

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DE ENGENHARIA CIVIL

OHANA RIBEIRO ADAMI SCARDUA

**PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA USO NÃO POTÁVEL
EM UMA EDIFICAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO
SANTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

VITÓRIA

2021

OHANA RIBEIRO ADAMI SCARDUA

**PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA USO NÃO POTÁVEL
EM UMA EDIFICAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO
SANTO**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Costa Buarque.

VITÓRIA

TERMO DE APROVAÇÃO

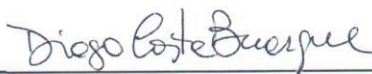
PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA USO NÃO POTÁVEL EM UMA
EDIFICAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

OHANA RIBEIRO ADAMI SCARDUA

Projeto de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil do
Centro Tecnológico da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito
parcial para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Vitória, 15 de outubro de 2021

COMISSÃO EXAMINADORA:

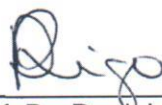


Diogo Costa Buarque
Prof. Orientador



CINCO ESTRELAS CONSTRUTORA S/A INCORP. EIRELI EPP
Luiz Daniel de Oliveira
Engenheiro Civil
CREA/ES Nº 006646/D

Prof. Luiz Daniel de Oliveira Miranda
Cinco Estrelas Construtora



Prof. Dr. Daniel Rigo
UFES

Dedico esse trabalho a Deus e a minha
família.

.

AGRADECIMENTOS

Cinco anos atrás tive a oportunidade de ingressar no curso de Engenharia Civil, foi um período de aprendizado e crescimento, agora ao finalizar mais essa etapa só tenho a agradecer, pois sei que não teria conseguido sozinha.

Agradeço Àquele que sempre foi e será eternamente o maior engenheiro do mundo, que com maestria projetou o universo. E ainda que tão grande e soberano me sustenta a cada dia com infinita misericórdia e amor incondicional.

Aos meus pais Valéria e Rodrigo, meus exemplos, obrigada por não pouparem esforços para me ajudar. Amo vocês.

À minha irmã Aloha que está comigo desde sempre, obrigada pelo carinho e apoio incondicional. Amo você.

Às amigadas que a UFES me proporcionou, que levarei para a vida, obrigada pelo apoio, companheirismo e paciência. Amo vocês.

Agradeço ao professor Diogo Costa Buarque que com paciência e dedicação me orientou ao longo deste trabalho.

RESUMO

SCARDUA, Ohana. **PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL DE CONTROLE DO ESCOAMENTO NA FONTE DE UMA EDIFICAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**. 2021. 89. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2021.

Os impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico veem se agravando cada vez mais. O crescimento das superfícies impermeáveis nas cidades aumenta o escoamento superficial e reduz a capacidade de infiltração do solo. Uma alternativa para devolver as condições de pré-urbanização para o solo é o pavimento permeável. O objetivo desse dispositivo é tentar fazer com que a água infiltre rapidamente podendo permanecer armazenada em um reservatório ou não. Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de aplicação de um pavimento permeável em uma edificação da Universidade Federal do Espírito Santo, permitindo assim a reutilização da água coletada para suprir a demanda de água não potável do futuro prédio de engenharia ambiental da universidade. São abordados neste trabalho os tópicos referentes ao conhecimento dos componentes e materiais utilizados nos pavimentos permeáveis, bem como os tipos de pavimentos segundo a permeabilidade, a manutenção e execução dos mesmos. Como resultado foi dimensionado um pavimento permeável para aplicação no estacionamento do Centro Tecnológico da UFES, cujo volume de água do reservatório dimensionado possibilita de suprir a demanda de água não potável para uso em bacias sanitárias do prédio de engenharia ambiental e ainda sobra para fins não potáveis por outras edificações do Campus próximas, como o prédio do CT6 e o atual prédio da Engenharia Ambiental.

Palavras-chave: Pavimento Permeável. Drenagem. Escoamento Superficial.

ABSTRACT

SCARDUA, Ohana. **PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA SUSTENTÁVEL DE CONTROLE DO ESCOAMENTO NA FONTE DE UMA EDIFICAÇÃO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**. 2021. 89. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2021.

The impacts caused by urbanization on the hydrological cycle are getting worse and worse. The growth of impermeable surfaces in cities increases runoff and reduces the infiltration capacity of the soil. An alternative to return the pre-urbanization conditions to the ground is the permeable pavement. The purpose of this device is to try to make the water infiltrate quickly, being able to remain stored in a reservoir or not. This work aims to evaluate the potential application of a permeable pavement in a building at the Federal University of Espírito Santo, thus allowing the reuse of collected water to meet the demand for non-potable water in the future environmental engineering building of the university. Topics related to knowledge of the components and materials used in permeable pavements are addressed in this work, as well as the types of pavements according to their permeability, maintenance and execution. As a result, a permeable pavement was designed for application in the parking lot of the Technological Center of UFES, whose sized reservoir water volume makes it possible to supply the demand for non-potable water for use in the sanitary basins of the environmental engineering building and still has leftovers for non-drinking purposes by other nearby campus buildings, such as the CT6 building and the current Environmental Engineering building.

Keywords: Permeable Pavement. Drainage. Surface Runoff.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo hidrológico pré e pós urbanização.	18
Figura 2 - Evolução do manejo das águas.	20
Figura 3 – Micro reservatórios residenciais.	23
Figura 4 - (a) Foto de uma bacia de retenção; (b) Desenho esquemático de uma bacia de retenção em planta; (c) Desenho esquemático de uma bacia de retenção em corte.	24
Figura 5 - Bacia no Parque São Loureço em Curitiba.	24
Figura 6 - Corte de uma Trincheira.	26
Figura 7 – Esquema de uma Vala vegetada.	27
Figura 8 – Exemplo de Vala vegetada.	28
Figura 9 - Esquema de poços de infiltração.	30
Figura 10 Corte de um Telhado Verde	32
Figura 11 Corte Jardim de chuva	34
Figura 12 Seção típica de um pavimento de concreto permeável.....	37
Figura 13 (1) Asfalto poroso; (2) Concreto poroso; (3) Bloco de concreto vazado	38
Figura 14 Pavimento permeável constituído de piso monolítico drenante - Desert 2, obra realizada pela Flowin Revestimentos.	39
Figura 15 Pavimento intertravado permeável com infiltração total no solo	43
Figura 16 Pavimento intertravado permeável sem infiltração no solo	44
Figura 17 Pavimento intertravado permeável com infiltração parcial no solo.....	44
Figura 18 Retirada do revestimento do pavimento convencional pré-existente	47
Figura 19 Retirada da base convencional pré-existente	47
Figura 20 Abertura das valas dos drenos.....	48
Figura 21 Compactação do solo.....	48
Figura 22 Colocação da manta impermeável.....	49
Figura 23 Instalação dos tubos drenos	49
Figura 24 Instalação da cisterna	50
Figura 25 Colocação e compactação do material da base.....	50
Figura 26 Colocação do material de assentamento	51
Figura 27 Colocação das peças de revestimento.....	51
Figura 28 Colocação das peças de revestimento.....	52
Figura 29 Liberação do pavimento permeável para uso	52
Figura 30 Solo compactado com geotêxtil, obra realizada pela Flowin Revestimentos	53
Figura 31 Mistura do agregado graúdo com base epóxi, obra realizada pela Flowin Revestimentos.....	54
Figura 32 Colocação e nivelamento do material, obra realizada pela Flowin Revestimentos.....	54
Figura 33 Teste de permeabilidade do pavimento, obra realizada pela Flowin Revestimentos.....	55

Figura 34 Obra finalizada, realizada pela Flowin Revestimentos	55
Figura 35 Redução da concentração de poluentes em pavimentos permeáveis monitorados.....	56
Figura 36 Elementos do Plano Diretor de Drenagem Urbana	59
Figura 37 Estacionamento comum do Centro Tecnológico	62
Figura 38 Estacionamento comum do Centro Tecnológico	63
Figura 39 Fluxograma para determinação do tipo de pavimento permeável.....	65
Figura 40 Fluxograma para Dimensionamento Hidráulico do Pavimento Permeável	66
Figura 41 Proximidade do prédio de engenharia ambiental e da área de estudo	69
Figura 42 Área do Pavimento Permeável.....	72
Figura 43 Área de contribuição ao Pavimento Permeável	72
Figura 44 Estrutura proposta para o Pavimento Permeável.....	75
Figura 45 Exemplo de reservatório enterrado	76
Figura 46 Dados Climatológicos para Vitória - ES	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos reservatórios de retenção.....	25
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens das trincheiras de retenção e infiltração.....	26
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens das Valas e Valetas de infiltração.	28
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos poços infiltração.	30
Tabela 5 Vantagens e desvantagens dos Telhados Verdes	32
Tabela 6 Vantagens e desvantagens das trincheiras de retenção e infiltração.....	33
Tabela 7 Vantagens e desvantagens dos Jardins de chuva	34
Tabela 8 Comparativo entre tipos de material para camada superficial	40
Tabela 9 Granulometria recomendada para assentamento e material de rejunte para pavimento permeável	41
Tabela 10 Granulometria recomendada base e sub-base	42
Tabela 11 Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis.....	45
Tabela 12 Tabela 12 Comparativo de precipitação mensal na EM de Vitória /ES (Goiabeiras).....	64
Tabela 13 Comparativo de dias chuvosos na EM de Vitória /ES (Goiabeiras).....	64
Tabela 14 Valores de Tempo de Retorno	68
Tabela 15 Valores típicos do coeficiente de Permeabilidade para determinados solos	70
Tabela 16 Grau de permeabilidade em função do Coeficiente de Permeabilidade...	70

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

UFES	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CETESB	COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
PDDU	PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA
ABCP	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
INCAPER	INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL
CT	CENTRO TECNOLÓGICO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 DRENAGEM URBANA	16
3.1.1 Impactos do Desenvolvimento Humano	17
3.1.2 Drenagem Urbana Convencional e Drenagem Urbana Sustentável.....	19
3.1.3 Controle na Fonte	21
3.1.4 Dispositivos da Drenagem Urbana Sustentável.....	22
3.1.4.1 Pavimentos Permeáveis	22
3.1.4.2 Reservatórios de Detenção e Retenção	22
3.1.4.3 Trincheiras de Infiltração.....	25
3.1.4.4 Vala e Valeta de infiltração	27
3.1.4.5 Poço de infiltração.....	29
3.1.4.6 Telhado verde	31
3.1.4.7 Faixa gramada	33
3.1.4.8 Jardins de chuva.....	34
3.2 PAVIMENTO PERMEÁVEL	35
3.2.1 Conceito.....	35
3.2.2 Componentes e Materiais utilizados	37
3.2.2.1 Camada Superior	37
3.2.2.2 Assentamento	40
3.2.2.3 Base e Sub-base.....	41
3.2.2.4 Subleito	42
3.2.2.5 Dispositivos Auxiliares	43
3.2.3 Tipos de Pavimentos Permeáveis segundo a permeabilidade	43
3.2.4 Vantagens e Desvantagens.....	44
3.2.5 Execução	46
3.2.6 Qualidade da água de infiltração	55
3.2.7 Manutenção	56
3.2.8 Aspectos Legais.....	58
4 METODOLOGIA.....	61
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	61
4.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	64
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL	66
4.3	66
4.3.1 Tempo de Retorno	67

4.3.2 Intensidade Máxima da Chuva de Projeto	68
4.3.3 Permeabilidade do Solo	69
4.3.4 Material do Reservatório	71
4.3.5 Porosidade	71
4.3.6 Área do Pavimento Permeável	71
4.4 ESTIMATIVA DE DEMANDA	73
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
5.1 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	74
5.2 ANÁLISE DA POSSÍVEL REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL DO CAMPUS	75
5.2.1 Cálculo da Demanda	75
5.2.2 Volume captado pelo pavimento permeável e Dimensionamento do reservatório externo	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	78
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS	78
REFERÊNCIAS	80
ANEXOS	89

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acelerado da urbanização com o passar dos anos, são notáveis os impactos ambientais causados pelas águas de chuva, transformando ambientes naturais em ambientes impermeáveis e provocando enchentes e inundações.

O número de alterações do solo aumenta por causa da urbanização, e com isso ocorre um acréscimo da impermeabilização, causando então a mudança da drenagem natural das águas pluviais. A retenção e a infiltração da água no solo diminuem e o escoamento superficial aumenta, acarretando em vazões de escoamento pluvial maiores, que são as principais causas de inundações quando os sistemas de drenagem não possuem capacidade para as mesmas (LOURENÇO, 2014).

Segundo Souza e Lima (2019), a drenagem urbana é o meio mais eficiente para o controle de enchentes, sendo feita de maneira correta permite o adequado escoamento das águas pluviais, impedindo grandes inundações. Mas, de acordo com Dias e Antunes (2010), as técnicas de drenagem convencional resolvem apenas o problema hidráulico imediato, direcionando, através dos seus sistemas lineares, o excesso de precipitação para a jusante. Sendo assim, não resolvem o problema do ponto de vista hidrológico.

A partir da década de 1980, tem-se aumentado a preocupação com a destinação das águas pluviais no meio urbano. Desse modo um novo conceito começa a ser aplicado como forma de mitigação dos problemas ocasionados pela chuva: a drenagem sustentável (KOBAYASHI et al., 2008, apud Souza e Lima, 2019). A drenagem sustentável respeita os princípios do ciclo hidrológico, promovendo sua manutenção no tempo, no espaço e preocupa-se com a qualidade da água (DIAS e ANTUNES, 2010).

Dentre algumas técnicas sustentáveis, tem-se os pavimentos permeáveis como medida de controle do escoamento na fonte, sendo este um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através da sua superfície permeável. O objetivo desse dispositivo é tentar fazer com que a água infiltre rapidamente podendo permanecer armazenada em um reservatório ou não (Gutierrez e Ramos, 2017).

Segundo Raimbault (2002), os pavimentos permeáveis possuem funções mecânicas que permitem suportar os carregamentos pelo tráfego de veículos e possui funções hidráulicas que, de acordo com a porosidade do material, conseguem reter diretamente a água pluvial e a do escoamento superficial, drená-la e fazer com que se infiltre no solo. De acordo com Suzuki, Azevedo e Júnior (2013), há algumas limitações como a necessidade de solos profundos (ao se tratar de infiltração total) e a limitação do tráfego, funcionando apenas em locais de tráfego leve. Os pavimentos são importantes formas de controlar o escoamento superficial e assim reduzir o risco de inundações, reduzindo os impactos hidrológicos (Silva e Poletto, 2015). Tem sido cada vez mais comum a inserção de pavimentos permeáveis em Universidades como demonstra os trabalhos de Cabral (2019), Hammes (2017) e Cooper (2013). Na Universidade Federal do Espírito Santo, o futuro prédio da Engenharia Ambiental está em fase de construção, mas como seu projeto inicial não possui solução sustentável de drenagem avalia-se a possibilidade de inclusão de novas sugestões.

Neste contexto, esse trabalho propõe o uso de pavimento permeável como uma medida de controle do escoamento na fonte da referida edificação, bem como avalia o potencial de retenção e aproveitamento da água armazenada no dispositivo (pavimento permeável) para que seja possível reduzir o uso de água potável na edificação nas áreas que não necessitam a potabilidade da água, como limpeza ou o uso em vasos sanitários por exemplo.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo propor um sistema de pavimento permeável e avaliar o potencial do pavimento reter a água pluvial para aproveitamento em fins não potáveis, contribuindo para uma gestão e um planejamento sustentável.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Definir e dimensionar um Pavimento Permeável no estacionamento do Centro Tecnológico para atender a Engenharia Ambiental na qual também é um prédio do CT da UFES;
- Avaliar a demanda de água não potável para utilização de sanitários do prédio de engenharia ambiental da UFES;
- Avaliar o Potencial de Aproveitamento de água do Pavimento Permeável.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se o referencial teórico que envolve o tema de discussão deste trabalho. São abordados os principais conceitos a respeito de drenagem urbana, desde os impactos do desenvolvimento da urbanização até a drenagem sustentável, bem como seus dispositivos. Também são apresentados conceitos do controle da drenagem na fonte, seus aspectos legais e um aprofundamento no tema de pavimentos permeáveis.

3.1 DRENAGEM URBANA

Para Jabôr (2020), o sistema de drenagem urbana é composto por dispositivos que tem como propósito captar e conduzir a água em excesso para um local adequado, para preservar a segurança da população e garantir um melhor funcionamento do meio ambiente. Tucci (2001) segue a mesma linha, conceituando a drenagem urbana como um conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos que as populações estão sujeitas e diminuir os prejuízos causados por inundações, possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica e sustentável.

As águas em excesso podem ser ocasionadas por dois motivos: de forma natural ou por mudanças do equilíbrio do ciclo ecológico. A forma natural ocorre por meio de inundações de áreas ribeirinhas, tratando-se de uma inundação que ocorre no leito maior do rio, área normal em que o rio pode subir de nível. Já as mudanças do equilíbrio do ciclo ecológico ocorrem devido à urbanização, que causa a ocupação de área imprópria, impermeabilização do solo, poluição, canalização e falta de planejamento (TUCCI e BERTONI, 2003).

Ainda de acordo com Tucci e Bertoni (2003), os sistemas de drenagem podem ser separados em três tipos: na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte, que será mais aprofundada no item 3.1.3, é definida pelo escoamento que ocorre no empreendimento estudado. A microdrenagem é projetada para atender à drenagem de precipitações com risco moderado, trata-se de um sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou rede primária urbana. A macrodrenagem envolve áreas maiores de pelo menos 2 km² ou 200ha - estes valores não devem ser

tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações – é um sistema projetado para acomodar precipitações superiores as da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

Se o desenvolvimento humano não for acompanhado de um sistema de drenagem qualificado, ocasiona-se impactos negativos, estes serão abordados no próximo tópico.

3.1.1 Impactos do Desenvolvimento Humano

Segundo Tucci, Porto e Barros (1995), em razão das maiores oportunidades de trabalho e melhoria na qualidade da educação, saúde e cultura ocorreu-se o êxodo rural, com o deslocamento da população da área rural para a área urbana nas regiões desenvolvidas. Esse aumento populacional em pequenas áreas em conjunto com o mal planejamento acarretou grandes consequências ao meio ambiente.

Dentre as consequências, é importante ressaltar: a substituição de superfícies permeáveis e rugosas por superfícies menos permeáveis ou impermeáveis e com rugosidades menores, deterioração da qualidade das águas e enchentes (CAMPANA, 1995).

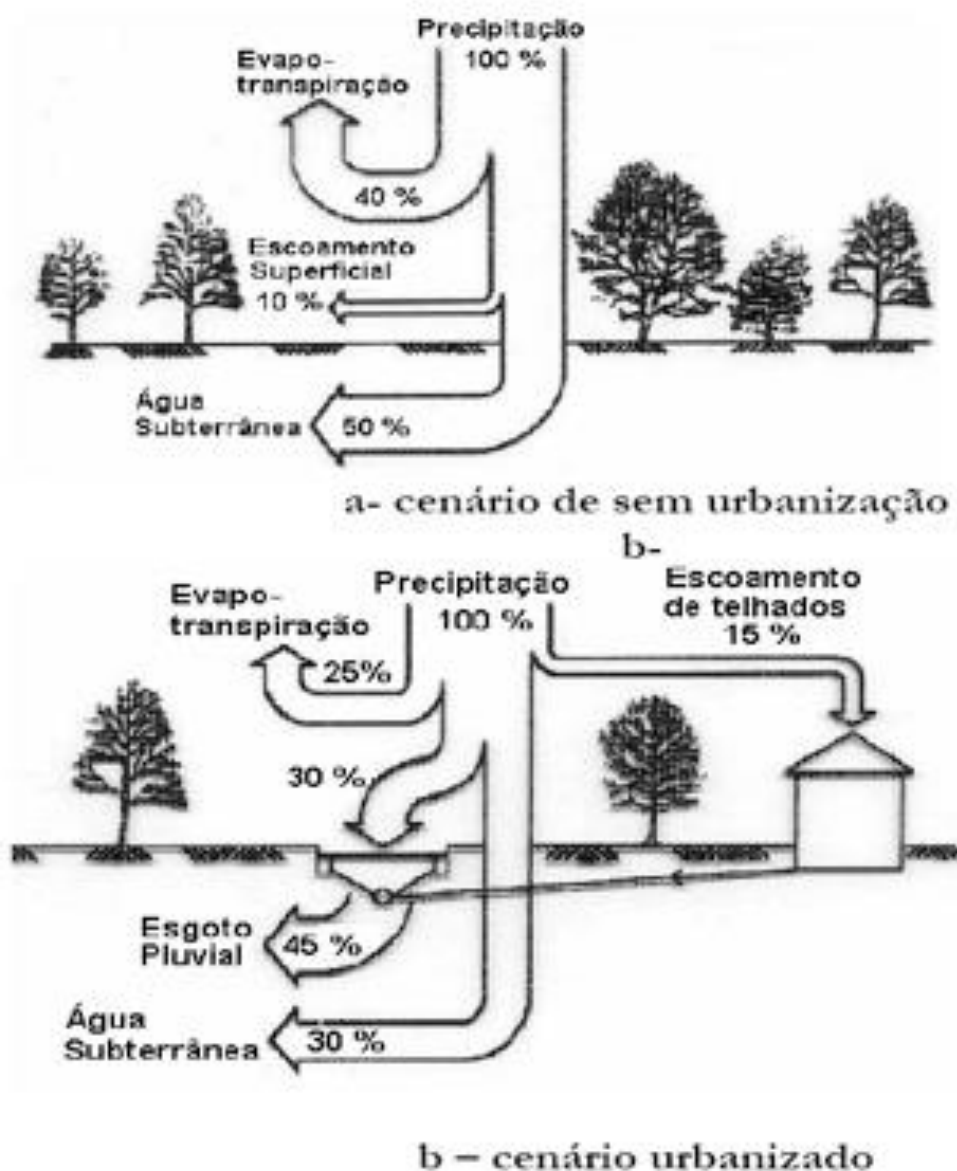
A substituição da superfície permeável para uma superfície impermeável, aumenta o escoamento superficial, visto que o volume que deixa de infiltrar fica na superfície e pode acarretar em enchentes. As enchentes são muito perigosas, pois podem desabrigar milhares de pessoas, gerar altos prejuízos econômicos e desenvolver doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose e malária, e além daqueles relativos à produção e transportes de cargas difusas de poluição que podem prejudicar os corpos de água, deteriorando a qualidade das águas (Porto, 2001).

Campana (1995), resume o impacto da urbanização sobre o escoamento:

Na bacia em seu estado natural, isto é, antes do processo de ocupação do solo, o escoamento gerado pela precipitação é retido pela vegetação, uma parte infiltra e o excedente esco sobre a superfície do terreno gerando um hidrograma de variação lenta e com picos de enchentes moderados. Com a urbanização, a introdução de superfícies impermeáveis na bacia inibe a infiltração, e acelera o escoamento. Assim, a fração da precipitação que esco superficialmente é maior. Também, com a retificação e impermeabilização dos canais naturais e a incorporação de superfícies impermeáveis e menos rugosas, a velocidade do escoamento tanto na bacia como nos canais aumenta, reduzindo o tempo de resposta da bacia. (CAMPANA, 1995, p.1)

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que modificam o ciclo hidrológico natural. Na Figura 1 é apresentado o efeito devido a urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico.

Figura 1 - Ciclo hidrológico pré e pós urbanização.



Fonte: OECD, 1986, apud Tucci e Bertoni, 2003.

Segundo Oliveira (2018), os alagamentos podem causar problemas econômicos e sociais, chegando a paralisar a cidade, afetando nas atividades comerciais e provocando danos à infraestrutura e perdas materiais, propagação de

doenças e em casos mais graves, o desalojamento e perda de vidas. A desvalorização imobiliária, diminuição da qualidade de vida e a redução do valor ambiental são sequelas dessas áreas onde ocorrem tais degradações urbanas e ambientais (apud CAUDURO et al, 201?).

Para Tominaga (2013), outra sequela causada pela urbanização é a deterioração da qualidade das águas que ocorre por: ligações clandestinas da rede de esgoto na rede de águas pluviais, resíduos sólidos descartados de forma indevida e pela lavagem das superfícies urbanas pelas águas da chuva. Tais ações geram uma carga de poluentes bastante significativa, podendo ser superior às encontradas nos esgotos domésticos.

Portanto há um interesse crescente em estudar meios para mitigar os efeitos causados pelo mau planejamento da drenagem urbana, utilizando-se de dispositivos que controlem esses impactos causados no meio ambiente. Estes serão estudados no tópico 3.1.4.

3.1.2 Drenagem Urbana Convencional e Drenagem Urbana Sustentável

Toda cidade precisa ter um bom planejamento de drenagem para evitar as consequências causadas pelo excesso de águas de chuva. Por isso torna-se cada vez mais importante estudar sistemas de drenagem mais eficientes. Apresenta-se a seguir a evolução de sistemas de drenagem no decorrer do tempo.

O sistema de drenagem urbana convencional, conhecido como higienista baseia-se no rápido escoamento do excesso pluvial. Isso acarreta em um acréscimo nos volumes e vazões de pico de água e na diminuição do tempo de escoamento. (Ministério das Cidades, 2017, apud RAMOS, 2018, p. 02). Esse rápido escoamento busca preservar a saúde e o bem estar da população, ao acabar com odores e degradação da paisagem ocasionados pela água parada (JONES e MacDONALD, 2007, apud AGOSTINHO e POLETO, 2012, p.03).

Por mais que o sistema pareça ser uma boa proposta, não se prevê o impacto provocado à jusante nessa busca por canalizações, visto que o problema de enchentes e erosões é retirado do local em que o sistema é implementado e transportado para outras regiões (AGOSTINHO e POLETO, 2012, p.03).

Tendo como base a restauração do ciclo hidrológico e assim permitir a permeabilidade do solo, a partir de 1980 alguns países desenvolveram sistemas de

drenagem alternativos, tornando possível melhorar a gestão dos recursos hídricos regionais (LOURENÇO, 2014; KOBAYASHI et al., 2008, apud Souza e Lima, 2019). Dentre esses sistemas tem-se o SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems, que significa Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Esse sistema originou-se no Reino Unido, sendo um conjunto de técnicas sustentáveis usadas na gestão das águas pluviais como alternativa ao sistema tradicional de drenagem (LOURENÇO, 2014).

O sistema de drenagem sustentável tem como objetivo controlar a qualidade da água pluvial, prevenir a poluição das águas, controlar o risco de inundações, manter o ciclo natural da água, melhorar o ambiente para os indivíduos e manter lugares melhores no meio ambiente (Ricardo 2016, apud RAMOS e PEDROZO, 2018). A mudança de paradigma do sistema de drenagem convencional para o sustentável pode ser expressa no infográfico apresentado na Figura 2:

Figura 2 - Evolução do manejo das águas.



Fonte: Tominaga, 2013.

Para Christofidis *et al* (2019), esse sistema trouxe várias evoluções, dentre elas: o controle na fonte, que será tratado no tópico a seguir, solucionando a questão de transportar os problemas de inundações para outra área; e a introdução de dispositivos de drenagem, visando a redução da interferência no ciclo hidrológico da água.

3.1.3 Controle na Fonte

Conforme apresentou-se anteriormente, os sistemas de drenagem convencionais tendem a aumentar a frequência de enchentes por ter como princípio básico a transferência rápida de águas para a jusante. Nesse sentido, as técnicas de controle na fonte vieram como uma evolução do sistema de drenagem, porque, diferentemente do sistema convencional, colaboram para sustentabilidade do sistema como um todo.

Para Suderhsa (2002, apud ACIOLI, 2005,) as técnicas alternativas dividem-se em dois grupos que seguem os seguintes princípios básicos: os dispositivos de infiltração, que visam reduzir o escoamento superficial a jusante por meio de infiltração no solo; e os dispositivos de retenção e detenção que tem como objetivo controlar o escoamento superficial, reduzir as vazões máximas e limitar a poluição a jusante através do armazenamento provisório da água da chuva. Conforme Tominaga (2013), as técnicas de controle na fonte tornam-se importantes também para o abatimento da poluição hídrica, pois ao reter a água pluvial consequentemente retem sólidos aos quais grande parte dos poluentes encontram-se associados.

A finalidade das alternativas comentadas é compensar os impactos causados pela urbanização e favorecer os processos hidrológicos, isto é, busca-se a reconstituição das condições pré-ocupação. Os dispositivos que recuperam de forma mais efetiva essas condições são os de infiltração, visto que as estruturas de detenção e retenção efetuam somente função de amortecimento das águas pluviais (ACIOLI, 2005).

Para Tominaga (2013), o controle na fonte deve fazer parte do planejamento de um sistema de drenagem. Em locais em que a ocupação já esteja consolidada, essas medidas devem ser implantadas para aumentar a capacidades do sistema pré-existente. Conforme o mesmo autor, as ideias do controle na fonte baseiam-se na melhoria da qualidade da água, através da utilização das técnicas não estruturais (leis, normas e diretrizes) e estruturais (obras de engenharia, dispositivos). As medidas estruturais adotadas para compensar esses impactos podem ser de pequeno e médio porte, como obras pontuais ou lineares, e também há intervenções em grandes áreas

para controle de escoamento, como as bacias de detenção, retenção e infiltração. As técnicas estruturais e não estruturais serão aprofundadas nos tópicos seguintes.

3.1.4 Dispositivos da Drenagem Urbana Sustentável

O conceito de Drenagem Urbana Sustentável trouxe dispositivos de drenagem na fonte com o objetivo de minimizar os impactos no meio ambiente e tornar o ciclo da água mais próximo do natural, reduzindo os riscos de alagamento. Agostinho e Poletto (2012) cita alguns tipos de sistema sustentáveis (SUDS), dentre eles: pavimento permeável e semipermeável, reservatórios de detenção e retenção, trincheiras de infiltração, vala e valeta de infiltração, poço de infiltração, telhado verde e faixa gramada. Tominaga (2013) ainda cita os jardins de chuva como um sistema sustentável. Neste tópico apresenta-se as principais características destes sistemas.

3.1.4.1 Pavimentos Permeáveis

O pavimento permeável é uma alternativa de dispositivo de infiltração, onde através de uma superfície permeável o escoamento superficial é filtrado e desviado para uma superfície granular (URBONAS e STAHRÉ, 1993, apud AGOSTINHO e POLETO, 2012, p.122). Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2011), estes pavimentos podem reduzir o escoamento superficial em até 100% e a erosão do solo pois retarda a chegada da água ao subleito, em função da intensidade da chuva. A camada de base granular ainda funciona como um filtro para a água da chuva, reduzindo a sua contaminação. Esse dispositivo será aprofundado no tópico 3.2.

3.1.4.2 Reservatórios de Detenção e Retenção

Os reservatórios de detenção e retenção, como o próprio nome sugere, são dispositivos utilizados para reter as águas da chuva, contribuindo para o amortecimento do pico de cheia. A água armazenada pode ser utilizada para outros fins como: irrigação de jardins e lavagens de superfície (TOMINAGA, 2013). Para

Poleto e Tassi (2011), outra vantagem desse dispositivo é que o mesmo pode ser instalado em áreas públicas como praças, quadras e parques.

Para Cruz, Tucci e Silveira, (1998), o principal problema desse dispositivo é a manutenção, já que acumula muitos resíduos sólidos que podem ser carregados pela chuva até o reservatório. Há então uma necessidade de limpeza periódica, evitando-se a perda de eficiência em reter o volume de água pluvial. Justamente por causa do trabalho gerado pela limpeza, segundo Parkinson et al (2003), os reservatórios de detenção fechados apresentam um custo sete vezes maior do que os reservatórios abertos.

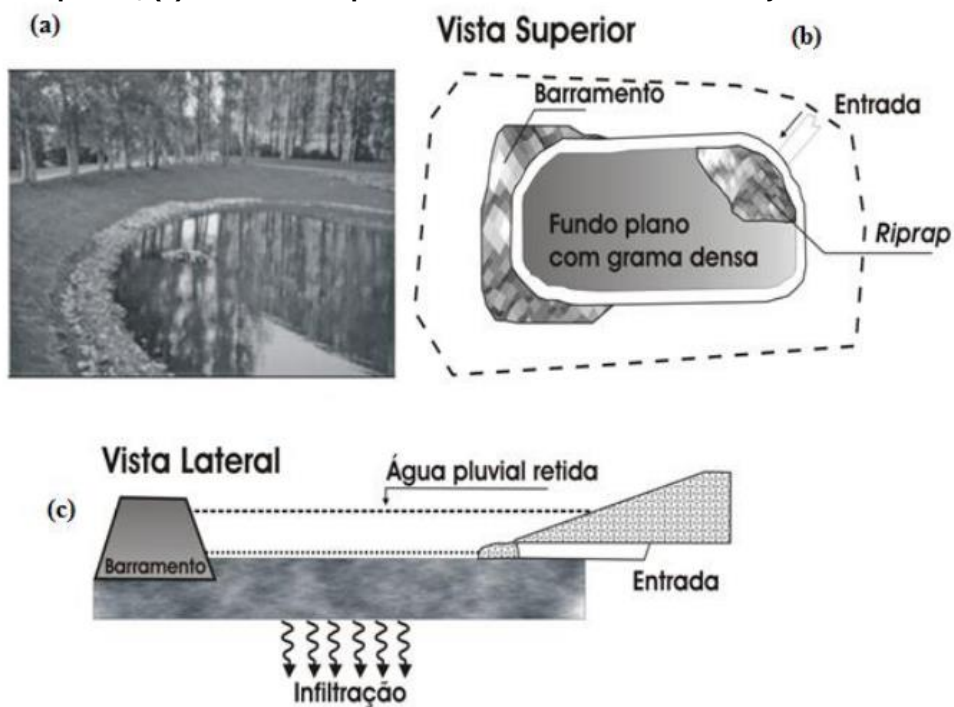
Os reservatórios variam de tamanho e o custo do reservatório varia conforme tipo e volume. Os micro reservatórios, representado na Figura 3, podem ser implantados no lote e utiliza-se a água para o uso residencial. Há também reservatórios maiores como as bacias de retenção, representada na Figura 4, muitas vezes são utilizadas em parques pelo plano de manejo de águas do local, como exemplo tem-se a Bacia do Parque São Lourenço em Curitiba – Figura 5.

Figura 3 – Micro reservatórios residenciais.



Fonte: Tominaga, 2013.

Figura 4 - (a) Foto de uma bacia de retenção; (b) Desenho esquemático de uma bacia de retenção em planta; (c) Desenho esquemático de uma bacia de retenção em corte.



Fonte: Tassi e Poletto, 2009.

Figura 5 - Bacia no Parque São Lourenço em Curitiba.



Fonte: Plano de Manejo do Parque São Lourenço, 2009, apud Pedrozo et al, 2018.

Na Tabela 1 encontra-se resumidamente as vantagens e desvantagens desse dispositivo.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos reservatórios de detenção.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
A água armazenada pode ter outras finalidades como: lavagem de carro, calçada, irrigação de jardim, proteção contra fogo, etc.; Contribui para o amortecimento do pico de cheia, ou seja alivia o sistema de drenagem na jusante; Pode-se ocupar pequenas áreas, no caso de reservatórios enterrados por exemplo.	Manutenção, necessidade de limpeza periódica; Deve-se atentar para as restrições de acesso no caso de reservatórios fechados; Custo alto de reservatórios enterrados. No caso de reservatórios abertos o custo é menor porém há uma maior preocupação com a limpeza.

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.1.4.3 Trincheiras de Infiltração

Esses dispositivos caracterizam-se por apresentar uma estrutura linear, ou seja, o comprimento sobressai sobre a largura e a profundidade. Tem como objetivo principal a infiltração e armazenagem das águas pluviais e pode ser implantada superficialmente ou nas profundidades, isso dependerá da quantidade de água que irá escoar. Com relação a aplicabilidade, torna-se uma estrutura muito versátil, pois pode ser implantada em canteiros centrais, jardins, terrenos esportivos e áreas verdes em geral (BAPTISTA *et al*, 2005, apud TOMINAGA, 2013).

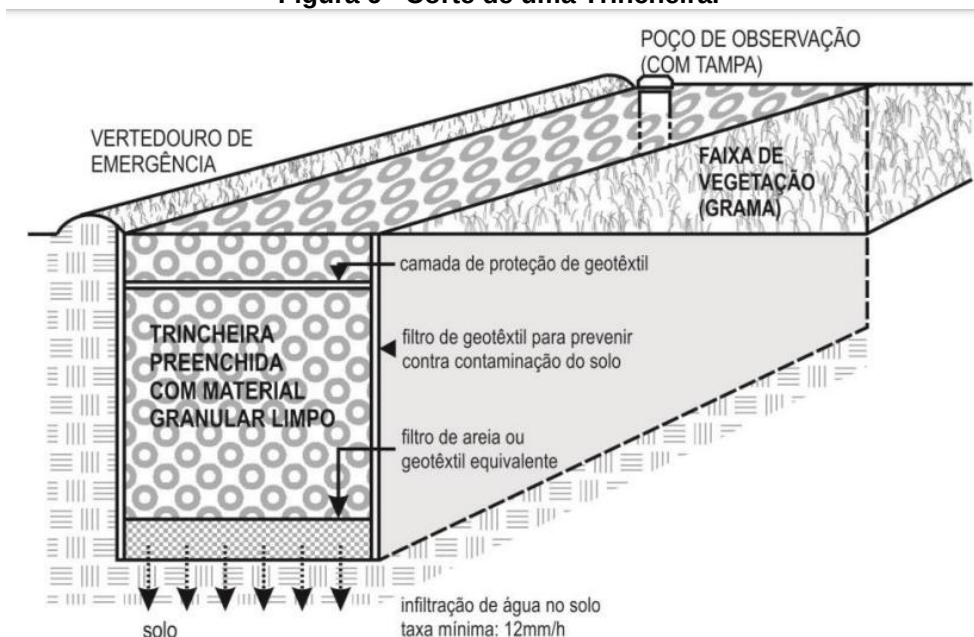
Para Silva (2007), a geometria depende da infiltrabilidade do solo e da área disponível para colocação. A trincheira pode ser projetada priorizando a armazenagem, infiltração ou ambos. Normalmente, utiliza-se em locais que recebem um grande volume de água de chuva, e por se tratar de uma estrutura fechada, permite a harmonia paisagística no local de implantação.

Segundo Schueler (1987), além das vantagens já mencionadas, as trincheiras apresentam grande eficácia na remoção de poluentes de material fino. Nas áreas onde irão receber uma carga elevada de sedimentos, aconselha-se a colocação de caixas de sedimentação a montante do aparelho (apud TOMINAGA, 2013).

Para regiões cujo solo apresenta baixa permeabilidade e risco imediato de contaminação das águas subterrâneas, aconselha-se o uso de trincheiras de retenção em que não há infiltração de água e o esvaziamento se dá por meio de um sistema de drenagem. Já nas trincheiras de infiltração, que também servem para diminuir a poluição do solo, a evacuação é feita pela percolação da água no solo (TOMINAGA, 2013).

Na Figura 6 está apresentado o corte de uma trincheira. Observa-se que a mesma é composta por material grosseiro, como britas, seixos ou pedras de mão. As trincheiras de retenção devem ser revestidas por um material impermeável, recomenda-se a utilização de manta geotêxtil para que a passagem de finos seja evitada (TOMINAGA, 2013).

Figura 6 - Corte de uma Trincheira.



Fonte: Tominaga, 2013.

Na Tabela 2, resume-se as vantagens e desvantagens desse dispositivo.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens das trincheiras de retenção e infiltração.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração;	Manutenção; Deve-se atentar para as restrições de eficiência em áreas com declividade acentuada;

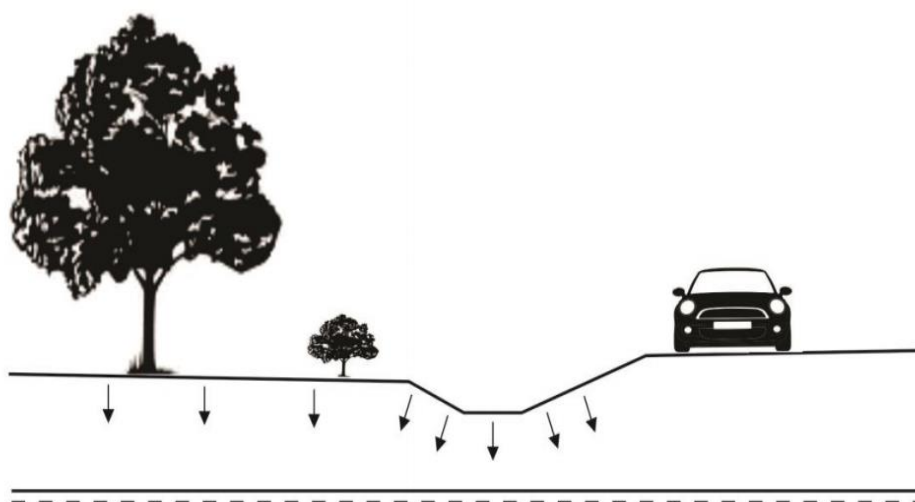
Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas; Harmonização do ambiente, por se tratar de uma estrutura fechada com pedras; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtragem; Vesatilidade do local de implantação.	Risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas no caso das trincheiras de infiltração.
---	---

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.1.4.4 Vala e Valeta de infiltração

Segundo Tominaga (2013), esses dispositivos apresentam um projeto bem fácil de ser executado por ser constituído apenas de depressões escavadas no sol. Tem como finalidade reter temporariamente as águas de chuva, bem como filtrá-las e reter os poluentes. A seguir, na Figura 7, demonstra-se um esquema de vala vegetada.

Figura 7 – Esquema de uma Vala vegetada.



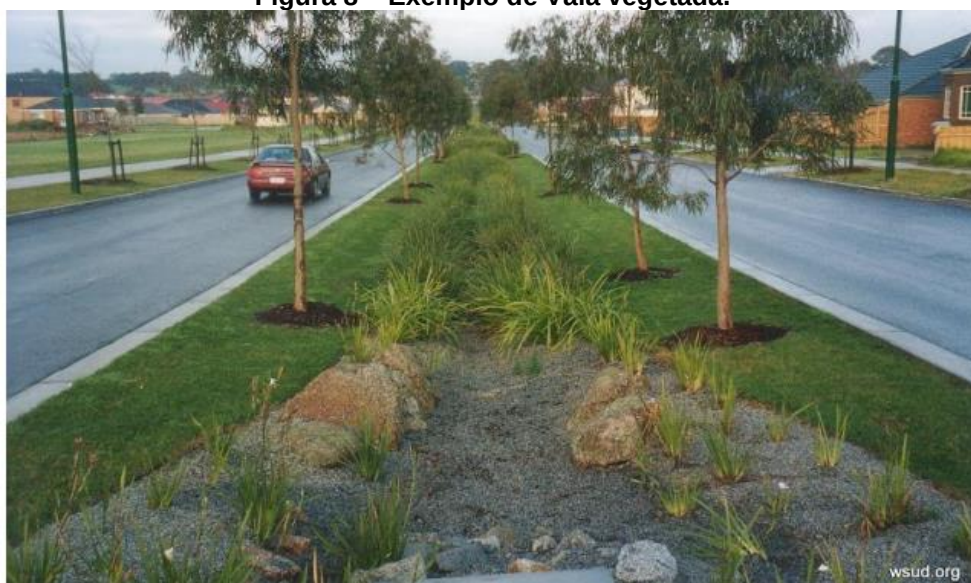
Fonte: Tominaga, 2013.

As depressões são lineares e devem ser efetuadas em terrenos permeáveis, geralmente apresentam uma cobertura constituída por grama. As valas também

protegem o solo contra erosão por exercerem a função de pequenas barragens de desaceleração das águas (AGOSTINHO e POLETO, 2012). As valas diferenciam-se das valetas pela profundidade: as valas possuem grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal, já as valetas possuem pequenas profundidades (BRITO, 2006).

Esses dispositivos, como as trincheiras de infiltração, contribuem para a harmonia do ambiente e podem ser facilmente implantados em vários locais, como estacionamentos, em paralelo a ruas, rodovias e estradas, conforme apresentado na Figura 8 (TOMINAGA, 2013).

Figura 8 – Exemplo de Vala vegetada.



Fonte: Wsud.org apud Tominaga, 2013.

As vantagens e desvantagens desses dispositivos estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens das Valas e Valetas de infiltração.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração; Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas;	Manutenção; Deve-se atentar para as restrições de eficiência em áreas com declividade acentuada; Risco de contaminação das águas subterrâneas, é necessário manter uma

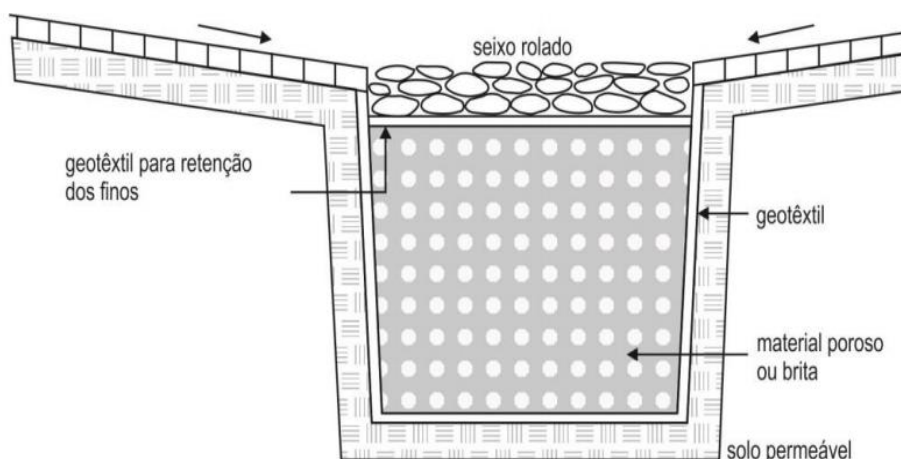
Harmonização do ambiente, por se tratar de uma estrutura fechada com pedras ou grama; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtragem; Versatilidade do local de implantação.	distância vertical de no mínimo um metro da zona saturada; Possibilidade de estagnação das águas e proliferação de vetores, além do mal cheiro causado nesse caso.
--	--

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.1.4.5 Poço de infiltração

Trata-se de um dispositivo com a configuração muito semelhante à da trincheira de infiltração, porém com uma estrutura diferente. Para Reis *et al* (2008), são dispositivos bem pontuais que tem como objetivo a infiltração da água para dentro do solo. Com relação ao preenchimento, pode ser de brita, além de um revestimento de tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo envolto por uma manta geotêxtil para retenção de finos.

Conforme Tominaga (2013), os poços de infiltração, cujo esquema está representado na Figura 9, possuem a capacidade de drenar pequenas e grandes áreas. Utiliza-se essa estrutura para recarregar aquíferos em locais em que o solo possui alta permeabilidade. Detém de grande versatilidade no local de aplicação, já que, dependendo do projeto, ocupa pequenos espaços e são bem discretos. Para Baptista *et al* (2005), a capacidade de armazenamento dos poços de infiltração é pequena, mas podem ser utilizados como complemento de outras medidas de controle na fonte, servindo de exultório de bacias de retenção por exemplo.

Figura 9 - Esquema de poços de infiltração.

Fonte: Tominaga, 2013.

As vantagens e desvantagens desses dispositivos estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos poços infiltração.

VANTAGENS	DESvantagens
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração; Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas; Harmonização do ambiente, aumentando as áreas verdes; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtração; Versatilidade do local de implantação; Baixo custo de projeto e construção.	Manutenção; Deve-se atentar para as restrições de eficiência em áreas com declividade acentuada; Risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas, é recomendado manter uma distância vertical de pelo menos um metro da zona saturada; Possibilidade de estagnação das águas e proliferação de vetores, além do mal cheiro causado nesse caso.

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.1.4.6 Telhado verde

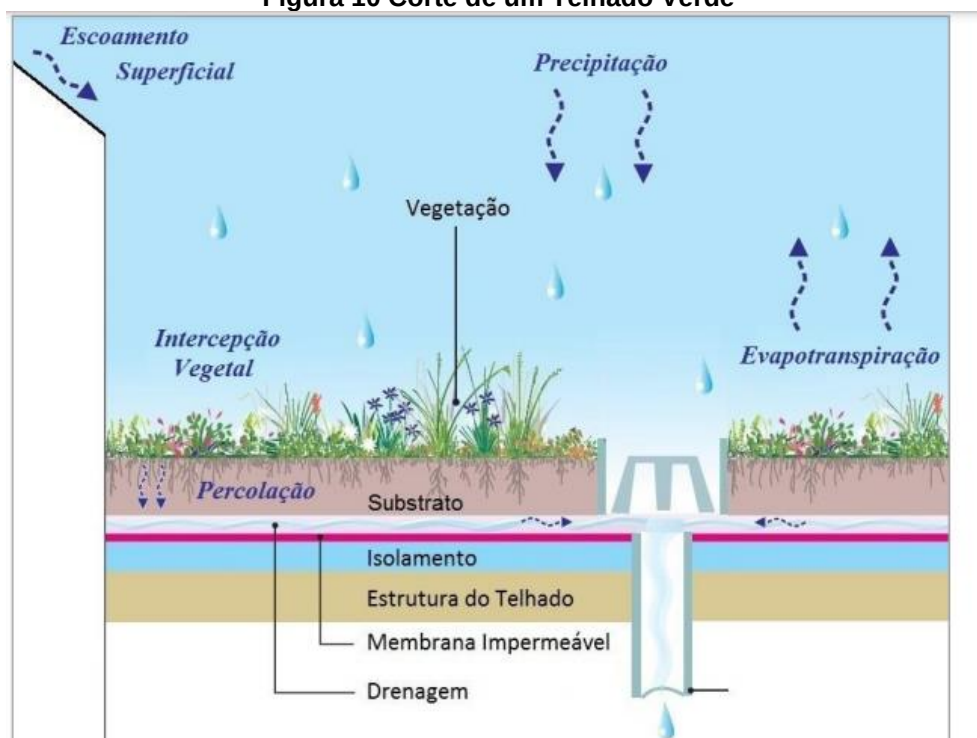
Conforme Heneine (2008, apud AGOSTINHO e POLETO, 2012), os telhados verdes são constituídos de uma cobertura verde formada por vegetação e solo plantada sobre uma superfície impermeável. O sistema também conta com drenagem e um sistema de irrigação.

Os telhados verdes têm como objetivo desafogar os sistemas convencionais de drenagem, pois são capazes de reter temporariamente os volumes precipitados e lentamente ir escoando para o sistema de drenagem, pode-se considerar que uma pequena parcela, através do processo de evapotranspiração, volta para atmosfera. Sendo assim, essa metodologia contribui para a redução dos efeitos causados pela impermeabilização do solo (TOMINAGA, 2013).

Segundo Costa *et al* (2011 apud AGOSTINHO e POLETO, 2012), essa alternativa ameniza o calor nas edificações e, conseqüentemente, reduz a necessidade de refrigeração gerando benefícios econômicos. No que diz respeito ao estilo de plantio, tem-se dois enfoques: o intensivo e o extensivo, se diferenciam pela profundidade da camada do solo. O estilo intensivo, necessita de mais solo, sendo mais profundo e acomodando plantas maiores como árvores, o que aumenta a carga sobre a estrutura, já o tipo extensivo, necessita de pouco solo e é composto por plantas rasteiras e gramados.

Para Tominaga (2013), a eficácia dessa estrutura está diretamente relacionada com os materiais utilizados na composição dos telhados verdes. A Figura 10 a seguir apresenta um corte que demonstra as camadas que compõe esse dispositivo.

Figura 10 Corte de um Telhado Verde



Fonte: Tominaga, 2013.

A seguir são listadas as vantagens e desvantagens do dispositivo, na Tabela 5:

Tabela 5 Vantagens e desvantagens dos Telhados Verdes

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração; Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas; Harmonização do ambiente, aumentando as áreas verdes; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtragem; Ameniza o calor nas edificações gerando benefícios econômicos; Possibilidade de implantação em edificações já existentes.	Quando implantados em edificações já existentes, necessitam de uma verificação da estabilidade estrutural; Deve-se atentar para as restrições de eficiência em áreas com declividade acentuada; Aumento da manutenção, comparado a telhados tradicionais; Volume da água armazenada depende da área do telhado; Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas.

--	--

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.1.4.7 Faixa gramada

A faixas gramadas nada mais são do que faixas no chão gramadas, locais reservados para conter solo permeável (gramado). Segundo Silveira (2002), tem como objetivo principal desacelerar e infiltrar parcialmente os escoamentos das águas pluviais acumuladas pelas superfícies impermeáveis. Portanto funcionam como escape para enchentes.

Além disso apresenta um aspecto visual favorável, pois aumenta a área verde do local. Outra vantagem é a versatilidade da implantação, podendo ser construídas em parques, quadras, etc.

Na Tabela 6 a seguir, apresenta-se as vantagens e desvantagens desse sistema:

Tabela 6 Vantagens e desvantagens das trincheiras de retenção e infiltração

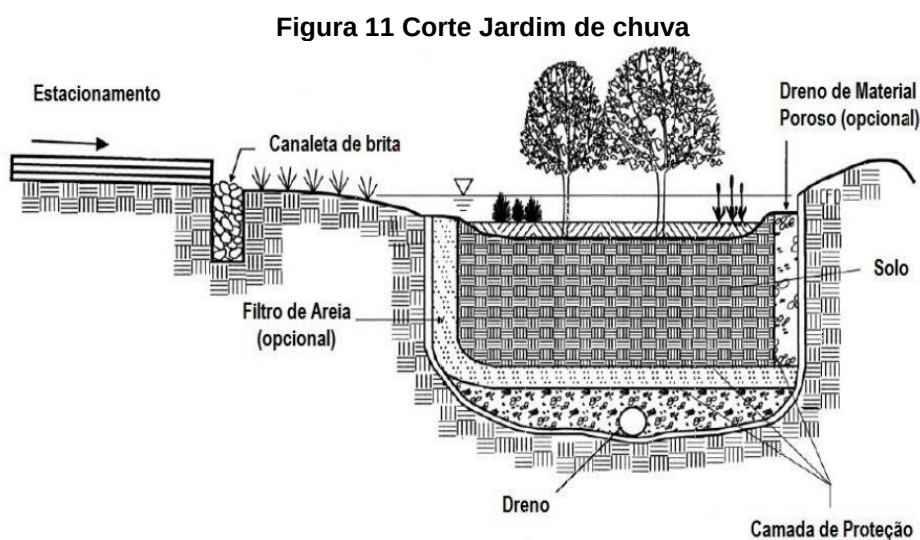
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração; Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas; Harmonização do ambiente, por aumentar a área verde do local; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtração; Versatilidade do local de implantação.	Manutenção do gramado.

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.1.4.8 Jardins de chuva

Para Tominaga (2003), os jardins de chuva são estruturas pouco profundas o que torna possível a implantação em locais próximos a estacionamentos, praças, áreas residenciais e comerciais. São utilizados normalmente em áreas pequenas para que não ocorra o risco de haver colmatagem da estrutura.

Segundo o mesmo autor, essa estrutura tem como objetivo limpar as águas do escoamento superficial, através da infiltração além de contribuir para redução dos picos de cheia ou diminuir os volumes escoados, no caso de estruturas infiltrantes. As águas filtradas são introduzidas diretamente no solo ou conduzidas para o sistema de drenagem comum. Para melhor compreensão na Figura 11, representa-se um corte de um jardim de chuva.



Fonte: MDE,200 apud TOMINAGA, 2013.

Na tabela 7 a seguir, representa-se as vantagens e desvantagens desse sistema:

Tabela 7 Vantagens e desvantagens dos Jardins de chuva	
VANTAGENS	DESvantagens
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração;	Manutenção;

Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas; Harmonização do ambiente, por aumentar a área verde do local; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtragem; Vesatilidade do local de implantação. Podendo ser construída em áreas densamente impermeabilizadas, como estacionamentos.	Impossibilidade de utilização para grandes áreas de contribuição, por ser uma estrutura pouco profunda; O custo é maior que outras medidas de controle; Suscetível a colmatção.
---	--

Fonte: Adaptado Tominaga, 2013.

3.2 PAVIMENTO PERMEÁVEL

O presente trabalho tem como objetivo o dimensionamento de um pavimento permeável em uma edificação, por isso nesse tópico realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o tema: Pavimentos Permeáveis. Será comentado desde o conceito até os componentes e materiais utilizados. No final do tópico ainda será abordada as vantagens e desvantagens da técnica, a manutenção da mesma e os aspectos legais envolvidos.

3.2.1 Conceito

O Pavimento Permeável é um dispositivo de infiltração que tem como principal objetivo desviar o escoamento superficial para dentro de um reservatório granular localizado sob a superfície do terreno (Urbonas e Stahre, 1993; Freni et al., 2010 apud, COUTINHO, 2011). A água pluvial infiltra, através das camadas do pavimento, e é armazenada temporariamente, podendo ser aproveitada, infiltrar no solo ou ser escoada de forma controlada a jusante (CIRIA, 2015). Segundo Ferguson (2005), a estrutura dos pavimentos permeáveis além de atender aos carregamentos do tráfego, possui vazios que proporcionam a passagem da água. Ou seja, esse dispositivo serve

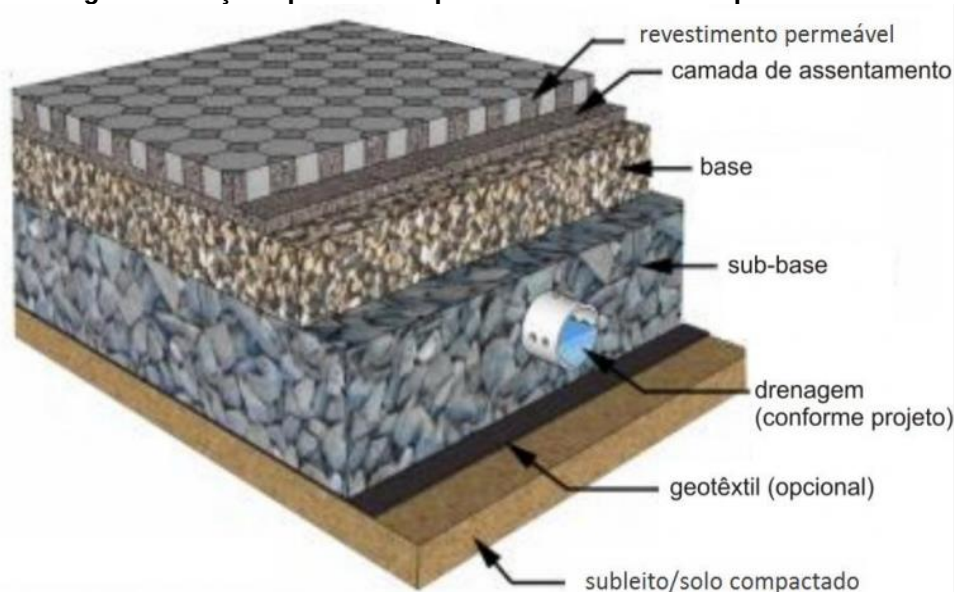
tanto de via para tráfego de pessoas, estacionamentos etc., bem como dispositivo de drenagem.

Normalmente utiliza-se essa técnica em sistemas de microdrenagem completa, os pavimentos podem servir como filtros, através do material granular, para infiltrações diretas nos solos subjacentes ou então como bacia de retenção, captando água para outro sistema de drenagem. (BALBO, 2020). A característica filtrante dos pavimentos acarreta em uma melhoria da qualidade da água, visto que o escoamento superficial de vias urbanas representa uma importante fonte de poluição de rios e lagos. (RAMOS et al., 1999).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2011), os pavimentos colaboram para a diminuição de superfícies impermeáveis. Normalmente exige-se pelas prefeituras que uma parcela do terreno seja mantida livre de pavimentação, essa área varia entre 15% a 30% do terreno. Os pavimentos permeáveis são uma alternativa para manter a área útil do terreno e ao mesmo tempo atender a legislação e é indicado para áreas como: galpões; pátios; áreas industriais; ruas com tráfego leve; condomínio e conjuntos habitacionais; calçadas; praças e estacionamentos.

Segundo o mesmo autor ao dimensionar-se um pavimento permeável deve-se levar em conta alguns aspectos, como: a precipitação da região, as características de permeabilidade e suporte do solo e o nível do lençol freático. É importante ressaltar que não é só o revestimento que deve ser permeável e sim o sistema como um todo. Para Oliveira, 2018, a seção típica de um pavimento permeável é composta pelo subleito, camada de solo do local, sub-base, base e revestimento. A seguir na Figura 12, apresenta-se a seção típica de um pavimento de concreto permeável:

Figura 12 Seção típica de um pavimento de concreto permeável



Fonte: Oliveira, 2018.

3.2.2 Componentes e Materiais utilizados

A escolha dos materiais é feita através da espessura máxima aceitável da estrutura, com o objetivo de economizar e também suprir a norma.

3.2.2.1 Camada Superior

O material da camada superior deve ser escolhido em função do uso e da capacidade de infiltração, visto que deverá suportar os esforços de tráfego e também ser permeável. Como o pavimento permeável provavelmente será executado na área externa, deve-se levar em conta a estética do material superficial escolhido.

Urbonas e Stahre, 1993 (apud Acioli, 2005) cita alguns materiais que podem ser utilizados na camada superior:

- Asfalto poroso;
- Concreto poroso;
- Blocos de concreto vazado.

A diferença entre o asfalto poroso e concreto poroso dos pavimentos tradicionais são que em sua composição não apresenta agregados finos, para que haja maior porosidade necessária para a infiltração da água.

Azzout *et al.* (1994), Raimbault *et al* (1987, apud ACIOLI, 2005)., afirmam que o mínimo de porosidade útil que um asfalto drenante deve possuir é de 12%, a porcentagem total de vazios deve ser de aproximadamente 20% e a condutibilidade hidráulica do asfalto deve ser superior a 1 cm/s.

os blocos vazados são blocos convencionais de concreto com vazios que podem ser preenchidos por areia, cascalho ou gramas. Estes, devem ser assentados da mesma forma que os convencionais maciços, mesmo possuindo aberturas em sua estrutura. Pelo menos 20% da área superficial dos blocos deve ser vazada. (UDFCD 2002, apud ACIOLI, 2005).

Na Figura 13 estão apresentados respectivamente exemplos de alguns materiais permeáveis.



Fonte: Adaptado de Oseki, 2017.

Pode-se utilizar também pisos monolíticos naturais para a camada superficial, como exemplo da Figura 14 que apresenta um pavimento permeável composto por piso monolítico

Figura 14 Pavimento permeável constituído de piso monolítico drenante - Desert 2, obra realizada pela Flowin Revestimentos.



Fonte: Autor, 2021.

Na Tabela 8 representa-se um comparativo entre alguns materiais utilizados para camada superficial:

Tabela 8 Comparativo entre tipos de material para camada superficial

Material Critérios	Solo natural	Blocos Vazados	Asfalto poroso	Concreto poroso	Revestimento impermeável
Tipo de uso*	Praças Estacionamentos Vias de pedestres Quadras esportivas	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*	Varia de acordo com o material	Média	Boa	Boa	Nula
Aspecto visual*	Rústico	Bom, com possibilidade de variação de cores	Semelhante ao asfalto comum	Semelhante ao concreto comum	
Periodicidade de manutenção*	6 meses	6 meses a 1 ano	Varia de acordo com o uso (6 meses a 2 anos)	6 meses a 2 anos	Depende do local
Custo de implantação*	Baixo	Alto	Médio	Médio	Médio
Custo de manutenção*	Médio	Alto	Médio a alto	Médio a alto	Baixo
Resistência/arrancamento*	Mediocre	Boa	Média	Média a boa	Boa
Aderência*	Baixa	Média	Muito boa	Boa	Boa
Acústica*	Ruim	Média	Boa	Boa	Média
Retenção de partículas sólidas**	NP	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa
Retenção de metais pesados dissolvidos**	NP	Muito boa	Baixa	Muito boa	Baixa

Fonte: Oliveira, 2018.

3.2.2.2 Assentamento

Segundo ABCP (2011), para a camada de assentamento utiliza-se agregado graúdo com dimensão máxima igual a 9,5 mm, com dimensão suficiente para garantir uma superfície uniforme para que as peças da camada superior possam se assentar e ao mesmo tempo haja um travamento com a camada da base. Garante-se essa dimensão através do critério a seguir:

$$\frac{D_{15 \text{ base}}}{D_{15 \text{ assentamento}}} < 5 \quad (1)$$

$$\frac{D_{50 \text{ base}}}{D_{50 \text{ assentamento}}} > 2 \quad (2)$$

Onde:

Dx: É a dimensão e x: % dos agregados finos.

Abaixo na Tabela 9, apresenta-se a granulometria recomendada para assentamento e rejunte:

Tabela 9 Granulometria recomendada para assentamento e material de rejunte para pavimento permeável

Peneira com abertura de malha	Camada de assentamento e material de rejunte (% retida)	Material de rejunte (% retida)	
12,5 mm	0	0	
9,5 mm	0 a 15	0 a 10	0
4,75 mm	70 a 90	45 a 80	0 a 15
2,36 mm	90 a 100	70 a 95	60 a 90
1,16 mm	95 a 100	90 a 100	90 a 100
0,300 mm		95 a 100	95 a 100

Fonte: ABCP, 2011.

Segundo o mesmo autor, a capacidade de infiltração do pavimento é determinada pela capacidade de infiltração do agregado utilizado no rejunte, observando-se a porcentagem de juntas do pavimento e o coeficiente de permeabilidade do agregado. Recomenda-se adotar 80% de coeficiente de segurança, em razão a colmatação do rejuntamento com o passar do tempo. Não se recomenda para a camada de assentamento e para o material de rejunte a utilização de areia e pó de pedra, devido ao baixo coeficiente de permeabilidade dos mesmos.

Para Marchioni (2010), coloca-se o assentamento acima da base compactada, e utiliza-se uma régua niveladora para sarrafejar a areia e formar uma altura de aproximadamente 5 cm, pois o especificado em projeto é uma camada de 3 a 4 cm, e após a compactação, o assentamento conquistará essa altura.

3.2.2.3 Base e Sub-base

Carrenho (2013), classifica a base e sub-base como camadas com função de transferir os esforços do revestimento para o subleito, pode também servir de reservatório temporário, para que após permanecer na base a água possa escoar pela rede de drenagem lateral ou infiltrar no solo. São geralmente compostas por material granular com pequenas porcentagens de finos. Essas camadas devem possuir uma resistência capaz de suportar as solicitações e ao mesmo tempo possuir alta resistência, para que seja evitada a fragmentação que pode descaracterizar a porosidade do material (OLIVEIRA, 2018).

Deve-se escolher um material que tenha uma função compatível com a camada superficial, com relação os aspectos construtivos, porosidade e custo. O

material mais utilizado é do tipo granular, geralmente brita lavada com Abrasão Los Angeles menor que 40, determinada na norma NBR NM51 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles” e com diâmetro superior a 10mm, com porcentagem de material silteoso menor que 3% de material argiloso menor que 1%. Além disso, é necessário um Índice de Suporte Califórnia (CBR) de pelo menos 80%, determinado de acordo com a norma brasileira NBR 9895 - Solo: Índice de Suporte Califórnia. Quando a base funciona como reservatório deve-se analisar o índice de vazios do agregado, que é determinado de acordo com a Norma Brasileira NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios que deve ser de, no mínimo, 32% (ABCP, 2011; ACIOLI, 2005).

Na Tabela 10 a seguir, apresenta-se a granulometria recomendada para base e sub-base:

Tabela 10 Granulometria recomendada base e sub-base

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

Fonte: ABCP, 2011.

3.2.2.4 Subleito

Segundo Suzuki; Azevedo e Júnior, (2013). Por se tratar de uma camada já presente no local, deve-se tomar conhecimento de algumas características como:

tipo de solo; capacidade de suporte, determinada pela NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia; e coeficiente de permeabilidade, que pode ser determinado através da NBR 13292 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante ou NBR 14545 – Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. (apud, OLIVEIRA, 2018).

3.2.2.5 Dispositivos Auxiliares

Possuem diversas funções e colaboram para um melhor funcionamento do sistema como um todo.

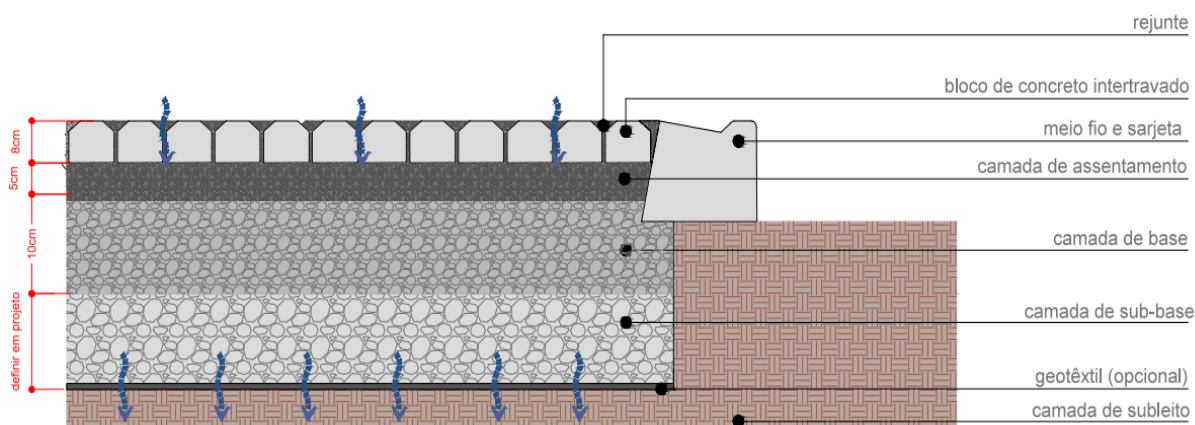
- Geotêxtil: Serve para impedir a migração de material de uma camada de pavimento para outra (ACIOLI, 2005).
- Tubo de Drenagem: Servem como ligação entre o pavimento permeável e o sistema de drenagem urbano [ou reservatório de água] , permitem a liberação do excesso de água que esteja armazenado no reservatório (OLIVEIRA, 2018).

3.2.3 Tipos de Pavimentos Permeáveis segundo a permeabilidade

Segundo a ABCP (2011), deverá ser feita uma análise das condições locais do solo, risco de contaminação e distância do lençol freático para posteriormente escolher qual tipo de infiltração é mais adequado. A classificação dos pavimentos permeáveis segundo a permeabilidade é dada por:

- Pavimento com infiltração total: todo o volume de água armazenado infiltra no solo, como demonstra a Figura 15:

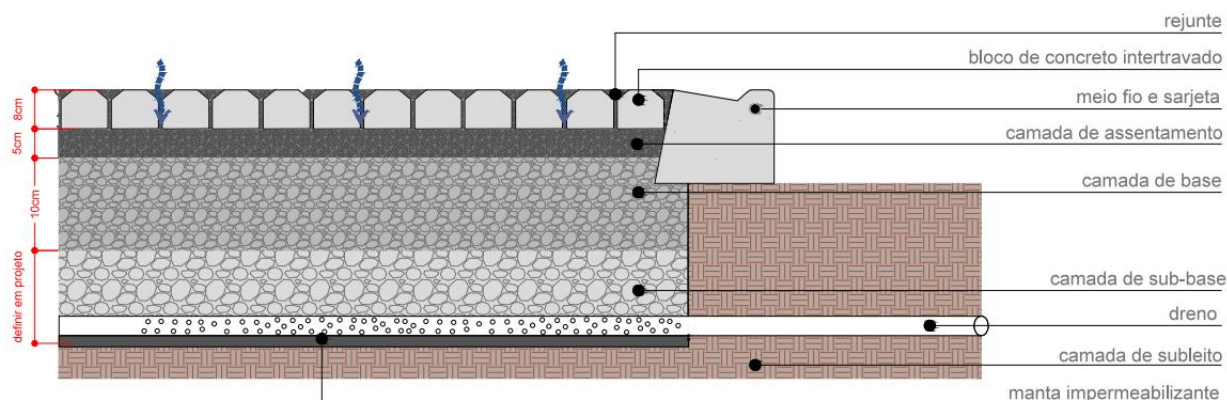
Figura 15 Pavimento intertravado permeável com infiltração total no solo



Fonte: ABCP, 2011.

- Pavimento sem infiltração: Todo o volume de água armazenado escoa para os drenos, sendo direcionados para o sistema de drenagem urbana, como demonstra a Figura 16:

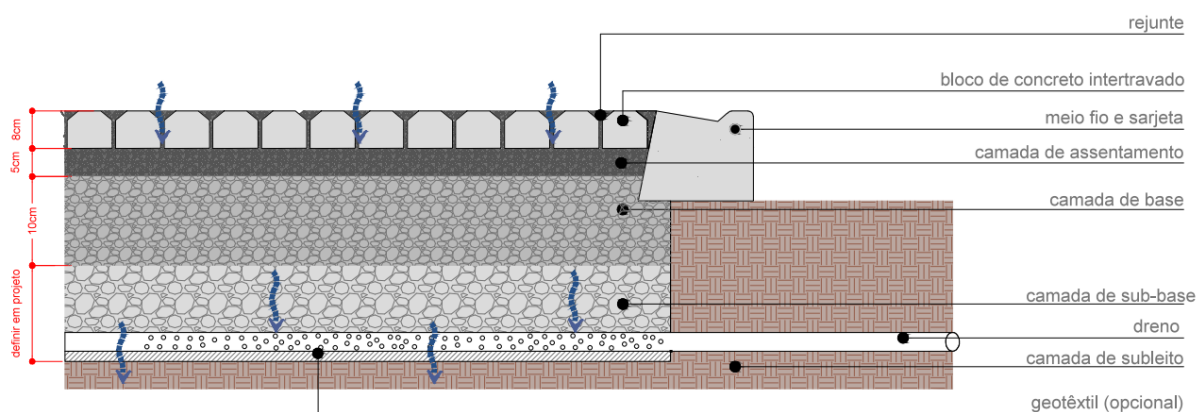
Figura 16 Pavimento intertravado permeável sem infiltração no solo



Fonte: ABCP, 2011.

- Pavimento com infiltração parcial situação intermediária, um pouco da água infiltra no solo e a água em excesso escoa para os drenos, como demonstra a Figura 17:

Figura 17 Pavimento intertravado permeável com infiltração parcial no solo



Fonte: ABCP, 2011.

3.2.4 Vantagens e Desvantagens

Observa-se algumas vantagens e limitações no uso dos pavimentos permeáveis, que estão representadas na Tabela 11:

Tabela 11 Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Alívio do sistema de drenagem a jusante, através da infiltração, reduzindo risco de inundações; Detenção temporária, além de aliviar o sistema de drenagem, propicia um rearranjo temporal dos hidrogramas; Recarga das águas subterrâneas; Melhoria da qualidade da água, pois reduz os poluentes pela filtragem; Versatilidade do local de implantação. Podendo ser construída em áreas densamente impermeabilizadas, como estacionamentos, praças, etc.; Melhoria na segurança e conforto por reduzir poços e efeitos de aquaplanagem; Possibilidade de redução dos custos de implantação do sistema de drenagem convencional e da lâmina de água de estacionamentos e passeios, podendo ser usado onde não há sistema de drenagem; Por não sobrecarregar a rede de drenagem, evitam o dispêndio com a ampliação da rede; A construção costuma ser simples e rápida; Os custos em toda vida útil podem ser menores que em outros sistemas de drenagem;	Manutenção; Custo inicial maior do que o de um pavimento comum; Possui menor resistência comparado ao pavimento comum; Suscetível a colmatação; Risco de contaminação do aquíferos; Necessidade de mão de obra especializada para a construção; Quando ocorre a colmatação da estrutura os custos de reparo são altos.

Possibilidade de reutilização da água da chuva; Reduz o impacto e o custo da infraestrutura para o tratamento de águas pluviais; Dispositivo que se integra a obra, não necessitando de um espaço exclusivo; Reduzem os impactos hidrológicos da urbanização no geral; Reduz a proliferação de mosquitos em águas paradas.	
---	--

Fonte: Tominaga, 2013; Coutinho, 2011; Acioli, 2005; Santos e Silva, 2018).

3.2.5 Execução

Nesse tópico aborda-se duas formas de execução de um pavimento permeável: sem infiltração, material constituído por concreto poroso e considerando um pavimento pré-existente, exemplificado nas Figuras 18 a 29; e utilizando piso monolítico em uma obra sem pavimento pré-existente, exemplificado nas Figuras 30 a 34.

- Retirada do revestimento do pavimento convencional pré-existente:

Figura 18 Retirada do revestimento do pavimento convencional pré-existente



Fonte: ABCP, 2011.

- Retirada da base convencional:

Figura 19 Retirada da base convencional pré-existente



Fonte: ABCP, 2011.

- Abertura das valas dos drenos:

Figura 20 Abertura das valas dos drenos



Fonte: ABCP, 2011.

- Compactação do solo:

Figura 21 Compactação do solo



Fonte: ABCP, 2011.

- Colocação da manta impermeável:

Figura 22 Colocação da manta impermeável



Fonte: ABCP, 2011.

- Instalação dos tubos drenos:

Figura 23 Instalação dos tubos drenos



Fonte: ABCP, 2011.

- Instalação da cisterna e da caixa de acesso a cisterna:

Segundo a ABCP (2011), deve-se ficar atento com o nível da cisterna que deve levar em consideração o nível da entrada do tubo dreno do pavimento e a saída do ladrão da cisterna.

Figura 24 Instalação da cisterna



Fonte: ABCP, 2011.

- Colocação e compactação do material da base:

Figura 25 Colocação e compactação do material da base



Fonte: ABCP, 2011.

- Colocação do material de assentamento:

Figura 26 Colocação do material de assentamento



Fonte: ABCP, 2011.

- Colocação das peças de revestimento:

Figura 27 Colocação das peças de revestimento



Fonte: ABCP, 2011.

- Espalhamento do material de rejunte e compactação do revestimento:

Figura 28 Colocação das peças de revestimento



Fonte: ABCP, 2011.

- Limpeza, inspeção final e teste de permeabilidade:

Segundo a ABCP (2011), após a compactação limpa-se o local e verifica-se se há alguma peça quebrada e se o material de rejunte está preenchendo todas as juntas. Faz-se o teste para medir o coeficiente de permeabilidade do pavimento e se tudo estiver certo realiza-se a liberação do local.

Figura 29 Liberação do pavimento permeável para uso



Fonte: ABCP, 2011.

Apresenta-se a seguir o passo a passo de um pavimento permeável composto por piso monolítico:

A abertura de vala dos drenos e colocação dos tubos realizou-se conforme o exemplo apresentado anteriormente, colocou-se o geotêxtil e compactou-se o solo com brita 0 e pó de brita.

- Acabamento da base

Figura 30 Solo compactado com geotêxtil, obra realizada pela Flowin Revestimentos



Fonte: Autor, 2021.

- Mistura do agregado graúdo com base epóxi:
- Mistura-se base epóxi com componente A - Classeur (mix de resinas e carga mineral leve) e B - Dur on (endurecedor) com as pedras que podem variar de espessura 1,5 a 2 cm, nessa obra utilizou-se a pedra Desert 02:

Figura 31 Mistura do agregado graúdo com base epóxi, obra realizada pela Flowin Revestimentos



Fonte: Autor, 2021.

- Colocação da mistura sobre o solo e nivelamento com a desempenadeira de aço inox:

Figura 32 Colocação e nivelamento do material, obra realizada pela Flowin Revestimentos



Fonte: Autor, 2021.

- Limpeza, inspeção final e teste de permeabilidade:

Realizou-se o teste de permeabilidade e obteve-se o coeficiente 100%.

Figura 33 Teste de permeabilidade do pavimento, obra realizada pela Flowin Revestimentos



Fonte: Autor, 2021.

Figura 34 Obra finalizada, realizada pela Flowin Revestimentos



Fonte: Autor, 2021.

3.2.6 Qualidade da água de infiltração

Avaliar a qualidade da água infiltrada pelos pavimentos permeáveis torna-se muito interessante para analisar o impacto sobre os recursos hídricos subterrâneos e principalmente caso haja interesse na reutilização da água armazenada.

Segundo Pratt (1989, apud ACIOLI, 2005), os mecanismos mais eficientes na retenção dos poluentes nesse dispositivo são a sedimentação, a filtração e a adsorção química dos materiais. Na Figura 35, apresenta-se dados obtidos em alguns estudos

na França, observa-se a variação da concentração de poluentes à base do reservatório.

Figura 35 Redução da concentração de poluentes em pavimentos permeáveis monitorados

Local	Características	Diminuição da poluição em concentração (%)				
		MS	DQO	Pb	Zn	DBO ₅
Rue de la Classerie em Rezé (Nantes)	Asfalto poroso + reservatório de britas	61		81	67	-
Parc d'échange de Caillou (Bordeaux)	Asfalto poroso + concreto poroso (base)	36	79	86	-	-
ZAC de Verneuil (Paris)						
Zona I	Asfalto poroso + reservatório de britas	81	63	76	35	45
Zona II	Asfalto convencional + reservatório de britas	68	48	77	45	39
Zona III	Vários tipos de estruturas	1	14	50	16	7

Legenda: MS = Matéria em suspensão; DQO = Demanda química de oxigênio; DBO = Demanda bioquímica de oxigênio. Fonte: Adaptado de Raimbault *et al.* 2002.

Fonte: Acioli, 2005.

Através da figura, é possível notar que a passagem de água pelo reservatório, que serve como um filtro, melhora sua qualidade. Acioli (2005), cita um experimento de Legret e Colandini (1999), no qual observaram que grande parte dos poluentes, principalmente metálicos, retém-se na parte superior da camada porosa do pavimento. Eles também concluíram que o pavimento poroso é particularmente eficiente na retenção de chumbo, enquanto que o cobre, o cádmio, e o zinco também foram filtrados, porém na camada subjacente ao reservatório.

Com relação a poluentes derivados de petróleo, Pratt et al (1999, apud ACIOLI, 2005), analisaram em laboratório a retenção dos poluentes através da biodegradação microbológica in-situ e a passagem pelo pavimento resultou em uma redução de 97,6% do petróleo, com relação a quantidade inicial injetada no pavimento.

Conclui-se que os pavimentos permeáveis são eficientes na retenção dos poluentes presentes nas águas escoadas, o que permite utiliza-las para uso no empreendimento e com isso reduzir o uso das águas potáveis do local.

3.2.7 Manutenção

Ao longo do tempo o acúmulo de sedimentos, crescimento de vegetação e poluição podem ocasionar colmatção e diminuir a capacidade de infiltração do

pavimento permeável. A velocidade com que isso ocorre irá depender do tráfego de veículos sobre o pavimento e da área de projeto, deve-se evitar áreas próximas a fonte de sedimentos, como árvores por exemplo.

Segundo a ABCP (2011), em caso de pavimentos intertravados permeáveis, uma ou duas vezes por ano deve-se realizar uma varrição com aspiração para remover os sedimentos. Para esse serviço pode-se utilizar varredeiras mecânicas. A potência do equipamento pode ser ajustada para, em casos mais severos, retirar o rejunte. Quando houver necessidade da retirada do rejunte, após o procedimento deve-se preencher as juntas com um novo material de rejunte. Em pavimentos cujo o projeto não tenha vegetação entre as juntas, deve-se retirá-las manualmente, utilizando um garfo de jardinagem e escavando abaixo da raiz, retirando completamente. Não se recomenda a utilização de herbicidas para não prejudicar a qualidade do solo.

Para Coutinho (2011), no caso de blocos vazados preenchidos com vegetação orienta-se cuidados nos períodos de corte periódico da vegetação, esses cortes tem função apenas de diminuição da altura da vegetação, visando um bom efeito paisagístico, pois a retirada total da mesma provoca danos na capacidade de infiltração já que o solo sem vegetação é compactado diretamente pelos veículos.

EPA (1999 apud ACIOLI, 2005) sugere que durante os primeiros meses de instalação do pavimento, o mesmo deve ser inspecionado diversas vezes e as inspeções anuais devem ocorrer logo após uma grande tempestade, pois os pontos de entupimento estarão em evidencia. Em casos de pavimentos porosos, a manutenção deve incluir sucção a vácuo dos poros, pelo menos quatro vezes ao ano, seguido de injeção de água com mangueira de alta pressão, assim os poros permaneceram abertos e limpos. Azzout *et al* (1994), desaconselham o uso de vassouras nesse tipo de pavimento, pois as mesmas empurram os finos para dentro dos poros do pavimento.

A ABCP (2011), orienta que sedimentos acumulados diminuem em 10 anos, 90% da capacidade dos pavimentos permeáveis, por isso orienta-se a manutenção anual para que a taxa de infiltração de água do pavimento permeável seja mantida por anos.

3.2.8 Aspectos Legais

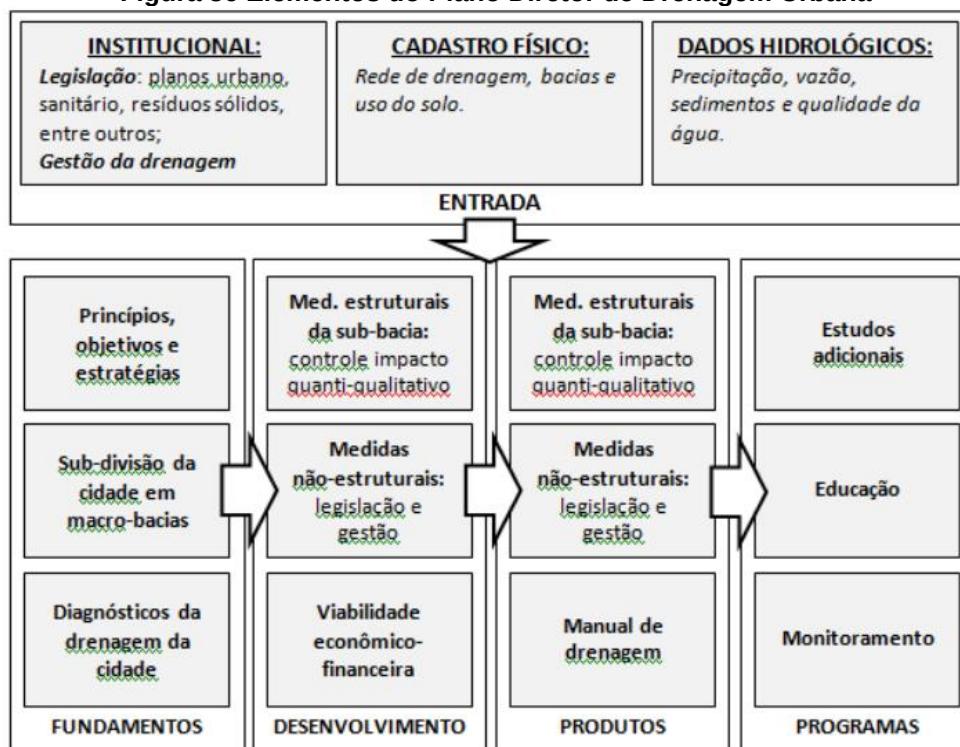
Entre as normas mais importantes na execução de um pavimento permeável, tem-se:

- NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos: Criada em 2015, essa Norma, apresenta os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, execução, e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto (ABNT, 2015).
- NBR 9895 - SOLO - Índice De Suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio: Surgiu em 2016, essa Norma especifica o método utilizado para determinação do índice de suporte Califórnia e da expansão de solos em laboratórios (ABNT, 2016).
- NBR 13.292 - SOLO - Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Granulares à Carga Constante - Método de Ensaio: Criada em 2021, essa Norma especifica o método utilizado para determinação do coeficiente de permeabilidade ou, coeficiente de condutividade hidráulica à carga constante do solo (ABNT, 2021).
- NBR 14.545 - Solo - Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Carga Variável: Criada em 2021, essa Norma especifica o método utilizado para determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável (ABNT, 2021).
- NBR 9.781 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação: Criada em 2013, estabelece os requisitos e métodos de ensaio que tornem possíveis a aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada sujeita tanto a tráfego de pedestres e de veículos de pneumáticos quanto a áreas de armazenamento de produtos (ABNT, 2013).

Além das normas, com relação aos aspectos legais, o PDDU é indispensável. O PDDU, de acordo com Tucci (2002), tem como principal objetivo interligar o escoamento das águas pluviais e dos rios com a infraestrutura das cidades, através do mesmo é possível evitar perdas econômicas e melhorar as condições de saúde e meio ambiente da cidade.

A Figura 36 , apresenta o fluxograma do funcionamento de um PDDU:

Figura 36 Elementos do Plano Diretor de Drenagem Urbana



Fonte: Tucci, 2002.

Com relação as legislações sobre o uso da água da chuva, no Brasil aprovou-se algumas leis de caráter nacional, padronizando e até incentivando a instalação do sistema de reaproveitamento da água pluvial. Tais leis regulamentam tanto a captação e distribuição da água da chuva quanto a seus padrões de qualidade. Dentre as leis, tem-se:

- Código das Águas: criado no ano de 1934, estabelece as permissões de uso da água de chuva, possibilitando ao dono do local onde a água chega, usufruir dela a vontade, proibindo-o, todavia, de usá-la de forma exagerada e desordenada, e de desviar essa água do seu curso natural, sem a concordância de usuários afetados pela utilização do sistema. Além disso, é proibida a utilização de águas que caem em locais públicos, bem como a transposição de serviços de captação além dos limites do terreno do proprietário (CARMO, 2018).
- Lei das Águas, número 9.433/97 e Política Nacional de Recursos Hídricos: Também conhecida como Lei das Águas promove o uso racional da água e a sua qualidade. Prevendo que em situação de escassez, o consumo humano e dessedentação de animais devem ser priorizados (CARMO, 2018).

- Normas NBR 15527/2007 e NBR 13969/1997: Criada em 2007, estabelece as condições gerais que o sistema de aproveitamento de água pluvial, como calhas, reservatórios e elementos de manutenção, deve obedecer. A norma também estabelece parâmetros de qualidade da água de chuva a ser utilizada (CARMO, 2018).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se as características da área de estudo, os procedimentos metodológicos, para o dimensionamento hidráulico do pavimento permeável, a determinação do tipo de pavimento permeável bem como a estimativa de demanda de água não potável do prédio de engenharia Ambiental da UFES.

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo pertence à UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, localizada no bairro Goiabeiras em Vitória – ES. O trabalho propõe o dimensionamento de um pavimento permeável na área do estacionamento comum do Centro Tecnológico com o objetivo de reduzir os impactos da impermeabilização do solo e, reaproveitar a água de chuva para suprir as demandas de água para fins não potáveis do prédio da Engenharia Ambiental que está em construção. A seguir apresenta-se a localização e foto da área, na Figura 37.

Figura 37 Estacionamento comum do Centro Tecnológico



Fonte: Autor, 2021.

Na Figura 38 a seguir apresenta-se uma foto atual da área de estudo, nota-se que o estacionamento utilizado atualmente é composto por piso sextavado, porém a água infiltrada não é captada.

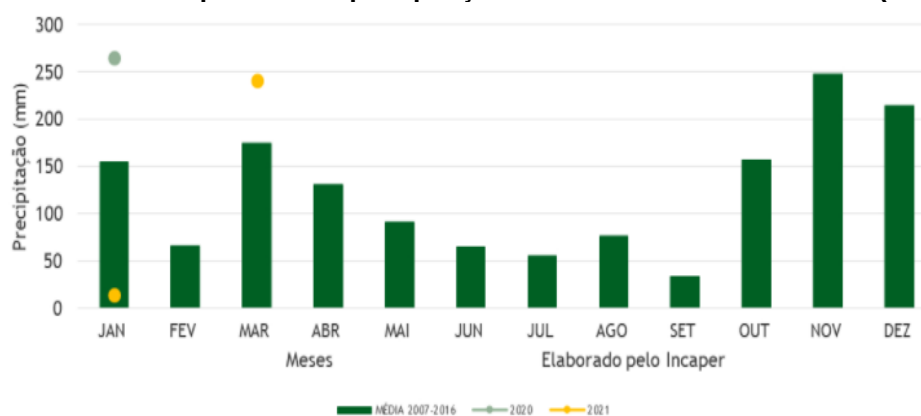
Figura 38 Estacionamento comum do Centro Tecnológico



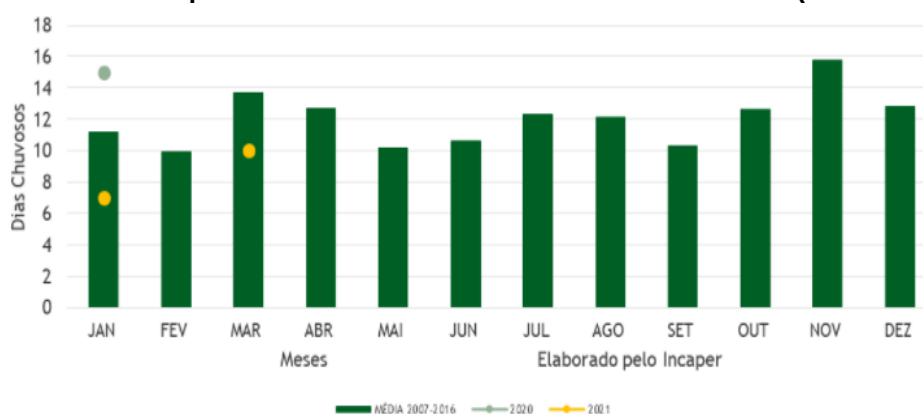
Fonte: Autor, 2021.

A UFES está localizada na cidade de Vitória/ES. Conforme Data.Org (2021), Vitória conta com um clima tropical, chove mais no verão do que no inverno. O clima é classificado como Aw, a temperatura média é 23.5 °C e a média anual de pluviosidade é de 1123 mm.

A seguir na Tabela 12 e 13 apresenta-se o Comparativo da precipitação mensal e comparativo de dias chuvosos mensais na região. Esses fatores influenciam diretamente no cálculo do reservatório e são de extrema relevância no estudo, uma vez que fornecem dados sobre o volume de água que pode ser utilizado.

Tabela 12 Comparativo de precipitação mensal na EM de Vitória /ES (Goiabeiras)

Fonte: Incaper (2021)

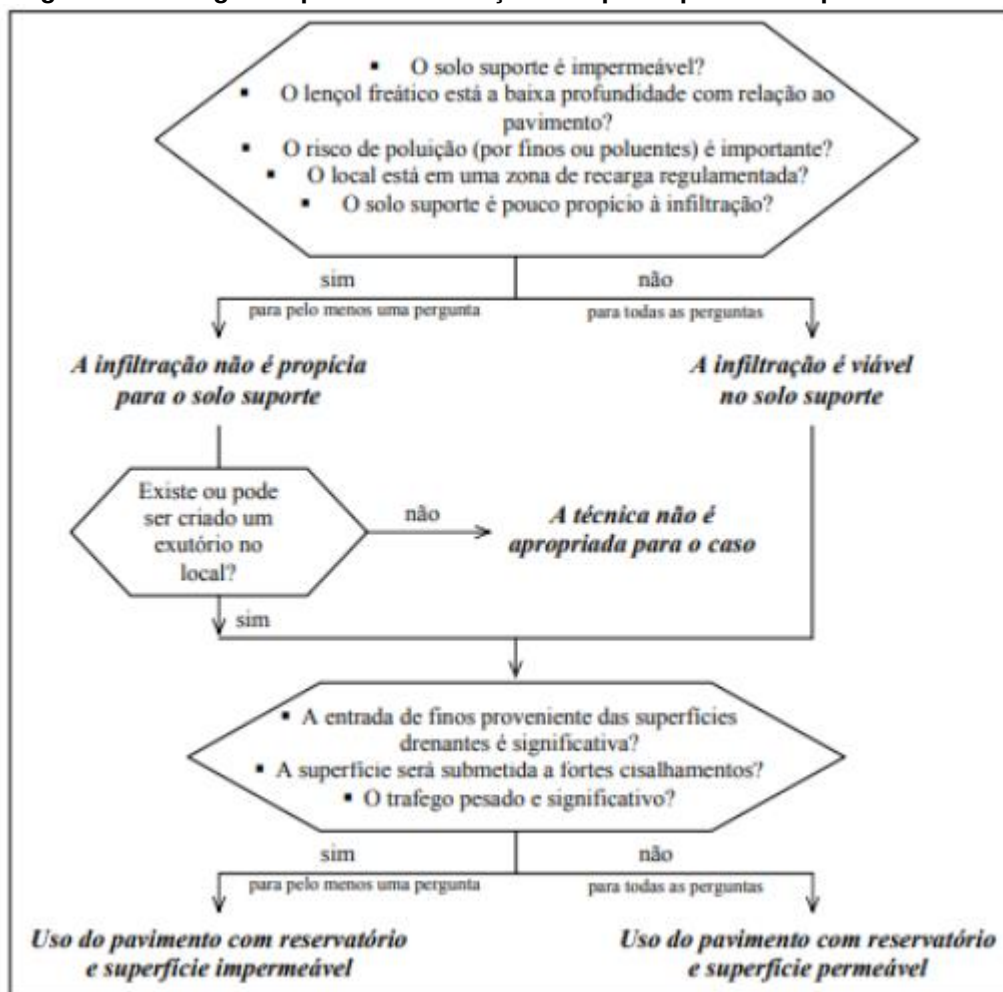
Tabela 13 Comparativo de dias chuvosos na EM de Vitória /ES (Goiabeiras)

Fonte: Incaper (2021)

4.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Para analisar qual tipo de pavimento permeável, segundo a permeabilidade local, foi feita uma avaliação da sua viabilidade ambiental no local de implantação. Nesse sentido, utilizou-se o fluxograma abaixo (Figura 39), que serve de guia para a determinação do pavimento permeável na área de estudo. De acordo com Acioli (2005), o fluxograma não é obrigatório, servindo apenas de auxílio para a tomada de decisão, pois ainda estão sendo analisados estudos para a aplicação de pavimentos permeáveis em solos argilosos e de baixa permeabilidade.

Figura 39 Fluxograma para determinação do tipo de pavimento permeável



Fonte: Acioli, 2015

Conforme sondagem apresentada no Anexo I, realizada por Santos (2015), o solo suporte onde se propõe a instalação do pavimento não é um solo impermeável. O solo superficial da região foi classificado como areia fina, apresentando permeabilidade média para baixa – tema mais aprofundado no tópico 4.3.4.

Conforme diretrizes da ABNT NBR 16.416, para a implantação do pavimento permeável, é necessário que a parte inferior da base do pavimento esteja no mínimo a 0,6m de distância do nível do lençol freático. Em locais com profundidades de nível de lençol freático inferior a 1m o pavimento deverá ser projetado do tipo sem infiltração. Ainda conforme o Anexo I, o nível do lençol freático da região é aproximadamente 1,6m, portanto pela análise do lençol freático pode-se utilizar um pavimento permeável com infiltração no solo. Seguindo a linha das perguntas do fluxograma, a UFES não está localizada em uma zona de recarga regulamentada.

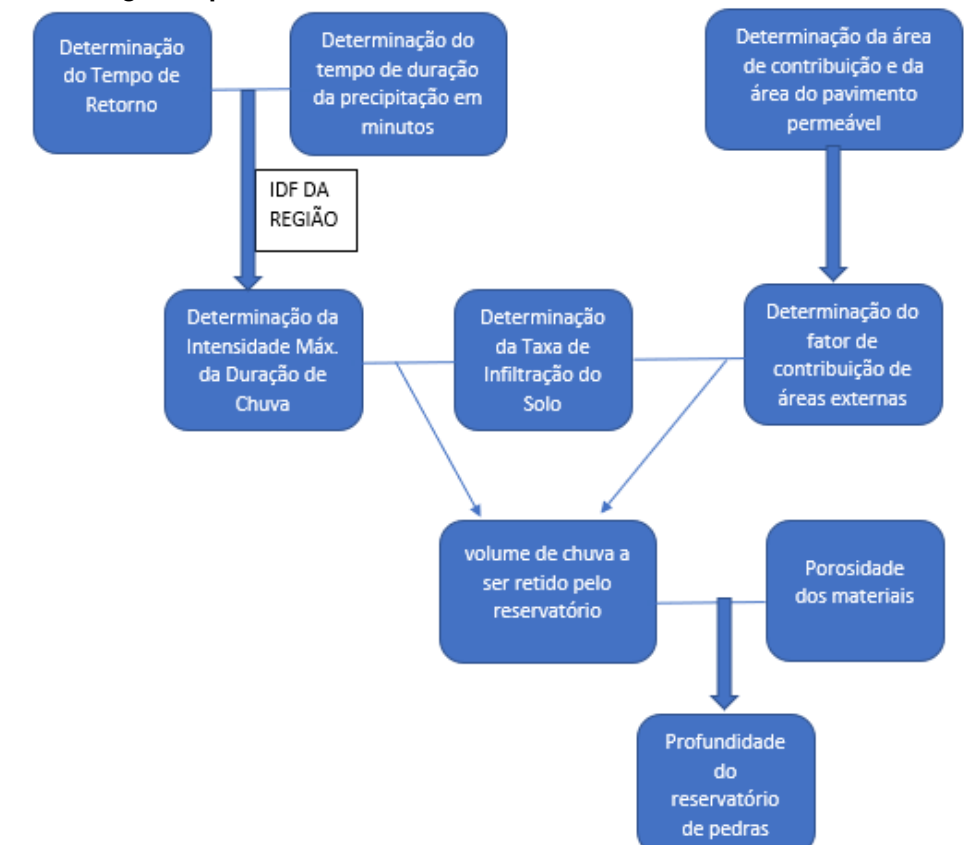
Como no fluxograma já temos não para todas as perguntas, a infiltração, mesmo que baixa, é viável no solo suporte. Analisando a área, a entrada de fino na superfície não é significativa e o pavimento será submetido a tráfego leve, visto que está localizado em um estacionamento de prédios estudantis. Por isso escolheu-se o uso do pavimento com reservatório e superfície permeável do subleito, por se tratar de uma infiltração média para baixa, escolheu-se o pavimento com infiltração parcial.

4.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Segundo Virgilis (2009), o dimensionamento visa a determinação da altura do reservatório que irá receber e armazenar o volume de água escoado pela superfície ou por uma área contribuinte que escoe para o pavimento permeável.

Para o dimensionamento do pavimento permeável, quanto a capacidade da camada do reservatório, foi utilizado o método proposto por Araújo, Tucci e Goldenfum, (2000), apresentado no fluxograma da Figura 40.

Figura 40 Fluxograma para Dimensionamento Hidráulico do Pavimento Permeável



Fonte: Autor, 2021

Para melhor compreensão, a seguir apresenta-se as equações utilizadas para o dimensionamento:

$$Vr = (ip + c - ie) \times td \quad (3)$$

Onde:

Vr é o volume de chuva a ser retido pelo reservatório (mm);

ip é a intensidade máxima da chuva de projeto (mm/h);

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

td é o tempo de duração da chuva (horas);

c é um fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável, apresentado pela equação:

$$c = \frac{ip \times Ac}{Ap} \quad (4)$$

Sendo:

Ac a área de contribuição (m²);

Ap a área de pavimento permeável (m²);

A profundidade do reservatório granular do pavimento permeável é determinada por:

$$H = \frac{Vr}{f} \quad (5)$$

Onde:

H é a profundidade do reservatório granular (mm);

e f é a porosidade do material.

4.3.1 Tempo de Retorno

Para definir a Intensidade da chuva de projeto, necessita-se do tempo de retorno (Tr). Este, é utilizado para avaliar eventos extremos de chuvas. Segundo Collischonn e Tassi (2008), o Tr é uma estimativa do tempo no qual um evento é igualado ou superado, em média. A Tabela 14, apresenta alguns valores de período de retorno para obras de micro-drenagem. Embora os valores apresentados na Tabela 14, segundo Acioli (2005) tem sido comum adotar como 10 anos o tempo de retorno da chuva de projeto para estruturas de infiltração.

Tabela 14 Valores de Tempo de Retorno

Tipo de Obra	Tipo de ocupação	Período de retorno (anos)
Micro-drenagem	Residencial	2
Micro-drenagem	Comercial	5
Micro-drenagem	Edifícios de serviços ao público	5
Micro-drenagem	Aeroportos	2-5
Micro-drenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro-drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980)

4.3.2 Intensidade Máxima da Chuva de Projeto

Para o cálculo da intensidade máxima da chuva de projeto, necessita-se relacionar algumas variáveis, como: a precipitação que atinge uma determinada área em uma determinada duração; e uma dada probabilidade de ocorrência em um ano qualquer. A forma de relacionar quase todas essas variáveis é a curva de Intensidade-Duração-Frequência (curva IDF). Esta, pode ser resumida a seguinte equação, Collischonn e Tassi (2008):

$$I = \frac{a \times Tr^b}{(td+c)^d} \quad (6)$$

Onde:

I é a intensidade da chuva;

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

Tr é o tempo de retorno em anos;

td é a duração da precipitação em minutos.

Conforme Pruski et al (apud FESTI, 2007), a IDF da cidade de Vitória é:

$$I = \frac{4003,611 \times Tr^{0,203}}{(td+49,997)^{0,931}} \quad (7)$$

4.3.3 Permeabilidade do Solo

Para o dimensionamento do pavimento permeável é necessário conhecer a permeabilidade do solo da área de implantação pois, através da permeabilidade sabe-se se o subsolo permite infiltração. A permeabilidade do solo é um atributo físico de grande importância para a engenharia, sendo necessária a sua determinação nos trabalhos em que se tem movimento d'água no solo (SAMPAIO et al, 2006).

Como o local escolhido para o dimensionamento do pavimento não possui dados para estimativa da permeabilidade do solo, este estudo adotou dados obtidos sobre o solo do local onde será implantado o prédio da engenharia ambiental, devido à sua proximidade com o local do pavimento permeável, conforme apresenta a Figura 41, a área do prédio de engenharia ambiental esta preenchida de vermelho e a da área de estudo de amarelo. Essa simplificação assume que as características do solo da área de implantação do futuro prédio da Engenharia Ambiental são semelhantes às da área do estacionamento do CT.

Figura 41 Proximidade do prédio de engenharia ambiental e da área de estudo



Fonte: Google Earth, 2021

O solo da área de implantação do futuro prédio da Engenharia Ambiental da UFES foi estudado no ano de 2015 por meio de uma sondagem (vide Anexo I) realizada por Santos (2015) e um ensaio de Permeâmetro Guelph (vide Anexo II), realizado por Dornelas et al (2015). Por meio dos resultados da sondagem, o solo superficial da região foi classificado como areia fina. Conforme a Tabela 15, a

permeabilidade média para solos desse tipo é da ordem de $k = 10^{-5} \text{ m/s}$. A ABNT NBR 16.416 informa valores típicos do grau de permeabilidade do solo e dos coeficientes de permeabilidade, como é apresentado na Tabela 16. Conclui-se então, que o solo estudado possui grau de permeabilidade médio, tornando possível a inserção de um pavimento permeável com infiltração no subsolo (Conforme Tópico 4.2).

Tabela 15 Valores típicos do coeficiente de Permeabilidade para determinados solos

argilas	$< 10^{-9} \text{ m/s}$
siltos	$10^{-6} \text{ a } 10^{-9} \text{ m/s}$
areias argilosas	10^{-7} m/s
areias finas	10^{-5} m/s
areias médias	10^{-4} m/s
areias grossas	10^{-3} m/s

Fonte: Pinto (2016)

Tabela 16 Grau de permeabilidade em função do Coeficiente de Permeabilidade

Coeficiente de permeabilidade do solo k		Grau de permeabilidade do solo
m/s	mm/h	
$> 10^{-3}$	$> 3\,600$	alta
$10^{-3} \text{ a } 10^{-5}$	$3\,600 \text{ a } > 36$	média
$10^{-5} \text{ a } 10^{-7}$	$36 \text{ a } > 0,36$	baixa
$10^{-7} \text{ a } 10^{-9}$	$0,36 \text{ a } 0,003\,6$	muito baixa
$< 10^{-9}$	$< 0,003\,6$	praticamente impermeável

Fonte: ABNT, (2015)

Através dos resultados encontrados no ensaio de Permeâmetro Guelph (vide Anexo II), chegou-se à conclusão que o coeficiente de condutividade hidráulica médio na condição saturada de campo é $k = 7,76 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$, com uma Taxa de Infiltração no solo de $i_e = 0,2794 \text{ mm/h}$, pela Tabela 16, considera-se um grau de permeabilidade muito baixo, portanto a maioria da água infiltrada irá para o reservatório para posteriormente ser reaproveitada no Campus.

4.3.4 Material do Reservatório

Segundo Acioli (2005), o material para o reservatório deve ser escolhido em função da compatibilidade com a camada superficial, levando em consideração: o tráfego, aspectos construtivos, a porosidade e o custo. Deve-se escolher um material que transmita as solicitações aplicadas na camada superior para o solo suporte, bem como armazenar a água da chuva, até a sua infiltração ou drenagem pela rede lateral. O material mais utilizado para essa camada do pavimento é a brita, com diâmetro maior que 10 mm.

Nesse sentido, Schueler (1987), recomenda o uso de brita 3 ou 4 no reservatório granular, e esse material também foi utilizado em trabalhos como: Cooper (2013), Acioli (2005) e Araújo, Tucci e Goldenfum, (2000). Este material deve ser ensaiado para a obtenção da sua porosidade, pois utiliza-se desta para o cálculo do reservatório granular.

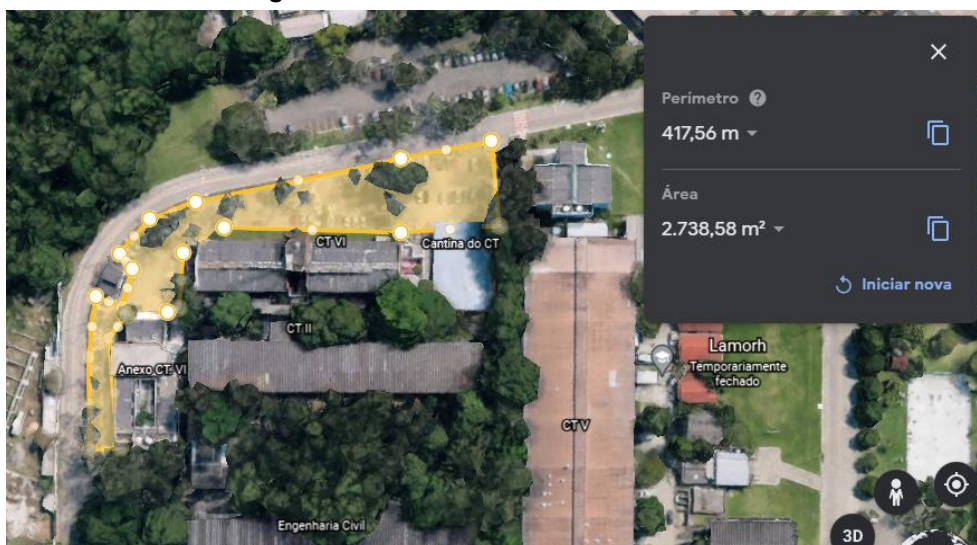
4.3.5 Porosidade

A porosidade determinada nesse item é a porosidade do material do reservatório do pavimento permeável. Segundo Cooper (2013), quanto maior a porosidade de um material, maior será a capacidade de infiltração do solo. Araújo, Tucci e Goldenfum, (2000) realizou ensaios de porosidade com a brita 3 e chegou a valores de porosidade da ordem de 40 a 50%. Neste trabalharemos utilizou-se a porosidade de 45%.

4.3.6 Área do Pavimento Permeável

A área sugerida para a implantação do pavimento permeável foi obtida por satélite através do Google Earth Pro, totalizando em 2.738,58 m², apresentada na Figura 42 a seguir:

Figura 42 Área do Pavimento Permeável



Fonte: Google Earth, 2021

Como um dos objetivos do trabalho em questão é o reaproveitamento da água de chuva, para aumentar o volume a ser captado, considerou-se que as águas precipitadas sobre os prédios ao redor seriam direcionadas para o pavimento, considerando-se então como área de contribuição, totalizando em 6.159,31 m², apresentada na Figura 43 a seguir:

Figura 43 Área de contribuição ao Pavimento Permeável



Fonte: Google Earth, 2021

4.4 ESTIMATIVA DE DEMANDA

Estimar o volume de água que será utilizado é um dos principais e primeiros passos para um bom dimensionamento de um sistema de captação de água de chuva, por interferir diretamente no que será captado e o que será lançado para a rede pluvial.

A maior parte da água utilizada em uma edificação não necessita de tratamentos específicos, pois é direcionada a vasos sanitários, jardinagem e uso de limpeza em geral. O volume de água necessário para o abastecimento da instituição é obtido através do número de pessoas que utilizam o sistema sanitário local (CARMO, 2018). Nesse trabalho determinou-se a demanda de água não potável para o uso dos sanitários do prédio da engenharia ambiental da UFES.

Para o cálculo da demanda, utilizou-se o método proposto por Carmo (2018), demonstrado na equação a seguir:

$$V_{diário} = N^{\circ} \text{ de usuário} \times V \times F \quad (8)$$

Onde:

$V_{diário}$ é o o volume diário utilizado (litros);

N° de usuários é o número de usuários que utilizam os vasos sanitários da instituição;

V é o volume de água necessário por descarga sanitaria;

F é o número de vezes em que os usuários utilizam o vaso sanitário.

O número de usuários do prédio da engenharia Ambiental é de 363 pessoas, este dado foi fornecido pela Prefeitura da Universidade Federal do Espírito Santo. Conforme a NBR 15857/2011 – Válvula de descarga para limpeza de bacias sanitárias, o volume médio de água necessário para o funcionamento correto e a limpeza da bacia sanitária é em média de 9 litros. É importante salientar que no desempenho real, as válvulas de descarga podem utilizar até 30 litros de água, considerando variações diversas dependendo se os sanitários contam com válvulas de descarga ou caixas acopladas. Para simplificação, nesse trabalho utilizou-se 9 litros. A frequência de uso dos sanitários foi adotada conforme Tomaz (2000), que estabelece uma média de utilização de 2 vezes ao dia, por usuário.

Para encontrar o volume mensal, multiplicou-se o volume diário por 25 dias, uma vez que o prédio estudantil conta com funcionamento integral durante cinco dias

da semana, ainda que em menor número, alguns cursos são realizados também aos sábados.

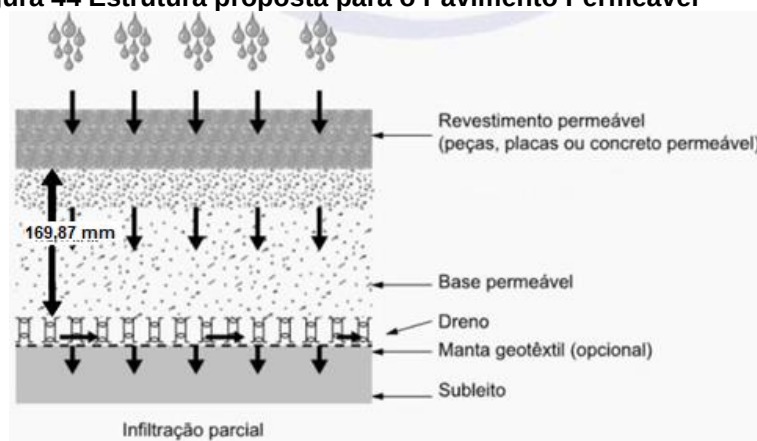
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados do dimensionamento do reservatório do pavimento permeável e o modelo de estrutura proposto em caso de implantação no estacionamento. Além disso, também é apresentado o dimensionamento do reservatório externo para a reserva de água não potável e a demanda dessa água para o uso de sanitários no prédio da engenharia ambiental.

5.1 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

No dimensionamento do reservatório granular utilizou-se o sistema de infiltração parcial, onde parte da água precipitada infiltra no subleito e parte da água fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, seguindo depois pelo dreno. Adotou-se chuva de duração de 10 minutos, com período de retorno (T_r) de 10 anos. Utilizando-se a curva IDF para a cidade de Vitória/ES, obteve-se a intensidade máxima de chuva igual a 141,2581 mm/h, o fator de contribuição de áreas externas encontrado foi de 317,68, como a taxa de infiltração do solo é de 0,2794 mm, estimou-se, portanto, o volume a ser retido pelo reservatório (V_r) em 76,44 mm. Sendo a porosidade da brita 3, adotada igual a 45%, obteve-se uma altura de reservatório de 169,87 mm. A altura encontrada (169,87 mm) é maior que a altura mínima recomendada por Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), que deve ser de no mínimo 150 mm. A seguir apresenta-se a estrutura do pavimento permeável: Figura 44.

Figura 44 Estrutura proposta para o Pavimento Permeável



Fonte: Modificado ABNT, 2015.

5.2 ANÁLISE DA POSSÍVEL REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL DO CAMPUS

5.2.1 Cálculo da Demanda

Para o cálculo da demanda do prédio de engenharia ambiental de água não potável para sanitários, utilizou-se a equação 8, e encontrou-se um volume diário de 6.534 litros, multiplicou-se por 25 dias e o volume mensal encontrado foi de 163.350 litros.

5.2.2 Volume captado pelo pavimento permeável e Dimensionamento do reservatório externo

O local de implantação do pavimento permeável possui uma área de 2.738,58 m², considerou-se uma área de 6.159,31 m², para contribuição. Como uma parte pequena da água irá infiltrar no solo (taxa de infiltração de 0,2794 mm/h), considerou-se para o dimensionamento do reservatório de água captada que toda água infiltrada no solo será direcionada através de drenos, por gravidade, em consonância às curvas de nível, para um reservatório enterrado no local mais baixo próximo a implantação. O valor de chuva de projeto encontrado foi de 141,25 mm/h com duração prevista para 10 minutos em uma área de 6.159,31 m², o que gera um valor de 145,00 m³ de água. Com esse valor máximo de armazenagem de água, será construído um reservatório

quadrado, moldado in loco e enterrado, com as dimensões de 7 m de lado com 3 m de profundidade armazenando um total de 147 m³. Um exemplo de reservatório enterrado está na Figura 45.

Figura 45 Exemplo de reservatório enterrado



Fonte: Geoplast, 2010 (apud OSEKI, 2017).

A Figura 46 apresenta as médias mensais precipitadas na cidade de Vitória. Com uma precipitação média anual de 1123,00 mm dividido por 12 meses, temos uma precipitação mensal de 93,58 mm.

Figura 46 Dados Climatológicos para Vitória - ES

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	25.6	25.9	25.6	24.5	22.7	21.7	21.1	21.2	22	23.2	23.8	24.9
Temperatura mínima (°C)	23.3	23.5	23.4	22.3	20.4	19.4	18.7	18.8	19.7	21	21.8	22.8
Temperatura máxima (°C)	28.6	29	28.5	27.1	25.5	24.6	24.1	24.3	25.2	26.2	26.5	27.8
Chuva (mm)	102	75	130	95	68	42	50	50	57	100	187	167
Umidade(%)	80%	79%	81%	80%	78%	80%	79%	78%	76%	77%	80%	81%
Dias chuvosos (d)	10	10	12	12	9	7	8	8	8	9	12	12
Horas de sol (h)	9.4	9.5	8.8	8.0	7.5	7.3	7.0	6.9	6.8	7.3	7.7	8.8

Fontes: Climate-Data.ORG, 2021.

A fim de verificar o volume máximo de reserva em 6.159,31 m², de área, temos 576,39 m³ de água por mês, o equivalente a 576.390,00 litros. Este volume supri o volume de 163.350 litros necessário para a utilização dos sanitários no prédio da

engenharia ambiental, e ainda resta 413.040,00 litros para ser utilizado no consumo não potável do campus, como jardinagem ou até mesmo, para uso interno como descarga de vasos sanitários em outros prédios do campus.

É importante ressaltar que esses cálculos foram realizados com o objetivo de se ter noções sobre a capacidade de volume de água que pode ser armazenada na área da implantação e posteriormente reutilizada, porém, para um correto dimensionamento do reservatório deve-se ainda levar em consideração o volume de entrada e saída de água do reservatório dentre outros fatores e também levar em conta o tratamento da água armazenada antes da utilização da mesma. Portanto, para uma correta aplicação do pavimento, torna-se muito importante um estudo mais aprofundado. Os valores encontrados serviram apenas como parâmetros para desenvolvimento de trabalhos futuros, visto que, o foco do trabalho foi a dosagem e dimensionamento do pavimento permeável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pavimento permeável é uma ótima possibilidade para tratar os problemas causados pela urbanização referentes a impermeabilização dos solos. Porém os pavimentos permeáveis devem ser implantados em locais de tráfego leve e deve ser realizado um estudo do solo e do nível do lençol freático previamente ao projeto de implantação do pavimento permeável. Em locais cujo infiltração do solo é baixa, ainda é possível utilizar o pavimento permeável, nesse caso o volume do reservatório será maior para não sobrecarregar o sistema de drenagem convencional e poderá criar um sistema de aproveitamento da água com um reservatório externo. Os resultados desse estudo foram satisfatórios e mostraram ser possível a implantação de um pavimento semi permeável no estacionamento do Centro Tecnológico da UFES. O volume do reservatório do pavimento permeável foi estimado em 76,44 mm, contando com uma altura de 169,87 mm; a demanda não potável do prédio da engenharia Ambiental para uso em bacias sanitárias foi estimada em 163.350 litros.

Além disso, a demanda de água não potável para o uso dos vasos sanitários no futuro prédio da engenharia ambiental seria suprida pelo volume de água captado pelo pavimento permeável e ainda restaria 413.040,00 litros para fins não potáveis no campus. É importante salientar que o trabalho em questão teve fins acadêmicos e, por isso, em uma implantação real do pavimento permeável no campus da UFES Vitória, é fundamental realizar os ensaios necessários na área de estudo e caso seja definido o reuso da água de chuva, torna-se essencial um estudo da qualidade da água captada.

Por fim, espera-se que este trabalho não permaneça apenas em projeto, incentive o uso dos pavimentos permeáveis e seja base para o desenvolvimento de outros futuros trabalhos.

6.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Para projetos futuros recomenda-se que realize:

- Ensaios de permeabilidade e sondagem na área de estudo, visto que se utilizou do solo de uma área próxima à implantação;
- Levantamento topográfico; para a obtenção da real área a ser estudada, bem como a declividade;
- Dimensionamento mecânico do Pavimento permeável, pois não era o objetivo deste trabalho;
- Um estudo do tratamento da água captada para reuso;
- Com a topografia do campus em mãos, a seleção de um local adequado para a implantação do reservatório de água de chuva.
- A análise do tamanho do reservatório externo para aproveitamento da água de chuva. Caso a água não seja reutilizada no campus inteiro pode-se diminuir a área de pavimento permeável e o reservatório externo. Também seria uma opção, manter a área do pavimento permeável, diminuir o reservatório externo e criar um sistema de drenos que levem a água acumulada extra para o sistema de drenagem convencional.

REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2011).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.545: Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Carga Variável**. 2021.

_____. **NBR 13.292: Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Granulares à Carga Constante - Método de Ensaio**. 2021.

_____. **NBR 9895: Índice De Suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio**. 2016.

_____. **NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. 2015.

_____. **Válvula de Descarga para Limpeza de Bacias Sanitárias – Requisitos e Métodos de Ensaio: NBR 15857**. 2011.

ACIOLI, Laura Albuquerque. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE**. 2005. Dissertação (Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2005.

AGOSTINHO, M.S.P.; POLETO, Cristiano. **SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: DISPOSITIVOS**. **Holos Environment**, [s. l.], v. 12, ed. 2, p. 121, 2012. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos>. Acesso em: 14 maio 2021.

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J.A. **Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permáveis na Redução de Escoamento Superficial**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n.3, p. 21-29, 2000.

AZZOUT, Y., BARRAUD, D., CRES, F. N., ALFAKIH, E. 1994.; **Techniques alternatives en assainissement pluvial**. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 372 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto Permeáveis**: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. SP: Oficina de Textos, 2020. 176 p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 266 págs. Porto Alegre: ABRH. 2005.

BRITO, D.S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 117f. 2006. Dissertação de (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília, Brasília, DF. 2006.

CABRAL, Erika de Lima. **DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA DE CONTROLE DE DRENAGEM URBANA**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) - Universidade Federal da Grande Dourados, [S. /], 2019.

CAMPANA, NÉSTOR ALDO. **IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NAS CHEIAS URBANAS**. 1995. Tese (Pós graduando. Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS, Porto Alegre, 1995.

CARMO, NUBIA LORRAINE FREIRE DO. **APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS E SEUS EFEITOS NA**

DRENAGEM URBANA. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) – UniEvangélica, Anápolis, GO, 68 p. 2018.

CARRENHO, S. D. **Pavimento Permeável Intertravado – Estudo De Caso: Condomínio Residencial Porto das Pedras em Várzea Grande-MT.** Cuiabá, 2013.

CHRISTOFIDIS, Demetrios et al. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza.** SAÚDE DEBATE, RIO DE JANEIRO, v. 43, ed. especial 3, p. 94-108, DEZEMBRO 2019.

CIRIA (CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION). **The SUDS manual.** London, 2015.

COELHO, Gustavo de Almeida. **Utilização de Bacias de Detenção de Águas Pluviais em Planos Diretores de Macrodrenagem.** Orientador: César Augusto Pompêo. 2010. 87 f. TCC (Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2010.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia.** Porto Alegre, 2008. Disponível em:< <http://pt.scribd.com/doc/43435101/Apostila-Hidrologia>>. Acesso em: 07 set. 2021.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia.** Porto Alegre, 2008. Disponível em:< <http://pt.scribd.com/doc/43435101/Apostila-Hidrologia>>. Acesso em: 16 set. 2021.

COOPER, ALISSON MEIRA. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DO TIPO INFILTRAÇÃO TOTAL PARA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL, NA CIDADE DE ALEGRETE/RS.** 2013. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, [S. l.], 2013.

COUTINHO, Artur Paiva. **PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA NA DRENAGEM URBANA DA CIDADE DO RECIFE**. Orientador: Prof. Dr. Antonio Celso Dantas Antonino. 2011. PÓS-GRADUAÇÃO (PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL, TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS, RECIFE, PE, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10525>. Acesso em: 18 maio 2021.

CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L. **Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 3, n.4, p. 19-31, 1998.

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

DIAS, F.S., ANTUNES, P.T.S.C. **ESTUDO COMPARATIVO DE PROJETO DE DRENAGEM CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL PARA CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM AMBIENTES URBANOS**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**: CRC Press, Boca Raton, FL., 2005.

FESTI, APARECIDO VANDERLEI. (2007) “**Coletânea das Equações de Chuva do Brasil**” SÃO PAULO, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=19&SUMARIO=267>. Acesso em: 18 set. 2021.

FRÖHLICH, Nicolas da Silva *et al.* Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) versus o Convencional (SUDC). *In*: FRÖHLICH, Nicolas da Silva *et al.* **Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) versus o Convencional (SUDC)**. -.

Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE, [S. l.], -.

FURTADO, DAIANA BARCELOS. **PROJETO DE DOSAGEM E DIMENSIONAMENTO DE UM PAVIMENTO ASFÁLTICO POROSO PARA UMA ÁREA DE ESTACIONAMENTO**. 2017. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, UBERLÂNDIA – MG, 2017.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (2021).

JABÔR, Marcos. **DRENAGEM DE RODOVIAS**. [S. l.]: ABDER, 2020. 196 p. Disponível em: <https://www.abder.org.br/midia/trabalhos-tecnicos/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

LOURENÇO, Rossana. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. Trabalho Científico –Instituto Politécnico de Coimbra, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA, 2014.

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

NETO, Pedro de Souza Garrido *et al.* SISTEMAS de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Rio de Janeiro, ano 2019, v. 5, n. 10, p. 18 743 - 18 759, 10 out. 2019.

OLIVEIRA, Laurent Feu Grancer Silva. **DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE DESEMPENHO HIDRÁULICO DE ESTACIONAMENTOS COM DRENAGEM CONVENCIONAL E PAVIMENTO PERMEÁVEL, APOIADO POR MODELAGEM COMPUTACIONAL**. 2018. 79 p. TCC (Graduada em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2018. Disponível em:

<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024938.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

OSEKI, HAROLDO YUDI TADA. **Pavimento permeável: conceito, viabilidade e execução desta tecnologia construtiva**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista, SP, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/203528/000917853.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 out. 2021.

ORZENN, HENRIQUE MATEUS MERLIN. **ESTUDO DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA LOCALIZADO NO CRUZAMENTO DA RUA ARARUNA COM A AV. PERIMETRAL TANCREDO DE ALMEIDA NEVES**. 2016. TCC (Bacharel. Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CAMPO MOURÃO, 2016.

PARKINSON, D. J., MILOGRANA, M. J., CAMPOS, D. L., & CAMPOS, M. R. Relatório Drenagem Urbana Sustentável no Brasil, In: **Workshop em Goiânia – GO**. Universidade Federal de Goiás. 2003. Disponível em: <www.semrah.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=185>. Acesso em: 01 jun. 2017.

POLETO, C.; TASSI, R. **Sustainable Urban Drainage Systems**. In: **Drainage Systems**. INTECH, p. 185, 2011. p. 81-103.

PORTO, M. F. A. **Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas**. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, p.387-414.

RAMOS, C. L. et al. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, Prefeitura do Município de São Paulo, 1999.

RAMOS, Hagatha e PEDROZO, Carina. **DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL (SUDS) PARA PREVENÇÃO DE ENCHENTES [...]**. EVINCI – UNIBRASI, 2018, Curitiba [S. l.: s. n.], 2018. v. 4

REIS, R.P.A.; OLIVEIRA, L.H.; SALES, M.M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. v. 8, n. 2, p. 99-117, 2008.

REZENDE, ARTHUR JANKO *et al.* **ESTUDO DE CASO DO USO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS EM CALÇADAS NA CIDADE DE GOIÂNIA - GO**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) - Centro Universitário de Goiás – Uni ANHANGUERA, [S. l.], 2019.

SAMPAIO, F.M.T., MENEZES, S.M., FURTINI, M.B., RIBEIRO, K.D. **CORRELAÇÕES ENTRE A PERMEABILIDADE E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO CENTENÁRIO DA CIDADE DE LAVRAS MG**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 30, n. 4, p. 798-803, jul./ago., 2006

SANTOS, P.R.A.M; SILVA, J.A.B.L. **UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL PARA A DRENAGEM URBANA**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Aluno Engenharia Civil) - Centro universitário CESMAC, [S. l.], 2018.

SCHUELLER, T. (1987) **“Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs”** Washington, metropolitan Washington Council of Government.

SILVA, J.P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. 2007. Dissertação de (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, 2007.

SILVEIRA, A.L.L. **Apostila: Drenagem Urbana: aspectos de gestão**. 1ª (ed.) Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. I. **Drenagem subsuperficial de pavimentos conceitos e dimensionamento**. [s.l: s.n.].

TOMAZ, Plínio. **Previsão de Consumo de Água: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos**. São Paulo: Navegar, 2000.

TOMINAGA, Erika Naomi de Souza. **URBANIZAÇÃO E CHEIAS: MEDIDA DE CONTROLE NA FONTE**. 2013. Dissertação (Mestre em engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. (Org.); BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) e ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.

TUCCI, C. E. M., **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), 2001.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana- Revista Brasileira de Recursos Hídricos- RBRH- Volume 7 n.1 Jan/Mar 2002, 5-27**.

TUCCI, C. E. M; BERTONI, J. C. **INUNDAÇÕES URBANAS NA AMÉRICA DO SUL**. 1ª. ed. atual. Porto Alegre: ABRH, 2003. 156 p.

VIRGILLIS, AFONSO LUIS CORREA DE. **PROCEDIMENTOS DO PROJETO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS VISANDO RETENÇÃO E AMORTECIMENTO DE PICOS DE CHEIA**. 2009. TESE (Mestre em Engenharia) - Escola Politécnica, USP, SP, 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf. Acesso em: 7 set. 2021.

ANEXOS

ANEXO I

Vitória, ES, 24 de Fevereiro de 2015.

RELATÓRIOS DE SONDAGEM

Cliente: UFES GOIABEIRAS.

Local: Av. Fernando Ferrari, nº514, Goiabeiras, Vitória – ES.

Período: de 12/02/15 a 20/02/15.

Estamos apresentando nosso relatório referente aos serviços de sondagem geotécnica de simples reconhecimento, realizados na obra em epígrafe.

- I- Foram executados 03 (TRÊS) furos no local, seguindo a NBR-6484 da ABNT, totalizando 90,44 metros sondados à percussão, com circulação de água ou lama bentonítica, protegidos por tubos de revestimento de 2 ½".
- II- As perfurações foram executadas pelo processo de percussão com auxílio de circulação d'água, protegidas por tubos de revestimentos de diâmetro nominal 2 ½ " (63,5 mm).
- III- A extração de amostras foi feita de metro em metro com auxílio de um barrilete amostrador, diâmetro externo de 2" e diâmetro interno de 1 3/8".
- IV- O amostrador foi cravado 45 cm no solo indeformado, por golpes de um martelo de 65 kg caindo em queda livre de uma altura de 75 cm, anotando-se o número de golpes para cada etapa de 15 cm de penetração. O número de golpes obtidos nos fornece a indicação da compactidade (caso dos solos de predominância arenosa ou siltosa) ou de consistência (caso dos solos de predominância argilosa) dos solos em estudo.
- V- Referência de nível: RN=0,00m (A Partir do pé do padrão existente).
- VI- O termo "Impenetrável à Percussão" não significa necessariamente rocha, caracteriza qualquer obstáculo que impeça o prosseguimento da perfuração.
- VII- Em anexo apresentamos, perfil individual de cada furo de sondagem e localização dos furos de sondagem.

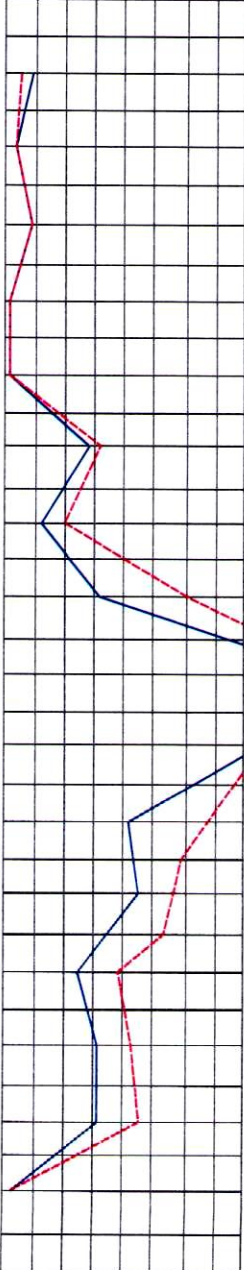
Atenciosamente,



Leonardo Freitas dos Santos
Engenheiro de Produção Civil
CREA-ES 21184/D

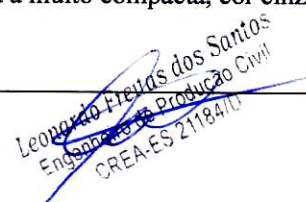
Cliente: UFES - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO.				Nº: SS063-02	
Local: Av. Fernando Ferrari, nº 514, Goiabeiras, Vitória - ES.				Cota: -0,30 m	
Furo no.: SP 02		Início em: 16/02/15		Término em: 19/02/15	
Amostrador Padrão	Diam. Interno: 34,9 mm Diam. Externo: 50,8 mm	Martelo	Peso: 65 kg Queda: 75 cm	Sondador: João Paulo Mota.	

Composição do Gráfico — SPT inicial - - - SPT final	Nível D'Água:	Início 1,10m em 19/02/15 e confirmado após 24:00 horas. (medidos na boca do furo)
---	-----------------------------	--

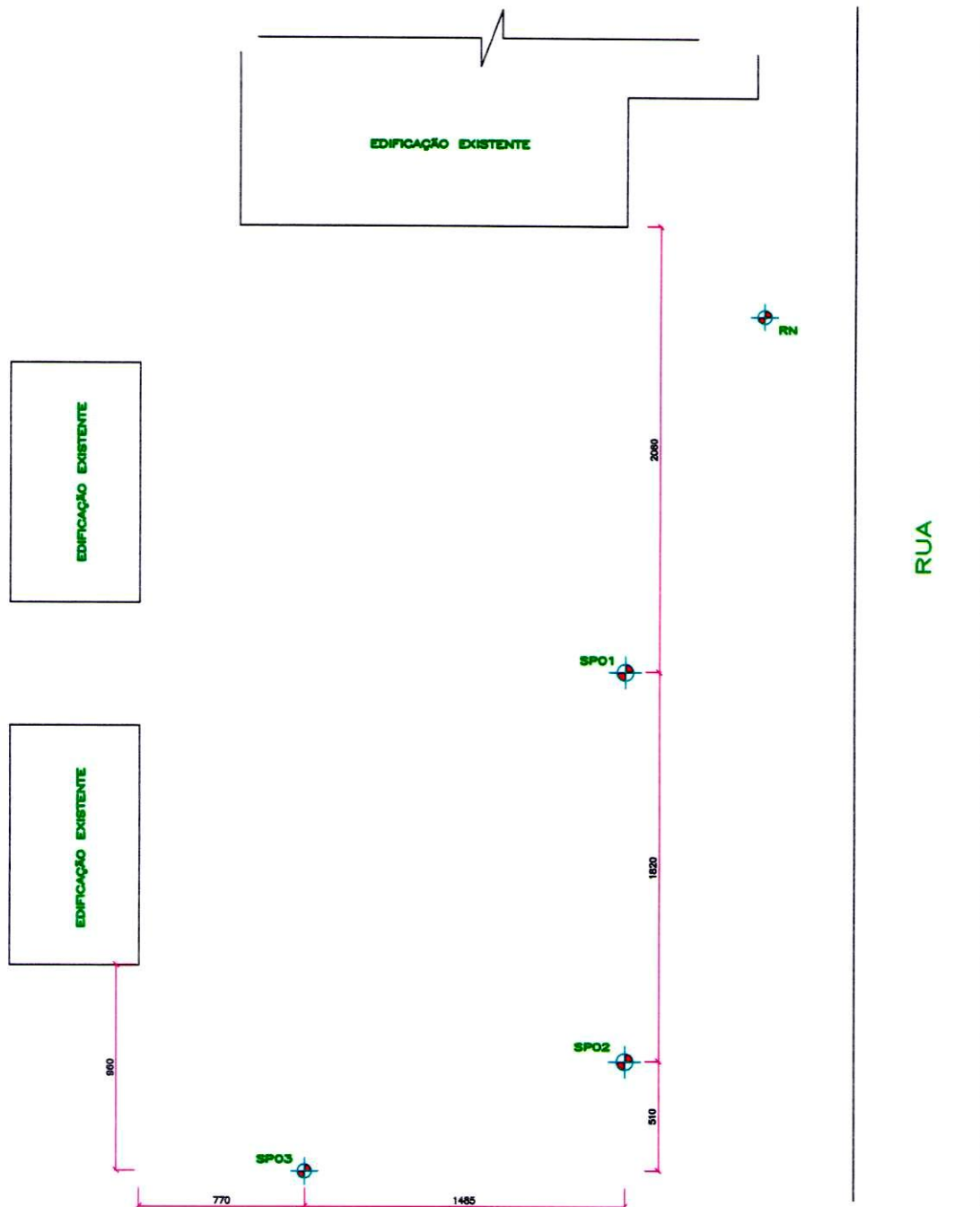
Revestim.	Número de golpes p/ cada 15cm			Número de golpes p/ os últimos 30cm 5 10 15 20 25 30 35 40								Amostra	Profund. (m)	Litologia Classificação do Material
2,00 metros de revestimento 21/2"													0,00 0,38	Areia fina, cor marrom.
												01	1,80	Areia fina, fofa, cor amarela
	2	2	1									02	2,89	Argila com areia fina, de consistência muito mole, cor marrom.
	1	1	1									03	3,90	Areia fina e média, fofa, cor marrom.
	2	2	2									04	5,90	Areia fina e média, argilosa, fofa, cor marrom.
	1/45											05	7,98	Areia fina e média, de fofa a medianamente compacta, cor clara.
	1/45											06	8,90	Areia fina e média, de medianamente compacta a compacta, cor marrom.
	6	8	8									07	10,80	Areia fina e média, de compacta a muito compacta, cor preta.
	2	4	6									08	14,90	Areia fina de compacta a muito compacta, cor amarela.
	6	10	20									09		
	21	33/12										10		
	19	28	22/7									11		
	8	13	16									12		
	9	14	13									13		
	5	8	11									14		
	6	10	12									15		
6	10	13									16			
1/45													Argila com areia fina, de consistência muito mole, cor cinza.	

Leonardo Freitas dos Santos
Engenheiro de Produção Civil
CREA-ES 21184/D

Leonardo Freitas dos Santos
Engenheiro de Produção Civil
OAB-A/SS 271649



Leandro Freitas dos Santos
Engenheiro de Produção Civil
CREA 21184-D

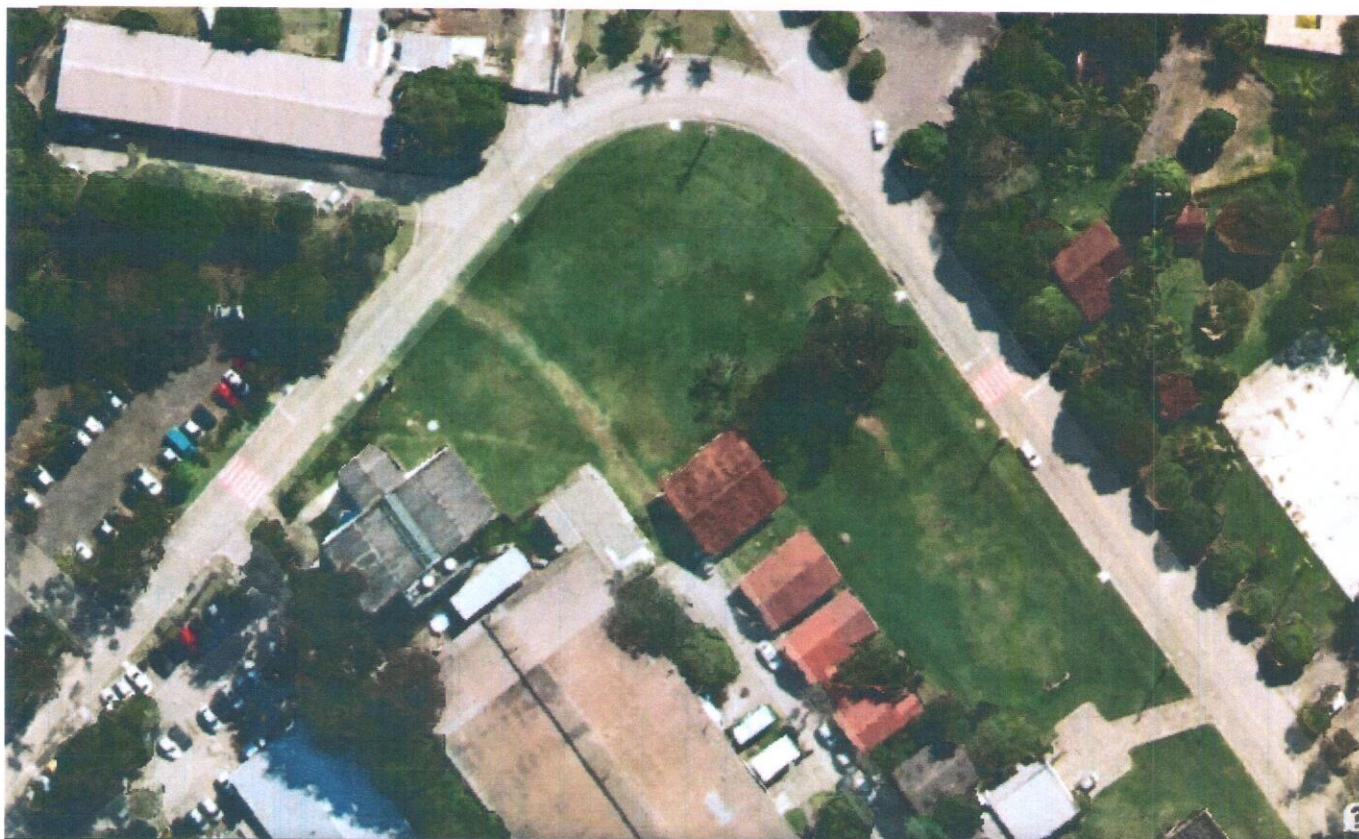


LOCAÇÃO DE SONDAGEM
SEM ESCALA

RN=0,00M A PARTIR DO PADRÃO DE ENERGIA EXISTENTE
COTAS EM CENTIMETROS

LEONARDO FERRARI DOS SANTOS Engenheiro de Produção Civil CREA-ES 2	
TÍTULO:	LOCAÇÃO DE PONTOS DE SONDAGEM
CLIENTE:	UFES - GOIABEIRAS
OBRA / LOCAL:	AV. FERNANDO FERRARI, Nº514, GOIABEIRAS, VITÓRIA - ES.
DESENHO:	FABRIZIO F. SOARES
ESCALA:	SEM ESCALA
DATA:	FEVEREIRO/2015
PRANCHA:	ÚNICA

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



Sondagem UFES - Goiabeiras.

Leonardo Freitas dos Santos
Engenheiro de Produção Civil
CREA-ES 21184/D



Leonardo Farias dos Santos
Engenheiro de Produção
CREA-ES 211849



Leonardo Freitas dos Santos
 Diretor de Produção
 04-ES-21184

ANEXO II

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANGÉLICA DORNELAS
LUCAS SANTOS CANDEIA DE LIMA
LIGIA ABREU MARTINS
GUILHERME VENTORIM FERRÃO
NEEMIAS ALMEIDA DIAS

RELATÓRIO 7: PERMEÂMETRO GUELPH

VITÓRIA
2015

ANGÉLICA DORNELAS
LUCAS SANTOS CANDEIA DE LIMA
LIGIA ABREU MARTINS
GUILHERME VENTORIM FERRÃO
NEEMIAS ALMEIDA DIAS

RELATÓRIO 7: PERMEÂMETRO GUELPH

Trabalho apresentado à disciplina de Geotecnia Experimental do curso de pós graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial de avaliação.

Orientador: Prof. Dr. Patrício José Moreira Pires

VITÓRIA
2015

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVO.....	5
3. CÁLCULOS.....	6
3.1. MÉTODO DE DUAS CABEÇAS	7
3.2. MÉTODO DE UMA CABEÇA.....	9
4. CONCLUSÃO.....	12
5. REFERÊNCIAS	13

1. INTRODUÇÃO

O Permeâmetro de Guelph foi desenvolvido por Reynolds e Elrick (1983), e posteriormente aperfeiçoado em 1985, na Universidade of Ghuelph, Canadá (Elrick, 1985).

O referido aparelho é utilizado para obter as medições da condutividade hidráulica saturada do solo (k_s), assim como o coeficiente de armazenamento, que é um valor adimensional representativo da percentagem de água gravítica que existe num determinado volume do conjunto água mais o solo, e a matriz potencial de fluxo, que é a capacidade de absorção de água no solo por efeito da capilaridade. Tais fatores são os que regem o movimento de um fluido através de um meio poroso não saturado.

2. OBJETIVO

O objetivo do ensaio de permeabilidade com o Permeâmetro de Guelph é, sobretudo, determinar o coeficiente de condutividade hidráulica na condição saturada de campo, sendo este um dos principais fatores utilizados no estudo de fluxo de água através do solo.

3. CÁLCULOS

O primeiro parâmetro a ser definido é o parâmetro da extensão capilar macroscópica, α^* , em função da textura do solo e categoria da estrutura (Tabela 1).

Textura do Solo – Categoria da Estrutura	α^* (cm ⁻¹)
Materiais compactados, sem estrutura, argiloso ou lodos, tais como, coberturas de aterro e delineadores sedimentos lacustres ou marinhos, etc.	0.01
Solos que com textura refinada (ariloso ou lodoso) e não estruturados; também podem incluir algumas areias refinadas	0.04
Os solos mais estruturados de argilas através de lamais; também incluem meio estruturado e areias finas. A categoria mais frequentemente aplicável para solos agrícolas.	0.12
Areias grossas e pedregosas; também podem incluir alguns solos altamente estruturados com rachaduras grandes e/ou numerosas, macroporos, etc.	0.36

Tabela 1 – Parâmetros de extensão capilar macroscópica

No caso em questão, por se tratar de um material compactado utilizado como aterro, adotou-se 0,01 cm⁻¹.

O fator de forma do bulbo de saturação (Figura 1) é obtido através da equação a seguir.

$$C_3 = \left(\frac{\frac{H}{a}}{2,081 + 0,121 \times \left(\frac{H}{a} \right)} \right)^{0,672}$$

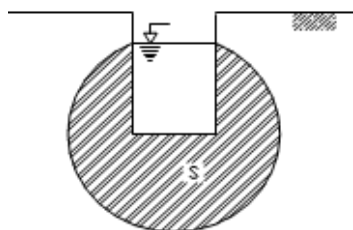


Figura 1 – Bulbo de saturação

Onde

C3: fator de forma quando $\alpha^* = 0,01 \text{ cm}^{-1}$

H: Cabeça de água no poço

a: Raio do poço

As cargas aplicadas durante o ensaio foram de 5 e 10 cm, e o raio do furo é de 3 cm. Assim, para a carga de 5cm:

$$C_{3(5)} = \left(\frac{\frac{H}{a}}{2,081 + 0,121 \times \left(\frac{H}{a}\right)} \right)^{0,672}$$

$$C_{3(5)} = \left(\frac{\frac{5}{3}}{2,081 + 0,121 \times \left(\frac{5}{3}\right)} \right)^{0,672}$$

$$C_{3(5)} = \mathbf{0,809}$$

E para a carga de 10 cm:

$$C_{3(10)} = \left(\frac{\frac{H}{a}}{2,081 + 0,121 \times \left(\frac{H}{a}\right)} \right)^{0,672}$$

$$C_{3(10)} = \left(\frac{\frac{10}{3}}{2,081 + 0,121 \times \left(\frac{10}{3}\right)} \right)^{0,672}$$

$$C_{3(10)} = \mathbf{1,218}$$

3.1. MÉTODO DE DUAS CABEÇAS

Para uma maior precisão, pode-se utilizar os dois reservatórios do permeâmetro. Assim, para determinação da condutividade hidráulica e potencial de fluxo matricial, valem as equações a seguir:

$$K_{fs} = G_2 \times Q_{H2} - G_1 \times Q_{H1}$$

Onde:

$$G_1 = \left(\frac{H_2 \times C_{H1}}{\pi \times (2 \times H_1 \times H_2 \times (H_2 - H_1) + a^2 \times (H_1 \times C_{H2} - H_2 \times C_{H1}))} \right)$$

$$G_2 = \left(\frac{H_1 \times C_{H2}}{\pi \times (2 \times H_1 \times H_2 \times (H_2 - H_1) + a^2 \times (H_1 \times C_{H2} - H_2 \times C_{H1}))} \right)$$

$$\Phi_m = G_3 \times Q_{H1} - G_4 \times Q_{H2}$$

Onde:

$$G_3 = \left(\frac{(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_{H2}) \times C_{H1}}{2 \times \pi \times (2 \times H_1 \times H_2 \times (H_2 - H_1) + a^2 \times (H_1 \times C_{H2} - H_2 \times C_{H1}))} \right)$$

$$G_4 = \left(\frac{(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_{H1}) \times C_{H2}}{2 \times \pi \times (2 \times H_1 \times H_2 \times (H_2 - H_1) + a^2 \times (H_1 \times C_{H2} - H_2 \times C_{H1}))} \right)$$

Os valores de G_1 , G_2 , G_3 e G_4 foram calculados e são apresentados na Tabela 2.

G1 (cm⁻²)	G2 (cm⁻²)	G3 (cm⁻²)	G4 (cm⁻²)
0,005	0,004	0,056	0,023

Tabela 2 – Parâmetros G_1 , G_2 , G_3 e G_4 .

Daí, os valores de K_{fs} e Φ_m podem ser encontrados pelas expressões previamente apresentadas. Os resultados obtidos constam na Tabela 3.

Kfs (cm/s)	Φm (cm³/s)
-5,98884E-05	0,00132335

Tabela 2 – K_{fs} e Φ_m pelo método de duas cabeças.

Por fim, determina-se o parâmetro α , relacionando a condutividade hidráulica ao potencial de fluxo.

$$\alpha = \frac{K_{fs}}{\varphi_m}$$

$$\alpha = \frac{-5,99 \times 10^{-5}}{0,0013}$$

$$\alpha = -0,045$$

Como obteve-se um valor negativo de α , será realizada a análise para cada uma das duas cabeças e adotados os valores médios de condutividade hidráulica e potencial de fluxo matricial.

3.2. MÉTODO DE UMA CABEÇA

A equação para o coeficiente de condutividade hidráulica por este método consta a seguir.

$$K_{fs} = \frac{C_3 Q_1}{2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_3 + 2\pi \frac{H_1}{\alpha *}}$$

A vazão para a cabeça de água do poço é:

$$Q = Y \times R_H$$

Onde:

Y: área do reservatório interno

R_H : taxa estável para a cabeça do poço

Logo:

$$Q_5 = 2,14 \times \frac{0,8}{45}$$

$$Q_5 = 0,038 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = 2,14 \times \frac{0,5}{30}$$

$$Q_{10} = 0,036 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Os coeficientes de condutividade, portanto:

$$K_{fs(5)} = \frac{0,809 \times 0,038}{2\pi \times 5^2 + \pi \times 3^2 \times 0,809 + 2\pi \frac{5}{0,01}}$$

$$K_{fs(5)} = 9,27 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

$$K_{fs(10)} = \frac{1,218 \times 0,036}{2\pi \times 10^2 + \pi \times 3^2 \times 1,218 + 2\pi \frac{10}{0,01}}$$

$$K_{fs(5)} = 6,26 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

O coeficiente de condutividade hidráulica médio na condição saturada de campo é **$7,76 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$** .

O potencial de fluxo matricial se dá pela seguinte expressão:

$$\varphi_m = \frac{C_3 Q_1}{(2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_3) \alpha * + 2\pi H_1}$$

Dáí:

$$\varphi_{m(5)} = \frac{0,809 \times 0,038}{(2\pi \times 5^2 + \pi \times 3^2 \times 0,809) \times 0,01 + 2\pi \times 5}$$

$$\varphi_{m(5)} = 0,00093 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\varphi_{m(10)} = \frac{1,218 \times 0,036}{(2\pi \times 10^2 + \pi \times 3^2 \times 1,218) \times 0,01 + 2\pi \times 10}$$

$$\varphi_{m(5)} = \mathbf{0,00063 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

O potencial de fluxo matricial médio é **$7,76 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$** .

4. CONCLUSÃO

Através da análise inicial pelo método de duas cabeças, na qual se consideram ambos os reservatórios do permeâmetro, verificou-se um valor negativo de α (-0,045), invalidando o método para o caso em estudo. Assim, houve a necessidade de se analisar pelo método de uma cabeça. Aplicou-se o método a cada uma das cargas utilizadas (5 e 10 cm) e adotou-se como resultados a média dos valores calculados, $7,76 \times 10^{-6}$ cm/s para condutividade hidráulica e $7,76 \times 10^{-4}$ cm³/s para o potencial de fluxo matricial

5. REFERÊNCIAS

BIMBATO, N.T. USO DO PERMEÂMETRO TIPO GUELPH PARA A OBTENÇÃO DA PERMEABILIDADE EM UMA ÁREA POTENCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NÃO PERIGOSOS. 2014. 71 f. Projeto de Graduação – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.