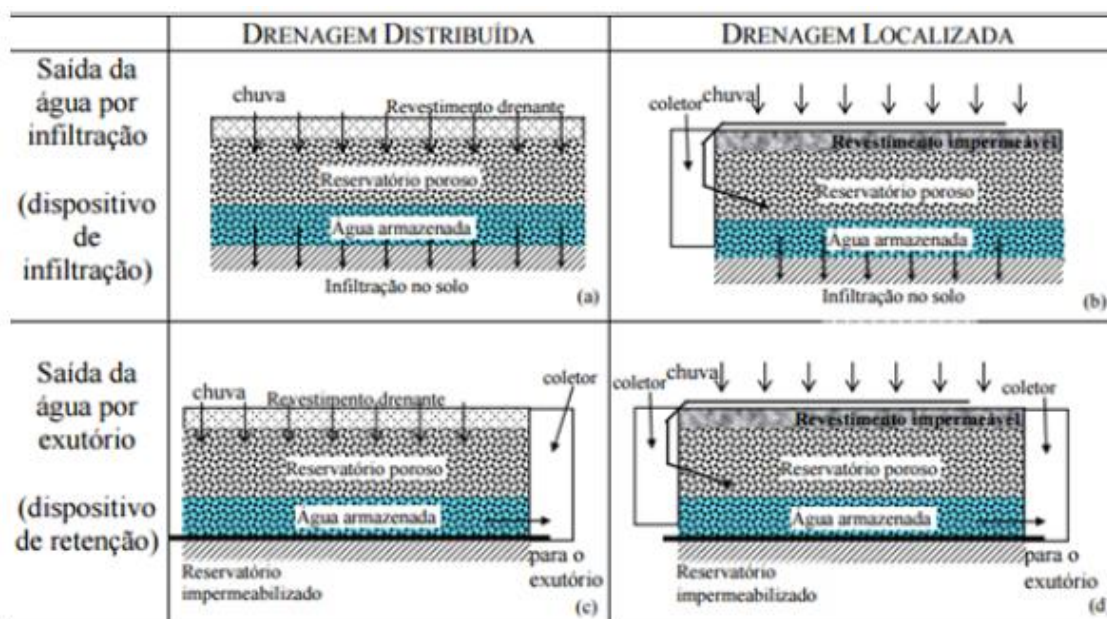
2.2.3.2 Quanto ao revestimento e função

Em seu estudo Azzout *et al.* (1994) classificou os pavimentos de quatro formas distintas (Figura 7), de acordo com seu revestimento e função, sendo estas:

- I. Revestimento permeável e função de infiltração;
- II. Revestimento impermeável e função de infiltração;

- III. Revestimento permeável e função de armazenamento, com o fundo do reservatório impermeabilizado e havendo posterior captação da água pluvial ou direcionamento para a rede de drenagem;
- IV. Revestimento impermeável e função de armazenamento, com o fundo do reservatório impermeabilizado e havendo posterior captação da água pluvial ou direcionamento para a rede de drenagem.

Figura 7 – Classificação quanto ao revestimento e função



Fonte: Azzout *et al.*, 1994

2.2.4 Vantagens e desvantagens

A seguir estão dispostas algumas vantagens e desvantagens da utilização dos pavimentos permeáveis (Perrone; Souza, 2019; Scardua, 2021; ABCP, 2016; ABCP, 2021):

I. Vantagens:

- Melhoria na segurança e conforto, pois há redução na formação de poças e escoamento superficial das águas pluviais;
- Recarga dos aquíferos;
- Retardo da chegada da água ao subleito, e como consequência redução da erosão do solo;
- Variedade dos locais de aplicação;
- Redução dos riscos de alagamentos e inundações;
- Alívio no sistema de drenagem;

- Redução dos custos com sistema de drenagem (manutenção e ampliação);
- Possibilidade de reaproveitamento da água captada;
- Melhoria na qualidade das águas decorrentes da filtração no corpo do pavimento;
- Redução de custos com o tratamento da água pluvial;
- Redução dos impactos no ciclo hidrológico decorrentes da urbanização;

IV. Desvantagens

- Alto custo de implantação;
- Alto custo de manutenção;
- Menor resistência, se comparado a um pavimento convencional;
- Necessidade de mão de obra especializada para construção e/ou manutenção;
- Susceptibilidade a colmatção;
- No caso dos pavimentos de infiltração, pode ocorrer a poluição do lençol freático se o pavimento permeável estiver localizado próximo a fontes de contaminação, como postos de combustíveis ou áreas de manuseio de líquidos perigosos.

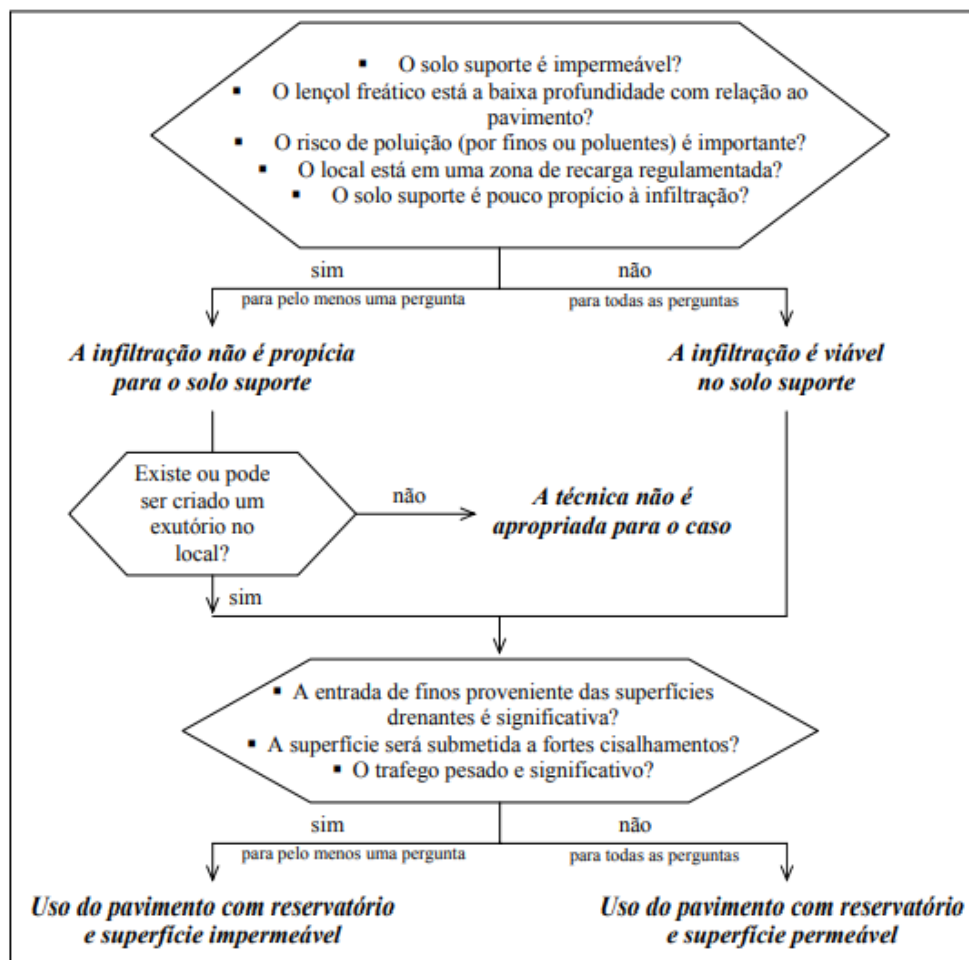
2.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

De acordo com Pires, Carrilho e Galvão (2019) antes da aplicação do pavimento permeável em determinada área, é necessário realizar a verificação de alguns aspectos que influenciam diretamente no sistema, os quais serão utilizados para avaliar se a adoção do sistema é viável, sendo estes:

- I. Características do local de implantação: áreas a serem drenadas, presença de vegetação, topografia, existência de redes de água e esgoto, intensidade do tráfego, risco de contaminação do aquífero, entre outros fatores.
- II. Características do solo subjacente: taxa de infiltração e capacidade/comportamento de carga;
- III. Estudos hidro geológicos: responsável por identificar as características do lençol freático, incluindo flutuações sazonais, cota do lençol, vulnerabilidade e propriedades qualitativas.;
- IV. Estudos hidrológicos: responsável por identificar a vazão máxima permitida, características pluviométricas, localização do exutório, possíveis áreas de armazenamento d'água e coeficiente de escoamento.

Azzout et. al. (1994) desenvolveram uma metodologia para analisar a viabilidade da utilização da pavimentação permeável, se haverá infiltração no solo de suporte e se a camada superficial será permeável, que consiste em uma sequência de perguntas relacionadas as características da área de implantação, resultando em duas situações possíveis, sendo o “uso de pavimento com reservatório e superfície impermeável” ou “uso pavimento com reservatório e superfície permeável”, conforme Figura 8.

Figura 8 – Análise de viabilidade de implantação de pavimentação permeável



Fonte: Azzout et.al., 1994

2.4 MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Com o decorrer do tempo, fatores como poluição, crescimento de vegetação e acúmulo de sujeira podem ocasionar colmatação e reduzir a capacidade de infiltração de água do pavimento permeável (ABCP, 2016)

Ao longo de 10 anos, o pavimento permeável pode sofrer uma redução de até 90% em sua capacidade de infiltração, contudo, essa diminuição depende da velocidade com que os sedimentos se acumulam, a qual varia de acordo com o volume de tráfego e a existência

de fontes de sedimentos próximos ao pavimento, como jardins e áreas sujeitas ao deslocamento de sólidos (ABCP, 2021).

De acordo com a NBR 16.416, caso o pavimento apresente um coeficiente de permeabilidade abaixo de 10^{-5} m/s, aferido conforme método proposto em norma, será necessário realizar uma manutenção para recuperar a capacidade de infiltração do pavimento, sendo vetada a utilização de revestimentos impermeáveis ou qualquer outro que difira do pavimento já existente (ABNT, 2015).

A mesma NBR 16.416 ainda estabelece as etapas para manutenção do pavimento, quando necessário, de modo que garanta a eficiência dos pavimentos permeáveis a longo prazo, sendo essas:

- I. Retirada dos sólidos e detritos em geral por meio de varrição (mecânica ou manual);
- II. Aplicação de jatos de água pressurizada não deve-se utilizar produtos químicos ou água contaminada na limpeza);
- III. Utilização de equipamentos de aspiração, visando a retirada dos finos;
- IV. Recomposição/substituição do material de rejuntamento (quando necessário).

Quanto à frequência das manutenções, os prazos variam de acordo com as circunstâncias e, portanto, é fundamental o monitoramento das taxas de infiltração do pavimento (Hammes, 2017).

O estudo das patologias e das técnicas de reparo é crucial para a vida útil do pavimento e, conseqüentemente, para a manutenção de seu nível de qualidade (Perrone; Souza, 2019).

2.5 QUALIDADE DA ÁGUA

A poluição da água durante o escoamento superficial ocorre de maneira difusa e sua concentração pode estar relacionada com diversos fatores, como o tipo de área onde o pavimento está localizado (residencial, comercial, industrial), as condições climáticas (temperatura, umidade, precipitação) e as características do tráfego (volume e tipo de veículos), além disso, essas contaminações podem ser classificadas em quatro categorias, sendo elas: temporária; sazonal; acidental; e crônica, conforme demonstrado na Figura 9 (Becker; Pinheiro, 2019).

Figura 9 – Classificação do tipo de fonte de poluição do escoamento superficial



Fonte: Becker; Pinheiro, 2019 (Adaptado de Legret & Pagotto, 1999)

O pavimento permeável não só reduz o volume do escoamento superficial, mas também tem a capacidade de filtrar a água que passa por ele, melhorando sua qualidade, evitando que ela seja contaminada por metais pesados, óleos, resíduos de animais, poeira e outras substâncias durante o escoamento, que são importantes fontes de poluição para rios e lagos (Ramos *et al.*, 1999). Esse sistema atua como um filtro, semelhante ao papel da terra no processo natural, retendo na superfície impurezas e substâncias tóxicas que possam estar presentes na água (Perrone; Souza, 2019).

De acordo com Acioli (2005), os mecanismos mais eficientes na retenção dos poluentes na estrutura são a sedimentação, a filtração e a adsorção química dos materiais (depende do material usado na sub-base).

Em seu estudo, Becker e Pinheiro (2019) concluíram que a eficiência dos pavimentos permeáveis na remoção de poluentes foi superior a 90% para metais pesados e acima de 85% para sólidos suspensos totais, além de demonstrar alta eficácia na remoção de fósforo total, mas que esses resultados tendem a variar de acordo com as características de cada pavimento.

De modo geral, os pavimentos permeáveis podem oferecer benefícios significativos aos ambientes urbanos, reduzindo a quantidade de escoamento de águas pluviais, melhorando a qualidade da água em relação aos poluentes e ajudando a mitigar o problema do ruído do tráfego e o efeito da ilha de calor (Xie *et al.*, 2019).

A NBR 15.527 especifica os parâmetros de qualidade da água para usos não potáveis, conforme apresentado no Quadro 2 (ABNT, 2007).

Quadro 2 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
^b uT é a unidade de turbidez.		
^c uH é a unidade Hazen.		

Fonte: NBR 15.527:2007

2.6 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Qualquer tipo de pavimento, seja permeável ou não, deve ser capaz de suportar as cargas a que é submetido e transmiti-las ao solo de maneira que este possa suportá-las, contudo, no caso dos pavimentos permeáveis, além de atender aos requisitos mecânicos, a estrutura deve permitir o escoamento da água infiltrada para o solo ou para um sistema de drenagem (ABCP, 2021).

Neste tópico será detalhada a metodologia para o dimensionamento do pavimento intertravado permeável, que foi o tipo de sistema escolhido para aplicação no empreendimento.

O Pavimento intertravado permeável é composto por concretos tradicionais que seguem as normas da NBR 9781 (ABNT, 2013). Nesse sistema, a infiltração da água ocorre através das juntas e dos espaços vazios entre as peças de concreto e a velocidade com que a água se infiltra depende da área total das juntas e do coeficiente de permeabilidade dos agregados usados para preenchê-las, bem como da camada de assentamento, da sub-base, da base e do subleito (Silva; Siqueira, 2019).

A NBR 16.416 dispõe sobre os requisitos mínimos para o projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto, os quais serão destacados nos tópicos a seguir (ABNT, 2015).

2.6.1 Requisitos gerais de projetos

- O projeto deve considerar o tipo de uso e local de implantação;

- Os materiais e espessuras das camadas do pavimento devem atender simultaneamente os critérios mecânicos e hidráulicos;
- Para a escolha do tipo de infiltração, deve-se considerar as condições de saturação do solo e nível do lençol freático (a distância entre a base inferior do pavimento e o nível máximo do lençol freático deve ser $\geq 0,6$ m);
- Não se deve utilizar sistemas com infiltração quando houver risco de contaminação do lençol freático;
- As áreas de contribuição não devem exceder a 5 vezes a área de pavimento permeável.

2.6.2 Requisitos da camada de base e/ou sub-base

Nas camadas de base e/ou sub-base, o material utilizado deve possuir granulometria aberta e atender aos requisitos dispostos na Tabela 2.

Tabela 1 – Especificação para o material de base e/ou sub-base

Propriedades	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	$\geq 32\%$
Índice de Suporte Califórnia (CBR)	ABNT NBR 9895	$\geq 80\%$
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075mm	ABNT NBR NM 46	$\leq 2\%$

Fonte: ABNT, 2015

A norma ainda dispõe de uma distribuição granulométrica recomendada para o material dessas camadas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica recomendada para o material das camadas de base e/ou sub-base

(continua)

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa (%)	
	Sub-base	Base
75 mm	0	-
63 mm	0 a 10	-

Tabela 2 – Distribuição granulométrica recomendada para o material das camadas de base e/ou sub-base

(conclusão)

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa (%)	
	Sub-base	Base
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, 2015

2.6.3 Requisitos da camada de assentamento

A camada de assentamento deve possuir uma espessura entre 20 mm e 60 mm (não compactada), com uma variação máxima de ± 5 mm em relação a dimensão definida em projeto.

Nas camadas de assentamento, o material utilizado deve possuir granulometria aberta e atender aos requisitos dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificação para o material de assentamento

Propriedades	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	$\geq 32\%$
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075mm	ABNT NBR NM 46	$\leq 2\%$
Dimensão máxima característica (D _{máx})	ABNT NBR 7212	9,5 mm

Fonte: ABNT, 2015

A norma também dispõe de uma distribuição granulométrica recomendada para o material dessa camada, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Distribuição granulométrica recomendada para o material da camada de assentamento

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, 2015

De acordo com a ABCP (2021), é crucial que o agregado da camada de assentamento tenha uma dimensão adequada para proporcionar uma superfície uniforme para o assentamento das peças de concreto, ao mesmo tempo em que deve garantir um travamento eficaz com a camada de base, e para isso, é necessário que os agregados da camada de base e da camada de assentamento atendam ao seguinte critério:

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

Sendo: d_x = dimensão onde x% dos agregados é mais fino.

2.6.4 Requisitos do material de rejuntamento

O material utilizado nas juntas deve possuir granulometria aberta e atender aos requisitos dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificação para o material de rejuntamento

Propriedades	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32%
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2%
Dimensão máxima característica (Dmáx)	ABNT NBR 7212	≤ 1/3 da menor largura da junta ou da área vazada

Fonte: ABNT, 2015

A norma também dispõe de uma distribuição granulométrica recomendada para o material dessa camada, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Distribuição granulométrica recomendada para o material de rejuntamento

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, 2015

No caso de pavimentos com juntas alargadas, a área de percolação entre as peças deve variar de 5% a 15% em relação a área total, considerando também a área referente a $\frac{1}{2}$ da espessura dos espaçadores de cada peça, onde as espessuras variam entre 6 mm e 10 mm. A área de percolação pode ser definida pela Equação (1):

$$A_{perc} = \frac{A_{ext} - (A_{int} + A_{esp})}{A_{ext}} \quad (1)$$

Sendo:

A_{perc} (área de percolação, em mm);

A_{ext} (área externa, em mm);

A_{int} (área interna, em mm);

A_{esp} (área do espaçador, em mm).

A capacidade de infiltração do pavimento é influenciada pela capacidade de infiltração do agregado utilizado no rejunte, levando em consideração a porcentagem de juntas do pavimento e o coeficiente de permeabilidade do agregado, dito isso, recomenda-se adotar um coeficiente de segurança de 80% devido à colmatação do rejuntamento ao longo do tempo (ABCP, 2021).

2.6.5 Requisitos da camada de revestimento

a. Coeficiente de permeabilidade

Independentemente do tipo de revestimento utilizado, o pavimento permeável finalizado deve apresentar um coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s, seguindo os parâmetros de avaliação descritos na norma.

b. Resistência mecânica e espessura mínima

No dimensionamento mecânico, a camada de revestimento deve atender no mínimo os valores estabelecidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781

^b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805

^c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142

Fonte: ABNT, 2015

2.6.6 Dispositivos auxiliares

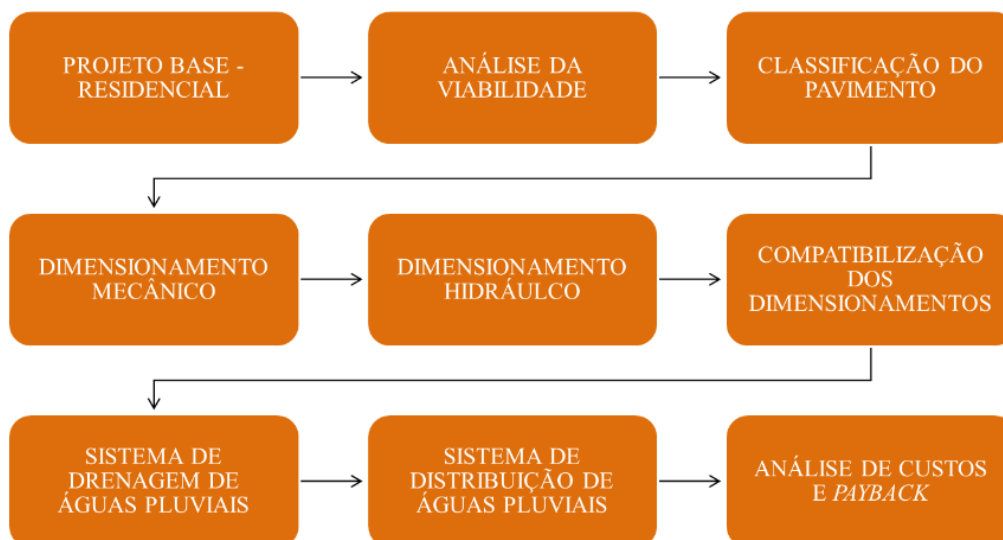
- I. Camada geotêxtil: responsável por impedir a passagem do material do pavimento de uma camada para outra (Scardua, 2021).
- II. Tubos de drenagem: atuam como conexão entre o pavimento permeável e o reservatório de águas pluviais e/ou sistema de drenagem urbana (Oliveira, 2018).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão detalhados os métodos utilizados no presente trabalho, a fim de alcançar os objetivos previamente estabelecidos.

A Figura 10 representa o fluxograma das etapas de desenvolvimento do presente trabalho.

Figura 10 – Fluxograma



Fonte: elaborado pela própria autora, 2024

É importante destacar que, por se tratar de um empreendimento fictício, não se conhece as características específicas do local de implantação em questão, dito isso, recomenda-se na prática, realizar ensaios de caracterização do solo..

3.1 PROJETO BASE

Para o desenvolvimento deste trabalho foi elaborado um projeto de um condomínio residencial fictício desenvolvido pelo autor. O habitacional é composto por 06 blocos, de 06 pavimentos, com 04 unidades habitacionais por andar, totalizando 144 apartamentos, estacionamento com 162 vagas (sendo 12 exclusivas para PCD), 03 bicicletários, minicampo, parque infantil, praça, pet place, guarita, lixeiras, áreas de circulação de veículos, área de circulação de pedestres e áreas verdes.

O residencial foi dimensionado de acordo com a Lei Municipal N° 3109, de Dezembro de 2015, que dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo urbano no âmbito do município do Cabo de Santo Agostinho.

O empreendimento possui uma área total de 10.753 m², com a seguinte distribuição:

- Minicampo: 190,8 m²;
- Parque infantil: 119,4 m²;
- Praça: 117,6 m²;
- Guarita: 39,7 m²;

- Eclusa: 18,9 m²;
- Pet place: 190,8 m²;
- Lixeiras: 43,1 m²;
- Blocos dos apartamentos: 240,6 m²;
- Calçadas/Passeios: 475,5 m²;
- Estacionamento/ Bicletário//Circulação de veículos: 3.763,8 m²;
 - Estacionamento/ Bicletário 1: 730,08 m²;
 - Estacionamento/ Bicletário 2: 730,08 m²;
 - Estacionamento/ Bicletário 3: 730,08 m²;
 - Circulação de veículos: 1573,56 m²;
- Áreas verdes: 5.552,8 m².

O estudo visa a aplicação do pavimento permeável nas áreas dos estacionamentos, bicicletários e circulação de veículos.

3.1.1 Local de implantação

O trabalho foi desenvolvido para o estudo da aplicação do pavimento permeável como método de captação de água pluvial em um residencial, localizado no Cabo de Santo Agostinho – PE

3.1.2 Planta do empreendimento

A planta baixa do empreendimento em questão está apresentada no Apêndice A.

3.2 MÉTODOS

Para determinar os métodos a serem utilizados, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre temas como "Pavimento permeável", "Reuso de águas pluviais" e "Sistemas de drenagem". A pesquisa abrangeu os idiomas português e inglês, utilizando como fontes o Google Acadêmico e o Capes Periódicos. Foram considerados documentos como artigos, monografias, teses, dissertações, manuais, normas e livros, cobrindo o período de 1994 a 2024.

3.2.1 Dimensionamento mecânico

I. Tráfego e Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Segundo a Prefeitura Municipal de São Paulo, por meio da Instrução de Projeto 02 (IP-02), as vias podem ser classificadas da seguinte forma:

- Tráfego leve: ruas residenciais onde não é necessário o tráfego regular de ônibus, embora possa ocorrer a passagem eventual de ônibus ou caminhões, desde que não exceda o máximo de 20 veículos por dia;
- Tráfego médio: ruas e avenidas onde se espera um máximo de 100 caminhões ou ônibus por dia;
- Tráfego meio pesado: ruas e avenidas onde se espera de 100 a 300 caminhões ou ônibus por dia;
- Tráfego pesado: ruas e avenidas onde se espera de 300 a 1.000 caminhões ou ônibus por dia.;
- Tráfego muito pesado: ruas e avenidas onde se espera de 1000 a 2000 caminhões ou ônibus por dia;
- Faixa exclusiva de ônibus: são faixas de uso exclusivo para ônibus, podendo ser de volume médio ou elevado.

A previsão do valor final de “N” poderá ser definido pelos tipos de tráfego que caracterizam a via: tráfego muito leve, tráfego leve, tráfego médio e tráfego pesado (Tabela 8).

Tabela 8 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego

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	2,70 x 10 ⁴ a 1,40 x 10 ⁵	10 ⁵
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40x 10 ⁵ a 6,80x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 ⁶ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 ⁷ a 3,3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 ⁷ a 6,7 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 ⁸ (1)	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷

Fonte: PMPS, 2004

A capacidade de suporte do solo deve ser determinada por meio do índice de suporte califórnia (CBR), de acordo com as premissas da ABNT NBR 9895 (ABNT, 2015).

II. Espessura mínima do revestimento (R)

A espessura mínima da camada de revestimento é definida na Tabela 7 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável, apresentada anteriormente (ABNT, 2015).

O revestimento deve possibilitar a rápida passagem da água, que será armazenada nas camadas de base e sub-base por um certo período, as quais atuaram como um reservatório e filtro (ABCP, 2021).

III. Espessura mínima das camadas granulares

A espessura da camada granular será definida de acordo com o método PCA (Portland Cement Association), em função do CBR do subleito e do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão “N” (Tabela 9).

Tabela 9 - Espessura necessária de base puramente granular (HBG)

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

Fonte: PMPS, 2004

A camada de base tem dimensão fixa de 10 cm, a camada de sub-base terá como dimensão a diferença para atingir o valor total dimensionado e a camada de assentamento deve apresentar uma espessura final de 5 cm (ABCP, 2021).

IV. Espessura total do pavimento (Hm)

A espessura total do pavimento se dará a partir do somatório das demais camadas (sub-base, base, camada de assentamento e camada de revestimento).

3.2.2 Dimensionamento hidráulico

De acordo com Virgiliis (2009), o dimensionamento hidráulico tem como objetivo determinar a altura do reservatório necessário para receber e armazenar o volume de água escoado pela superfície do pavimento permeável.

O tipo de infiltração do pavimento deve ser determinado de acordo com as características do local de implantação, seguindo as premissas da Tabela 10.

Tabela 10 – Tipo de infiltração do pavimento em função das características do local

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}	✗	✓	✓
	10^{-5} a 10^{-7}	✗	✗	✓
Máximo registro do lençol freático a pelo menos 1,0m da camada inferior da base		✗	✗	✓
Presença de contaminantes no subleito		✗	✗	✓

Fonte: ABNT, 2015

O coeficiente de permeabilidade varia de acordo com o tipo de solo e é determinado de acordo com a ABNT NBR 13292 ou ABNT NBR 14545.

I. Período de Retorno (T_r) e tempo de concentração (t)

Para definir a intensidade da chuva de projeto, é necessário determinar o tempo de retorno (T_r), estimativa do tempo média no qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada, o qual é utilizado para avaliar eventos extremos de precipitação (Scardua, 2021; Silva, 2018).

A escolha do período de retorno deve levar em consideração o tipo de ocupação e sua influência sobre o escoamento e a capacidade de drenagem, dito isso, a Tabela 11

apresenta relações entre os períodos de retorno e os diferentes tipos de ocupação (Bianchet, 2015).

Tabela 11 – Tempo de retorno em relação ao tipo de ocupação

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
Microdrenagem	Aeroportos	2 – 5
Microdrenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
Macro-drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: Bianchet, 2015 (*apud* Pinto, 2011)

De acordo com a NBR 16.416 o período de tempo de retorno da chuva de projeto para pavimentos permeáveis com infiltração deve ser no mínimo de 10 anos, considerando o tempo de concentração (t) de 1 hora (ABNT, 2015).

II. Intensidade máxima de chuva de projeto

Silva (2018) apresenta em seu estudo a Equação (2), que determina a intensidade máxima de uma chuva de projeto (em mm/h) ao relacionar a intensidade, duração e frequência (IDF) da precipitação pluvial da área de interesse.

$$i_m = \frac{a * Tr^b}{(t + c)^d} \quad (2)$$

Sendo:

I_m (intensidade máxima média da chuva em mm/h);

Tr (período de retorno em anos);

t (duração da chuva em min);

a , b , c e d são parâmetros característicos da IDF de cada local.

III. Porosidade (n)

Quanto maior a porosidade de um material, maior será a capacidade de infiltração do solo (Cooper, 2013). A porosidade (n) do material é calculada pela Equação (3) (Bianchet, 2015):

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s * \gamma_w} \quad (3)$$

Sendo:

γ_d (densidade seca do material);

G_s (densidade real dos grãos);

γ_w (densidade da água).

IV. Profundidade do reservatório

Scardua (2021 *apud* Araújo; Tucci; Goldenfum, 2000) apresenta em seu trabalho as equações (4), (5) e (6), utilizadas para o dimensionamento reservatório granular do pavimento permeável.

- Profundidade do reservatório granular

$$H = \frac{V_r}{n} \quad (4)$$

Sendo:

H (profundidade do reservatório granular em mm);

V_r (volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm);

f (porosidade do material).

- Volume de chuva a ser retido pelo reservatório

$$V_r = (im + c - ie) * td \quad (5)$$

Sendo:

V_r (volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm);

im (intensidade máxima da chuva de projeto em mm/h);

c (fator de contribuição de áreas externas);

ie (taxa de infiltração no solo (mm/h);

td (tempo de duração da chuva em horas).

- Fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável

$$c = \frac{im * A_c}{A_p} \quad (6)$$

Sendo:

c (fator de contribuição de áreas externas);

A_c (área de contribuição em m²);

A_p (área de pavimento permeável em m²).

3.2.3 Análise dos custos e payback

A análise dos custos será realizada com base no método apresentado por Bianchet (2015), o qual é composto pelas etapas a seguir.

I. Volume mensal de água captada

O volume mensal de água pluvial armazenada é definido a partir do índice pluviométrico médio do local de implantação e da área de captação, conforme Equação 7:

$$Q = Pl * A \quad (7)$$

Sendo:

Q (volume mensal de água captada em m³);

Pl (índice pluviométrico médio mensal em m);

A (área de captação m²).

II. Economia mensal de água potável

A economia de água potável é definida a partir do custo para o fornecimento pela concessionária do local de implantação e do volume de água pluvial armazenada, conforme Equação 8:

$$E = Q * P \quad (8)$$

Sendo:

E (economia mensal em R\$);

Q (volume mensal de água captada em m³);

P (custo do m³ para o fornecimento pela concessionária em R\$).

III. Investimento para implantação do sistema

O investimento que será necessário para a implantação do sistema é determinado a partir da diferença dos custos de implantação do pavimento permeável e do pavimento convencional, conforme Equação 9:

$$Dc = Cpp - Cpc \quad (9)$$

Sendo:

Dc (diferença entre os custos em R\$);

Cpp (custo de implantação do pavimento permeável em R\$);

Cpc (custo de implantação do pavimento convencional em R\$).

IV. *Payback*

O *payback* (tempo de retorno) é determinado com base na diferença dos custos de implantação e na economia mensal gerada pela utilização de água pluvial, conforme Equação 10:

$$Tr = \frac{Dc}{E} \quad (10)$$

Sendo:

Tr (tempo de retorno em meses);

Dc (diferença entre os custos de implantação do pavimento permeável e convencional em R\$);

E (economia mensal em R\$).

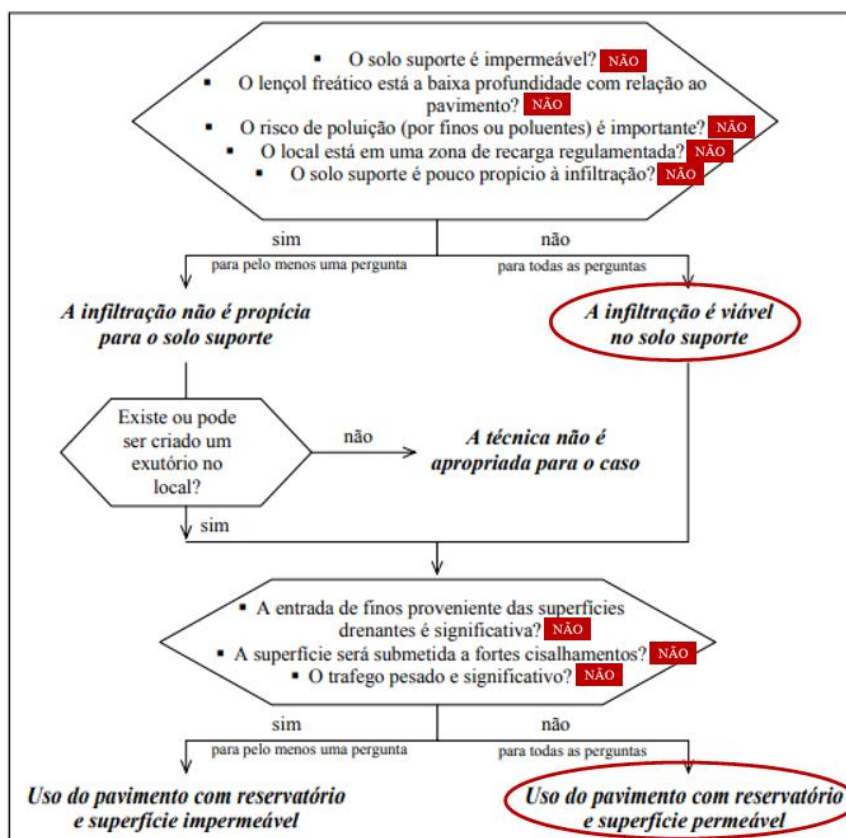
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE

Ao elaborar um projeto de engenharia, é essencial avaliar a viabilidade da sua execução e determinar se a solução escolhida é a mais adequada para a situação. No trabalho em questão, é importante verificar se o local destinado à construção do pavimento possui as características necessárias para suportá-lo.

Para realizar a análise da viabilidade, utilizou-se o fluxograma da Figura 8 adaptado, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 11 – Análise de viabilidade de implantação de pavimentação permeável no residencial



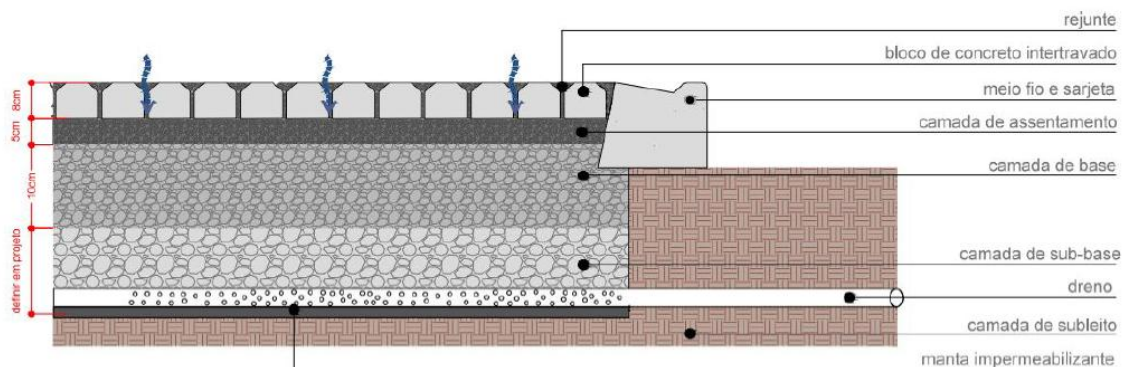
Fonte: adaptado de Azzout et.al., 1994

4.2 CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO

4.2.1 Quanto a infiltração

Para o desenvolvimento do pavimento foi utilizado o sistema “sem infiltração” (Figura 13), que não interfere diretamente nas características do solo aplicado.

Figura 12 – Exemplo de sistema de pavimento permeável sem infiltração

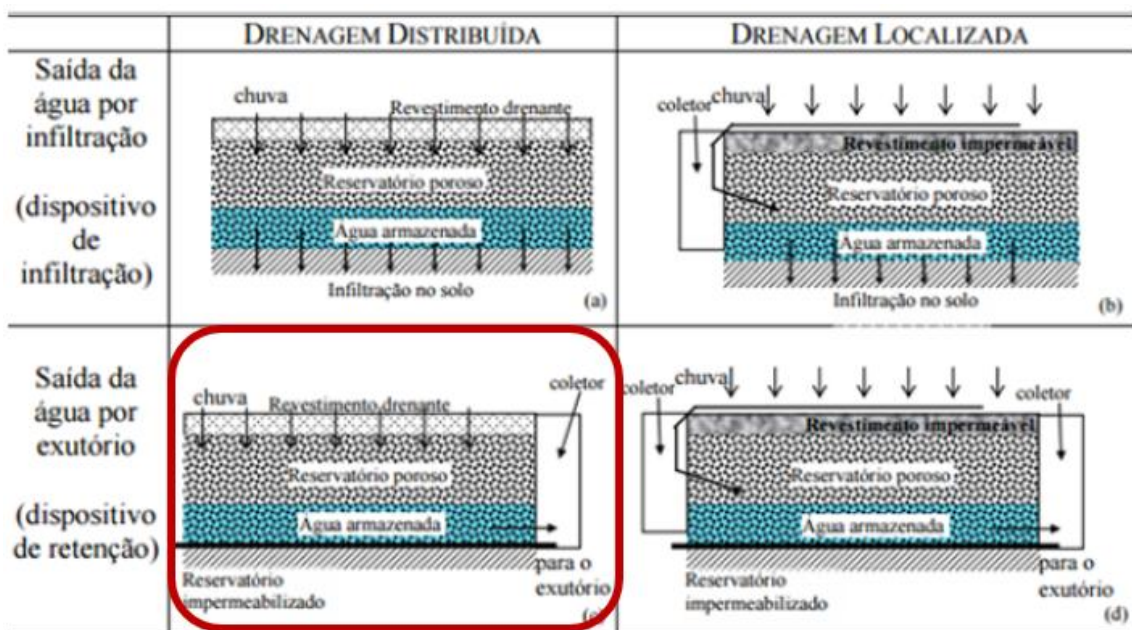


Fonte: ABCP, 2016

4.2.1 Quanto ao revestimento e função

Em concordância com a análise de viabilidade apresentada na Figura 12, o pavimento possui revestimento permeável e função de armazenamento, conforme Figura 14. O fundo da camada reservatório foi impermeabilizado e a água pluvial direcionada para um reservatório (ou para a rede de drenagem quando o volume de água excede a capacidade do reservatório).

Figura 13 – Classificação quanto ao revestimento e função



Fonte: adaptado de Azzout *et al.* (1994)

4.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Neste tópico será detalhado o dimensionamento do pavimento intertravado permeável, que foi o tipo de sistema escolhido para aplicação no empreendimento.

4.3.1 Dimensionamento mecânico

O dimensionamento mecânico seguirá a metodologia apresentada no item 3.2.2 deste trabalho.

I. Tráfego e Índice de Suporte Califórnia (CBR)

O pavimento é dimensionado com base no número equivalente (N) de passagens de um eixo padrão, ao longo do período de projeto determinado (DNIT, 2006).

O tipo de tráfego foi determinado com base na Instrução de Projeto 02 (IP-02), que classifica como vias locais de tráfego leve as ruas residenciais onde não é necessário o tráfego regular de ônibus ou caminhão, sendo permitido apenas o tráfego esporádico desses veículos, desde que não exceda o máximo de 20 veículos por dia.

A partir do tipo de via e tráfego, foi definido o número $N = 10^5$ de acordo com a Tabela 8, adaptado para a Tabela 12:

Tabela 12 - Classificação das vias e parâmetros de tráfego

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	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^6$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3×10^6 ⁽¹⁾	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

Fonte: adaptado da PMPS, 2004

A capacidade de suporte do solo, por sua vez, deve ser determinada por meio de estudos do local de implantação, como não se possui essa informação, foi adotado um $CBR_{SF} = 5,0\%$ para o desenvolvimento do dimensionamento.

II. Espessura mínima do revestimento (R)

A espessura mínima da camada de revestimento foi definida na Tabela 7, adaptada para a Tabela 13, de acordo com o tráfego determinado no tópico anterior. Como foi escolhido o revestimento com peças de concreto, a espessura mínima dessa camada é de $R = 80,00$ mm.

Tabela 13 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781

^b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805

^c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142

Fonte: adaptada da ABNT, 2015

III. Espessura mínima das camadas granulares

A partir do CBR_{SF} (5,0%) e do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão ($N = 10^5$), determinados anteriormente, utilizou-se a Tabela 9 (adaptado para a Tabela 14), para definir a espessura da camada granular pelo Método da Portland Cement Association (PCA).

Tabela 14 – Espessura necessária de base puramente granular (H_{BG})

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

Fonte: adaptado de PMPS, 2004

O valor obtido na Tabela 14 é de $H_{BG} = 22$ cm. Como a camada de base tem dimensão fixa de 10 cm, a camada de sub-base tem como dimensão a diferença para atingir o valor total dimensionado (12 cm). A camada de assentamento tem uma espessura final de 5 cm.

IV. Espessura total do pavimento (H_m)

A espessura total do pavimento corresponde ao somatório de todas as camadas (sub-base, base, camada de assentamento e camada de revestimento).

O pavimento em questão apresentou um $H_m = 35$ cm, onde:

- Camada de revestimento ($R = 8,0$ cm)
- Camada de assentamento ($C_a = 5,0$ cm)
- Base ($B = 10$ cm)
- Sub-base ($Sub_B = 12$ cm)

- Subleito = 5%

4.3.2 Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento hidráulico seguirá a metodologia apresentada no item 3.2.3 deste trabalho. É importante ressaltar que no dimensionamento do reservatório granular os pontos pertinentes a questão de infiltração não foram considerados, uma vez que o sistema escolhido será impermeabilizado, portanto, sem infiltração no solo.

I. Período de Retorno (Tr) e tempo de concentração (t)

De acordo com a NBR 16.416 o período de tempo de retorno da chuva de projeto para pavimentos permeáveis com infiltração deve ser no mínimo de 10 anos, considerando o tempo de concentração (t) de 1 hora (ABNT, 2015). Contudo, Cedergen (1980) recomenda que, para dispositivos de drenagem superficial, o período de retorno (Tr) pode variar entre um e dois anos, com um tempo de concentração das chuvas (t) de 1 hora. A Tabela 11, adaptada para Tabela 15, também apresenta um tempo de retorno (T) de 2 anos para microdrenagem residencial.

Tabela 15 – Tempo de retorno em relação ao tipo de ocupação

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
Microdrenagem	Aeroportos	2 – 5
Microdrenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
Macro drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: adaptado de Bianchet, 2015 (*apud* Pinto, 2011)

Dito isto, para o presente trabalho, foi adotado o tempo de retorno (Tr) de 2 anos e o tempo de concentração de chuva (t) de 1 hora.

II. Intensidade máxima de chuva de projeto

Silva (2018) apresenta em seu estudo a Equação (2), que determina a intensidade máxima de uma chuva de projeto (em mm/h) ao relacionar a intensidade, duração e frequência (IDF) da precipitação pluvial da área de interesse. Ele ainda apresenta os valores dos coeficientes “a”, “b”, “c” e “d” (Tabela 16), bem como as intensidades

máximas de chuva para diversas durações (min) nos períodos de retorno de 2 a 5 anos (Tabela 17) para a região de implantação do empreendimento.

Tabela 16 – Coeficientes das equações de chuvas intensas para os municípios da RMR

c	a	b	c	d	Equação
Ipojuca	952,91	0,1901	9	0,7299	$i = \frac{952,91 + T^{0,1901}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Cabo (Gurjau)	1103,783	0,266032	9	0,729948	$i = \frac{1103,78 * T^{0,266}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Cabo (Suape)	924,0104	0,174215	9	0,729948	$i = \frac{924,01 + T^{0,1742}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Camaragibe	818,3388	0,14299	9	0,729948	$i = \frac{818,34 * T^{0,143}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Goiana	882,1509	0,142552	9	0,730865	$i = \frac{882,15 + T^{0,1426}}{(t + 9)^{0,7309}}$
Igarassu	832,5162	0,139577	9	0,729948	$i = \frac{832,52 + T^{0,1396}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Itamaracá	772,6687	0,13983	9	0,729948	$i = \frac{772,67 + T^{0,1398}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Itapissuma	878,8344	0,161663	9	0,729948	$i = \frac{878,83 + T^{0,1617}}{(t + 9)^{0,7299}}$
Jaboatão	813,3806	0,158097	9	0,731389	$i = \frac{813,38 + T^{0,1581}}{(t + 9)^{0,7314}}$

Fonte: adaptado de Silva, 2018

Tabela 17 – Intensidades máximas anuais (mm/h) das precipitações calculadas pelas equações de chuvas intensas elaboradas para os municípios da Região Metropolitana de Recife para os tempos de retorno de 2 e 5 anos

T (anos)	Municípios	Duração (min)										
		5	10	15	20	30	60	120	360	480	720	1440
2	Ipojuca	158.4	126.7	106.9	93.1	75.0	49.4	31.3	14.5	11.8	8.8	5.4
	Cabo (Gurjau)	193.4	154.7	130.3	113.6	91.3	60.4	39.2	17.7	14.3	10.8	6.3
	Camaragibe	131.6	105.3	88.8	77.4	62.3	41.1	26.0	12.1	9.8	7.4	4.5
	Goiana	141.5	113.2	95.4	83.1	66.9	44.1	27.9	13.0	10.5	7.9	4.8
	Igarassu	133.6	106.9	90.1	78.5	63.2	41.7	26.4	12.3	10.0	7.5	4.5
	Itamaracá	124.0	99.2	83.7	72.9	58.7	38.7	24.5	11.4	9.3	6.9	4.2
	Itapissuma	143.2	114.6	96.6	84.2	67.8	44.7	28.3	13.1	10.7	8.0	4.8
	Jaboatão	131.7	105.3	88.8	77.3	62.3	41.0	26.0	12.0	9.8	7.3	4.4
	Olinda	148.0	118.4	99.8	87.0	70.0	46.2	29.3	13.6	11.1	8.3	5.0
	Paulista	140.6	112.5	94.9	82.6	66.6	43.9	27.8	12.9	10.5	7.9	4.8
	Recife	157.4	126.0	106.2	92.5	74.5	49.1	31.1	14.4	11.8	8.8	5.3
	São Lourenço	127.1	101.8	85.8	74.8	60.2	39.8	25.2	11.7	9.5	7.1	4.3
	Ipojuca	188.5	150.9	127.2	110.8	89.2	58.9	37.3	17.3	14.1	10.5	6.4
	5	Cabo (Suape)	246.7	197.4	166.5	145.0	116.8	77.0	48.8	22.6	18.4	13.8
Camaragibe		150.1	120.1	101.3	88.2	71.0	46.8	29.7	13.8	11.2	8.4	5.1
Goiana		161.3	129.0	108.8	94.7	76.3	50.3	31.8	14.8	12.0	9.0	5.4
Igarassu		151.8	121.5	102.4	89.2	71.9	47.4	30.0	13.9	11.3	8.5	5.1
Itamaracá		141.0	112.8	95.1	82.8	66.7	44.0	27.9	12.9	10.5	7.9	4.8
Itapissuma		166.1	132.9	112.1	97.6	78.6	51.8	32.8	15.2	12.4	9.3	5.6
Jaboatão		152.2	121.8	102.6	89.4	72.0	47.4	30.0	13.9	11.3	8.5	5.1
Olinda		161.0	128.8	108.6	94.6	76.2	50.2	31.8	14.8	12.0	9.0	5.4
Paulista		158.8	127.1	107.2	93.3	75.2	49.6	31.4	14.6	11.9	8.9	5.4
Recife		171.6	137.3	115.8	100.8	81.2	53.6	33.9	15.8	12.8	9.6	5.8

Fonte: adaptado de Silva, 2018

Com base nas informações acima e nos tempos de retorno (Tr) e de concentração (t), definidos anteriormente, obteve-se uma intensidade máxima de chuva de projeto $i_m = 60,4$ mm/h.

III. Porosidade (n)

De acordo com Acioli (2005), para a camada reservatório é importante escolher um material que transmita as solicitações aplicadas na camada superior para o solo suporte, bem como seja capaz de armazenar a água da chuva, até a sua infiltração ou drenagem pela rede lateral. A autora ainda ressalta que o material mais utilizado para essa camada do pavimento é a brita 3 ou 4, com diâmetro maior que 10 mm.

Neste trabalho, será utilizado brita graduada simples e brita 3 nas camadas de base e sub-base, respectivamente. Para o cálculo da porosidade do material, foram utilizados os dados apresentados por Virgiliis (2009), conforme Tabela 18.

Tabela 18 – Característica dos materiais granulares

Parâmetros de cálculo	Camada	
	Brita graduada simples	Brita 3
Massa específica aparente (g/cm ³) - γ_d	2,169	1,491
Densidade real dos grãos (g/cm ³) - G_s	2,643	2,704
Densidade da água a 25,0 °C - γ_w	1,000	1,000

Fonte: adaptado de Virgiliis, 2009

Aplicando os dados na Equação (3):

$$n_{BGS} = 1 - \frac{2,169}{2,643 * 1,000} = 0,179 \approx 0,18$$

$$n_{BRITA3} = 1 - \frac{1,491}{2,704 * 1,000} = 0,448 \approx 0,45$$

IV. Profundidade do reservatório

De acordo com ABCP (2016), o atendimento da distribuição granulométrica recomendada possibilita, aos agregados utilizados nas camadas de assentamento e rejuntamento, atingir o coeficiente de permeabilidade da ordem de $3,5 \times 10^{-3}$ m/s, o que o torna capaz de absorver a totalidade da máxima chuva de projeto.

Para o dimensionamento foi considerado que o pavimento será capaz de absorver totalmente a água precipitada.

A área de captação, por sua vez, será composta pelos estacionamentos 1, 2, 3 e pela área de circulação de veículos. Não haverá área de contribuição externa.

- Estacionamento/ Bicicletário/Circulação de veículos: 3.763,8 m²;
 Estacionamento/ Bicicletário 1: 730,08 m²;
 Estacionamento/ Bicicletário 2: 730,08 m²;
 Estacionamento/ Bicicletário 3: 730,08 m²;
 Circulação de veículos: 1573,56 m²;

Substituindo os dados obtidos anteriormente nas Fórmulas (6), (5) e (4), respectivamente, obteve-se:

- Fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável

$$c = \frac{60,4 \text{ mm/h} * 0}{0} = 0$$

- Volume de chuva a ser retido pelo reservatório

$$Vr = (60,4 \text{ mm/h} + 0 - 0) * 1h = 60,4 \text{ mm}$$

- Profundidade do reservatório granular

$$H = \frac{60,4 \text{ mm}}{0,45} = 134,22 \text{ mm} \approx 13,42 \text{ cm}$$

Visando facilitar a execução, foi assumido H = 14 cm. Importante destacar que, no sistema em questão, apenas a sub-base terá função de armazenamento.

4.4 COMPATIBILIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO MECÂNICO X DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Como dito anteriormente, a estrutura dos pavimentos permeáveis, além de atender aos requisitos mecânicos, também deve atender aos requisitos do dimensionamento hidráulico, diante disso, é necessário realizar uma compatibilização das espessuras das camadas, a fim de satisfazer todas as solicitações.

No dimensionamento mecânico obteve-se as seguintes dimensões para cada camada:

1. Camada de revestimento (R = 8,0 cm)
2. Camada de assentamento (C_a = 5,0 cm)
3. Base (B = 10 cm)
4. Sub-base (Sub_B = 12 cm)

O dimensionamento hidráulico, por sua vez, resultou nas seguintes dimensões para camada reservatório (sub-base):

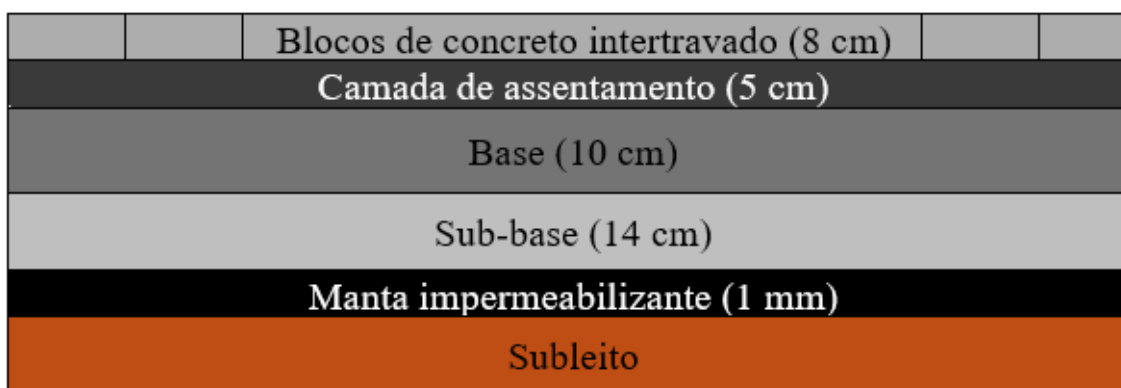
1. Sub-base ($H = Sub_B = 14 \text{ cm}$)

É possível observar que o dimensionamento hidráulico resultou em uma camada de sub-base mais espessa, portando, objetivando atender ambos os critérios, adotou-se $Sub_B = 14 \text{ cm}$ no perfil final do pavimento. Além disso, também adotou-se para as juntas uma espessura de 1,2 cm, atendendo os requisitos previstos na NBR 16.146.

Finalizando o dimensionamento, o perfil final do pavimento projetado, de acordo a atender os dimensionamentos (hidráulico e mecânico), apresenta-se na Figura 15.

Importante destacar que, entre as camadas de assentamento e base, será instalada uma membrana geotêxtil filtrante, com a função de impedir a passagem do material de uma camada para outra.

Figura 14 – Perfil final do pavimento



Fonte: elaborado pela própria autora, 2024

4.5 SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS

A drenagem do empreendimento será realizada por meio de um sistema de microdrenagem, que inclui o pavimento permeável e tubulações subterrâneas. O projeto assume que toda a água pluvial será infiltrada no pavimento, eliminando a necessidade de dispositivos de drenagem adicionais, como sarjetas, valas ou bocas de lobo.

A água infiltrada ficará acumulada na camada granular, a partir de onde será direcionada, por meio dos drenos, para o reservatório principal de águas pluviais localizado no centro do empreendimento. Os drenos, por sua vez, serão formados por tubos de PVC perfurados, instalados na camada granular para permitir a passagem da água acumulada.

Para as áreas de contribuição de águas pluviais, foram considerados apenas os locais como pavimento permeável. As águas advindas das coberturas serão direcionadas para o sistema de drenagem urbano e as águas precipitadas nos jardins serão absorvidas pelo solo.

A locação dos drenos (destacados em vermelho) e o fluxo do sistema (direcionado pelas setas) está apresentado no Apêndice B.

4.5.1 Reservatório principal de águas pluviais

O reservatório principal é responsável por acomodar toda a água drenada pelo sistema, para seu posterior direcionamento aos pontos de consumo.

Para o dimensionamento do reservatório principal foram utilizados os seguintes dados:

Intensidade máxima de chuva de projeto $\rightarrow i_m = 60,4 \text{ mm/h}$;

Área de pavimento permeável \rightarrow Estacionamento/Circulação de veículos: $3.763,8 \text{ m}^2$.

Como dito anteriormente, para elaboração desse sistema foi considerado que toda água precipitada no pavimento será captada e que qualquer perda para, seja por evaporação ou escoamento superficial, será irrelevante.

$$Res_{princ} = i_m * A_{pp}$$

$$Res_{princ} = 60,4 \text{ mm/h} * 3.763,8 = 227,3 \text{ m}^3$$

A partir do volume obtido para o reservatório principal, foi possível definir a sua dimensão e características. Para o projeto em questão optou-se por um reservatório quadrado, moldado in loco e enterrado, com 10 metros de lado e 2,30 metros de profundidade, resultando em uma capacidade de 230 m^3 .

4.6 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA CAPTADA PARA USO NÃO POTÁVEL

Iniciando no reservatório principal, a água captada será transferida para o reservatório de distribuição com o auxílio de motobombas, a partir de onde seguirá para os pontos de consumo por gravidade. Importante destacar que, considerando as características filtrantes do pavimento e sua influência na melhoria das características da água, não será necessário a realização de tratamento para o uso em sistemas não potáveis, como irrigação de jardins e lavagem de carros.

4.7 ANÁLISE DOS CUSTOS E PAYBACK

A análise dos custos e *payback* seguirá a metodologia apresentada no item 3.2.4 deste trabalho.

I. Volume mensal de água captada

O índice pluviométrico mensal médio (em mm) foi obtido a partir dos dados fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), considerando o histórico pluviométrico dos últimos 10 anos (2014 a 2023), conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Histórico pluviométrico do Cabo de Santo Agostinho (mm)

POSTO	ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2014	127,30	221,60	184,50	253,70	335,60	314,20	152,00	218,40	251,50	317,30	62,30	63,30	208,48
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2015	14,60	26,60	283,80	38,50	160,90	462,40	446,00	165,00	30,90	43,60	4,70	91,80	147,40
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2016	169,40	52,80	311,50	240,90	403,60	155,80	134,40	72,60	62,70	31,30	24,00	33,40	141,03
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2017	24,20	44,90	113,80	322,30	468,30	451,10	585,20	178,40	120,70	52,20	8,10	39,20	200,70
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2018	96,20	247,40	226,20	499,10	230,60	108,50	160,00	54,20	35,10	7,40	46,50	84,20	149,62
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2019	103,80	216,70	101,20	216,90	153,10	441,40	419,10	142,50	94,90	54,70	5,40	62,20	167,66
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2020	43,00	88,80	138,50	261,40	336,50	327,70	184,90	130,10	54,70	27,90	40,20	62,90	141,38
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2021	93,60	179,60	249,20	494,20	335,10	178,70	265,20	367,00	70,30	60,00	37,90	130,60	205,12
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2022	216,80	231,70	432,20	164,30	607,40	474,50	296,80	176,10	64,40	69,90	98,10	54,50	240,56
CABO (BARRAGEM DE GURJAÚ)	2023	96,50	329,00	201,40	316,80	229,30	582,40	287,70	162,40	160,80	21,70	76,90	68,20	211,09
MÉDIA:		98,54	163,91	224,23	280,81	326,04	349,67	293,13	166,67	94,60	68,60	40,41	69,03	181,30

Fonte: adaptado da APAC, 2024

Como apresentado anteriormente, a área de captação será composta pelos estacionamentos 1, 2, 3 e pela área de circulação de veículos. Não haverá área de contribuição externa.

- Estacionamento/ Bicletário/Circulação de veículos: 3.763,8 m²;
 Estacionamento/ Bicletário 1: 730,08 m²;
 Estacionamento/ Bicletário 2: 730,08 m²;
 Estacionamento/ Bicletário 3: 730,08 m²;
 Circulação de veículos: 1573,56 m²;

Substituindo os dados na Equação 7:

$$Q = 181,30 \text{ mm} * 3.763,8 \text{ m}^2$$

$$Q = 682,37 \text{ m}^3 \approx 682,4 \text{ m}^3$$

A partir do reaproveitamento da água da chuva, haverá uma economia mensal de 682,4m³ de água potável, considerado que toda a água pluvial armazenada tem como objetivo substituir a água fornecida pela concessionária local.

II. Economia mensal de água potável

Para o cálculo da economia mensal foi utilizada a composição tarifária residencial (Tabela 20) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), concessionária responsável pelo fornecimento de água potável no local de implantação do empreendimento.

Tabela 20 – Estrutura tarifária residencial (COMPESA)

Consumo (m ³ /mês)	Valor (R\$)
Tarifa Social - Até 10	9,44 por mês
Até 10	56,16 por mês
10 a 20	6,44 por m ³
20 a 30	7,65 por m ³
30 a 50	10,54 por m ³
50 a 90	12,49 por m ³
Acima de 90	24,00 por m ³

¹Sistema Convencional de Esgotamento Sanitário: Ligação Convencional ou ramal de calçada - 100% da tarifa de água/ Ramal Condominial (operado p/comunidade) - 50% da tarifa de água

²Sistema Simplificado de Esgotamento Sanitário: Ligação Convencional ou ramal de calçada - 80% da tarifa de água/ Ramal Condominial (operado p/comunidade) - 40% da tarifa de água

³Dreno de Esgotamento Sanitário: Ligação Convencional ou ramal de calçada - 80% da tarifa de água/ Ramal Condominial (operado p/comunidade) - 40% da tarifa de água

⁴Prédios em construção: 50% do valor dos serviços de esgotos estipulados no momento da ligação, cobrados até a concessão do habite-se

Fonte: adaptado de COMPESA, 2024

A tarifa de esgotamento sanitário, para o empreendimento em questão, será referente a 50% da tarifa de água, considerando um sistema convencional com ramal condominial.

Na estrutura tarifária da COMPESA o valor da tarifa aumenta de acordo com o consumo. A economia mensal gerada pelo volume total de água pluvial capitada ($Q = 682,4 \text{ m}^3$) foi detalhada na Tabela 21.

Tabela 21 – Detalhamento da economia mensal

Consumo (m ³ /mês)	Valor (R\$)	Valor economizado (R\$)
Até 10	56,16 por mês	56,16
10 a 20	6,44 por m ³	64,40
20 a 30	7,65 por m ³	76,50
30 a 50	10,54 por m ³	105,40
50 a 90	12,49 por m ³	124,90
90 a 682,4	24,00 por m ³	14.217,6
Total:		14.644,96
+ Tarifa de esgotamento sanitário (50%):		7.322,48
Total final:		21.967,44

Fonte: elaborado pela própria autora, 2024

A partir dos cálculos, obteve-se uma economia mensal de R\$ 21.967,44.

III. Investimento para implantação do sistema

Para obter o valor da diferença dos custos de implantação do pavimento intertravado permeável e do pavimento intertravado convencional, foram utilizadas composições e insumos das planilhas de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, referentes ao estado do Pernambuco, publicadas no mês de agosto de 2024.

No orçamento não foram considerados os custos com tubulações e o reservatório principal, uma vez que, independentemente do tipo de sistema de drenagem escolhido, tais componentes ainda seriam necessários, ademais, o foco do trabalho em questão é o pavimento intertravado, sendo assim, foram considerados apenas os custos com os materiais específicos do pavimento.

- Pavimento intertravado convencional

A Tabela 22 apresenta a composição para a execução de um pavimento intertravado convencional, de acordo com o SINAPI.

Tabela 22 – Composição do custo do pavimento convencional

EXECUÇÃO DE PAVIMENTO EM PISO INTERTRAVADO, COM BLOCO RETANGULAR COR NATURAL DE 20 X 10 CM, ESPESSURA 8 CM.			M²	RS 80,66
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	UNIDADE	COEFICIENTE	PREÇO UNITÁRIO (RS)	CUSTO TOTAL (RS)
CALCETEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2632000	26,26	6,91
CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,1278000	0,97	0,12
CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,0038000	10,98	0,04
PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,1261000	0,71	0,09
PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,0055000	10,36	0,06
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2632000	21,05	5,54
BLOQUETE/PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO - MODELO ONDA/16 FACES/RETANGULAR/TIJOLINHO PAVER/HOLANDES/PARALELEPIPEDO, *20 X 10* CM, E = 8 CM, RESISTENCIA DE 35 MPA, COR NATURAL	M2	1,0041000	59,36	59,60
AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M3	0,0568000	129,00	7,33
PO DE PEDRA (POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE)	M3	0,0098000	98,69	0,97

Fonte: adaptado do SINAPI, 2024

- Pavimento intertravado permeável

Como o pavimento intertravado permeável não possui composição própria nos arquivos de referência, foi elaborada uma composição adaptando o detalhamento do pavimento convencional, conforme apresentado na Tabela 23.

A composição foi dimensionada para execução de 1m², com as seguintes camadas, espessuras e características:

1. Camada de revestimento (R = 8,0 cm) – Bloquete de retangular 20 x 10 cm, resistência de 35 MPa, cor natural;
2. Camada de assentamento (C_a = 5,0 cm) - Areia grossa com 4,8 mm;
3. Rejuntamento (E = 1,2 cm) - Areia grossa com 4,8 mm;
 - a. Correspondendo a 14% da área do pavimento.
4. Base (B = 100 cm) - Pedra britada n. 1 (12,5 mm);
5. Sub-base (H = Sub_B = 14 cm) - Pedra britada n. 2 (25 mm);
6. Manta impermeabilizante – E = 1mm;
7. Membrana filtrante geotêxtil.

Para o cálculo dos coeficientes foi considerada uma margem de perda de 15% e todos os valores dos insumos foram obtidos através da base de dados do SINAPI.

Tabela 23 – Composição do custo do pavimento permeável

EXECUÇÃO DE PAVIMENTO EM PISO INTERTRAVADO, COM BLOCO RETANGULAR COR NATURAL DE 20 X 10 CM, ESPESSURA 8 CM.			M²	RS 155,52
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	UNIDADE	COEFICIENTE	PREÇO UNITÁRIO (RS)	CUSTO TOTAL (RS)
CALCETEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2632000	26,26	6,91
CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,1278000	0,97	0,12
CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,0038000	10,98	0,04
PLACA VIBRATORIA REVERSIVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRIFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,1261000	0,71	0,09
PLACA VIBRATORIA REVERSIVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRIFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,0055000	10,36	0,06
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2632000	21,05	5,54
BLOQUETE/PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO - MODELO ONDA/16 FACES/RETANGULAR/TIJOLINHO/PAVER/HOLANDES/PARALELEPIPEDO, *20 X 10* CM, E = 8 CM, RESISTENCIA DE 35 MPA, COR NATURAL	M2	1,0041000	59,36	59,60
AREIA GROSSA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M3	0,0713000	130,68	9,32
PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 A 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,1150000	104,48	12,02
PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,1610000	105,03	16,91
MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,00 MM (NBR 15352)	M2	1,1500000	26,47	30,44
GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER, RESISTENCIA A TRACAO = 16 KN/M	M2	1,1500000	12,58	14,47

Fonte: elaborado pela própria autora, 2024

Substituindo os valores na Equação 9:

$$Dc = R\$ 155,52 - R\$ 80,66$$

$$Dc = R\$ 74,86 \text{ por } m^2.$$

Para obter a diferença de custo total, foi multiplicado a diferença de implantação, pela área total de pavimento permeável.

$$Dc_{total} = R\$ 74,86 * 3.763,8 m^2$$

$$Dc_{total} = R\$ 281.758,068$$

Ao final dos cálculos, obteve-se um investimento total de R\$ 281.758,068 para a implantação do pavimento intertravado permeável no empreendimento.

IV. Payback

Substituindo os dados na Equação 10:

$$Tr = \frac{R\$ 281.758,069}{R\$ 21.967,44}$$

$$Tr = 12,826 \approx 13 \text{ meses}$$

Por fim, obteve-se um prazo de 13 meses, tempo necessário para que ocorra o retorno do investimento para a execução do sistema de drenagem por meio do pavimento intertravado permeável.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou um estudo preliminar da utilização do pavimento permeável de concreto, em um empreendimento residencial fictício, para a captação de águas pluviais, objetivando seu reaproveitamento para usos não potáveis, com abordagens aos tipos, características, composições, funções, vantagens, desvantagens e requisitos desse sistema.

Foi desenvolvido um dimensionamento mecânico e hidráulico, além de uma análise técnica e econômica para a aplicação do pavimento intertravado permeável, associado a um sistema de micro drenagem de fácil execução.

Apesar dos diversos requisitos para implantação desse sistema, o pavimento permeável de concreto, dentro dos objetivos propostos, mostrou-se como ótima opção na redução dos impactos provenientes da crescente urbanização e impermeabilização do solo, sem suscetibilizar alterações no ciclo hidrológico, além de mitigar as ocorrências com alagamentos. Ademais, o pavimento permeável escolhido atende as premissas técnicas normativas e estão associadas ao conceito de sustentabilidade, seja no aspecto técnico, social como cultural.

Pode-se inferir também, que os resultados alcançados foram satisfatórios, baseados em premissas técnicas como econômica, uma vez que, a estrutura prevista para captação da água pluvial para posterior uso, com um *payback* de aproximadamente 13 meses, apresenta-se como um elemento de destaque para tomada de decisão.

É importante ressaltar que o trabalho em questão teve fins unicamente acadêmicos, e dito isso, para uma implantação real, será fundamental a realização dos ensaios pertinentes para utilização do sistema em atendimento as Normas Técnicas Brasileiras.

Por fim, espera-se que este trabalho contribua para futuros estudos que venham a ser desenvolvidos sobre o tema, ademais, que tais projetos passem a ser executados com maior assiduidade, uma vez que esses sistemas, podem trazer inúmeros benefícios à sociedade, às cidades e principalmente ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5843>. Acesso em: 16 jul. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Água no mundo**. Brasília, DF: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 02 jul. 2024.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico**. Cabo de Santo Agostinho: APAC, 2024. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ANTUNES, L. N.; GHISI, E.; SOUZA, J.C. Aproveitamento de água pluvial captada de um pavimento permeável para utilização no sistema de hidrantes e em usos não potáveis de uma edificação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS: GESTÃO, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE, XIV, 2021, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sispred/article/view/1156>. Acesso em: 14 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. 2.ed. São Paulo: ABCP, 2021. 24p. Disponível em: <https://abcp.org.br/download/>. Acesso em: 01 mai. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **PR-1 – Manutenção de Pavimentos Intertravados Permeáveis**. São Paulo: ABCP, 2016. Disponível em: <https://abcp.org.br/pr1-manutencao-de-pavimentos-intertravados-permeaveis/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Projeto técnico: Pavimentos Permeáveis**. São Paulo: FIB, 2016. 21p. Disponível em: <https://abcp.org.br/pavimento-permeavel/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.416: Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; ALFAKIH, E. **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial**. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier, 1994.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto Permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 175 p.

BALLARD, B.W.; WILSON, S.; UDALE-CLARKE, H.; ILLMAN, S.; SCOTT, T.; ASHLEY, R.; KELLAGHER, R. **The SuDS Manual**. London: CIRIA, 2015. *E-book*. Disponível em: https://www.scotsnet.org.uk/__data/assets/pdf_file/0023/51764/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf. Acesso em: 12 mai. 2024.

BECKER, N.; PINHEIRO, I. G. Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Santa Catarina, v. 11, fev. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/7VGBkDMSnLfxghCnZWYbrPP/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BIANCHET, D. L. **Estudo preliminar para captação de água da chuva por meio de pavimentos permeáveis na cidade de Florianópolis/SC**. 2015. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/133801/TTC%20R%20final%20A5%20BU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2024

CEDERGREN, H.R., **Drenagem de Pavimentos de Rodovias e Aeródromos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Ed. S.A., 1980.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. **Serviços: Estrutura Tarifária**. Cabo de Santo Agostinho: COMPESA, 2023. Disponível em: <https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalAction.do>. Acesso em: 28 ago. 2024.

COOPER, A. M.. **Estudo de viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total para redução do escoamento superficial, na cidade de Alegrete/RS**. 2013. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/1657>. Acesso em: 20 mai. 2024.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Especificação Técnica: mantas geotêxteis em dispositivos de drenagem**. São Paulo: DER, 2006. Disponível em: https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/ET-DE-H00-013_A.pdf. Acesso em: 16 ago. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 333 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 06 jun. 2024

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE.
Manual de Pavimentação de Rodovias. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p.
Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf.
Acesso em: 06 jun. 2024

FERREIRA, D. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis – SC**. 2005. 139 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Daniel_Fabricio_Ferreira.pdf. Acesso em: 01 mai. 2024

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and environment**, v. 41, n. 11, p. 1544–1550, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305002222>. Acesso em: 30 abr. 2024

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305000132>. Acesso em: 30 abr. 2024

HAMMES, G. **Aproveitamento de água pluvial captada a partir de pavimentos permeáveis para uso não potável**. 2017. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/177251/Gabriela%20Hammes_TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 18 abr. 2024

KLEPA, R. B.; MIRANDA, A.C.; MELO, K.G.P.C.; FONTES, L.C.B. Água de Reuso em sistema Predial: Sustentabilidade e Economia. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, VIII, 2020, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: SINGEP, 2020. Disponível em: <https://submissao.singep.org.br/8singep/arquivos/92.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024

LIMA, J. A.; DAMBROS, M.V.R.; ANTONIO, M.A.P.M.; JANZEN, J.G.; MARCHETTO, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 291–298, jul./set. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/F7sqjkgMFvKrVWH48JHw7tr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 abr. 2024.

MARCHIONI, M. L.; SILVA, C. O. **PR-2 - Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravados Permeáveis**. São Paulo: ABCP, 2016. Disponível em: <https://abcp.org.br/pr-2-conceitos-e-requisitos-para-pavimento-intertravado-permeavel/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

MEDRADO, P. S.; SILVA, A. R.; SOUZA, E. O. Uma proposta de estudo analítico sobre uma possível crise hídrica no Brasil. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, II, 2023, Chapecó. **Anais [...]**. Chapecó: UFFS, 2023. Disponível em: <https://portaleventos.uffrs.edu.br/index.php/SSAPEC/article/download/19318/13516/>. Acesso em: 07 ago. 2024.

MENDES, M. V., AMARANTE, M. S. Pavimentos permeáveis: a busca por otimização do escoamento superficial e manejo dos efluentes pluviais. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 7, n. 1, p. 19-38, 2021. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/922>. Acesso em: 18 ago. 2024.

MOURA, E. **TRANSPORTES E OBRAS DE TERRA: Movimento de Terra e Pavimentação**. São Paulo: Departamento de Transportes e Obras de Terra – FATEC, 2024. *E-book*. Disponível em: <https://professoredmoura.com.br/download/163.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2024.

OLIVEIRA, L. F. G. S. **Dimensionamento e análise de desempenho hidráulico de estacionamentos com drenagem convencional e pavimento permeável, apoiado por modelagem computacional**. 2018. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024938.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2024

PERRONE, W. K., SOUZA, W. L. Technical feasibility study of the implantation of a drainage system with the use of permeable asphalt, as an alternative for flood mitigation, in urban areas of Manaus. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, v. 5, n. 19, p. 26-40, 2019. Disponível em: <https://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/download/490/358/>. Acesso em: 07 abr. 2024

PILON, B.S., TYNER, J.S., YODER, D.C., BUCHANAN, J.R. The Effect of Pervious Concrete on Water Quality Parameters: A Case Study. **Water**, v. 11, n. 2, p. 263–263, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/2/263>. Acesso em: 27 jun. 2024

PIRES, R. A. G.; CARRILHO, B. B.; GALVÃO, R. G. Asfalto convencional ou permeável? Viabilidade técnica na prevenção de enchentes. In: ENANPUR, XVIII, 2019, Natal. **Anais [...]**. Natal: UFRN, 2019. Disponível em: <https://xviiienganpur.anpur.org.br/anaisadmin/capapdf.php?reqid=1744>. Acesso em: 14 ago. 2024

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **IP-02 - Classificação das Vias**. São Paulo: PMSP, 2004. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip_02_2004_classificacao_das_vias.pdf. Acesso em: 07 set. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **IP-06 – Dimensionamento de Pavimentos Com Blocos Intertravados de Concreto**. São Paulo: PMSP, 2004.

Disponível em:

https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip_06_2004%20_dimensioamento_de_pavimentos_em_blocos_intertravados_de_concreto.pdf. Acesso em: 07 set. 2024

RAMOS, C. L.; BARROS, M. T. L.; PALOS, J. C. F. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – PMSP, 1999. *E-book*. Disponível em:

<https://www.collegesidekick.com/study-docs/6600864>. Acesso em: 15 set. 2024

REZENDE, L. de A. **A crise hídrica e o direito brasileiro: problemas de governança na política nacional de recursos hídricos**. 2016. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Direito) - Faculdade de Ciências da Jurídicas e Sociais, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/9109/1/21014602.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2024

SCARDUA, O. R. A. **Pavimento permeável como medida sustentável de aproveitamento de água pluvial para uso não potável em uma edificação na Universidade Federal do Espírito Santo**. 2021. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021. Disponível em:

https://engenhariacivil.ufes.br/sites/engenhariacivil.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_ohana_scardua_-_dcb_.pdf. Acesso em: 04 mai. 2024

SCHOLZ, M; GRABOWIECKI, P. Review of permeable pavement systems. **Building and environment**, v. 42, n. 11, p. 3830-3836, 2007. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132306004227>. Acesso em: 27 jun. 2024

SELBIG, W.R., BUER, N., DANZ, M.E. Stormwater-quality performance of lined permeable pavement systems. **Journal of Environmental Management**, v. 251, p. 109510, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719312289#preview-section-abstract>. Acesso em: 15 set. 2024

SILVA, E. C. **Variabilidade espaço-temporal da pluviosidade da região metropolitana de Recife**. 2018. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32850/1/TESE%20Eduardo%20Cabral%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2024

SILVA, F. G.; SIQUEIRA, M.C. **Avaliação sobre a eficiência do uso de pavimentos permeáveis**. 2019. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Jaraguá, Jaraguá, 2019. Disponível em:

http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1491/1/2019_1_TCC_SilvaFrancielleGon%C3%A7alves.pdf. Acesso em: 14 ago. 2024

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatórios mensais: Relatório de Insumos e Composições.** Pernambuco: SINAPI, 2024. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-pe/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_PE_202408_Desonerado.zip. Acesso em: 12 set. 2024.

UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE STORMWATER CENTER. **Design Specifications for Porous Asphalt Pavement and Infiltrations Beds.** New Hampshire: UNHSC, 2014. Disponível em: <https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1012&context=stormwater>. Acesso em: 6 jun. 2024.

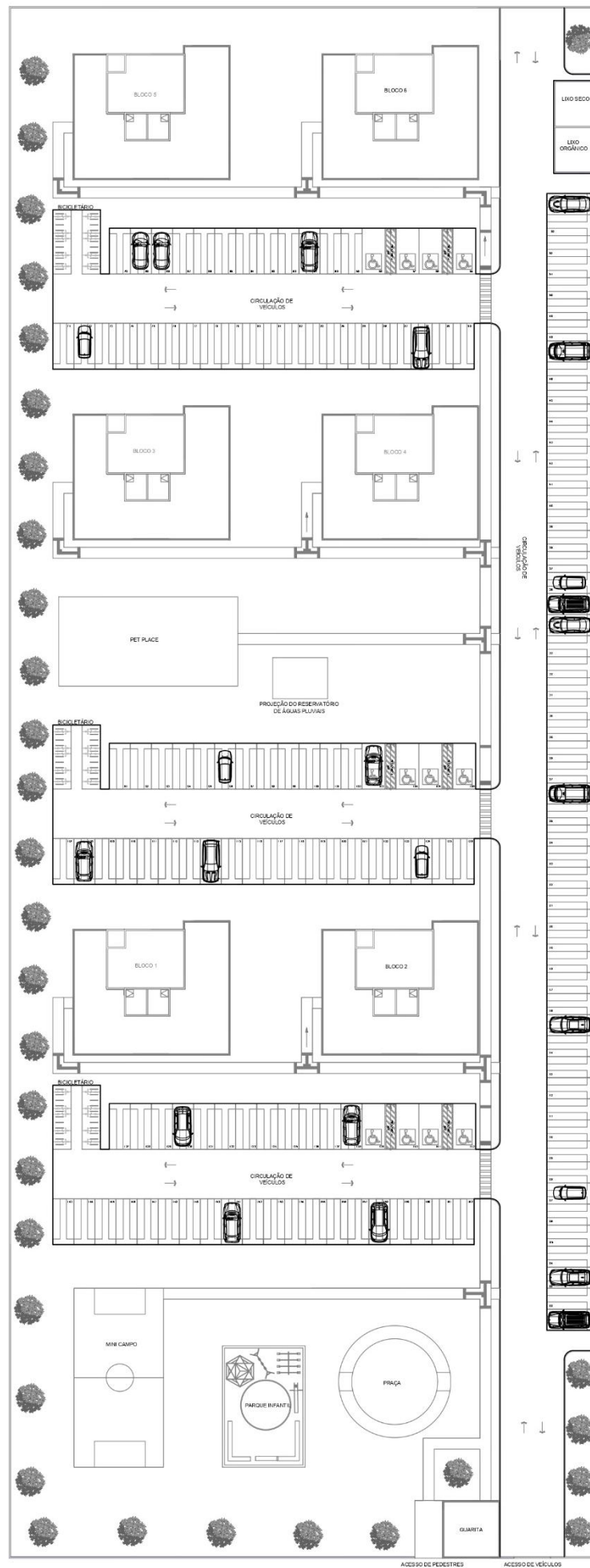
VAZ, I. C. M., GHISI, E, THIVES, L.P. Stormwater Harvested from Permeable Pavements as a Means to Save Potable Water in Buildings. **Water**, v. 13, n. 14, p. 1896, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/14/1896>. Acesso em: 20 jun. 2024

VIRGILIIS, A. L. C.. **Procedimentos do projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** 2009. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/es.php>. Acesso em: 18 jun. 2024

XIE, N.; AKIN, M.; SHI, X. Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1605-1621, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618335376>. Acesso em: 05 mai. 2024

ZHU, H.; YU, M.; ZHU, J.; LU, H.; CAO, R. Simulation study on effect of permeable pavement on reducing flood risk of urban runoff. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 8, n. 4, p. 373-382, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043018301060>. Acesso em: 05 mai. 2024

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DO EMPREENDIMENTO



APÊNDICE B - SISTEMA DE DRENAGEM DO EMPREENDIMENTO

