

Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Da Economia Circular Ao Desenho de Pormenor

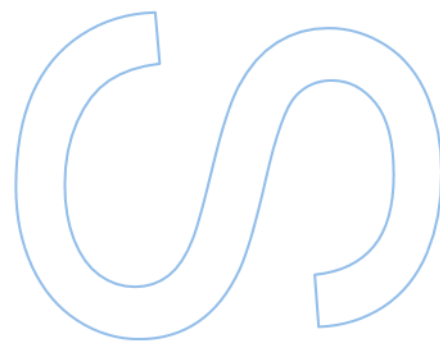
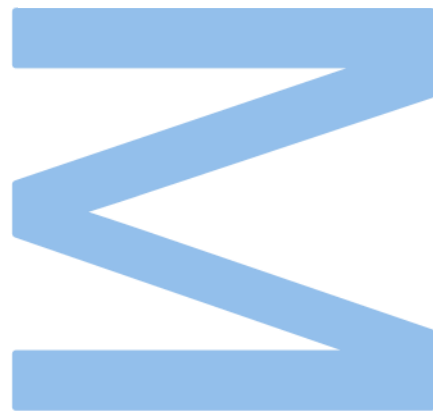
Paula Saavedra Teixeira da Costa

Mestrado em Arquitetura Paisagista

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2024



Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Da Economia Circular Ao Desenho de Pormenor

Paula Saavedra Teixeira da Costa

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Arquitetura

Paisagista

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2024

Orientador

Isabel Martinho da Silva, Professora Auxiliar, FCUP

Coorientador

José Lameiras, Professor Auxiliar, FCUP

Para ti.

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus coordenadores pela paciência, carinho que tiveram comigo. Professora Isabel Martinho da Silva e Professor José Lameiras.

Ao meu companheiro Jorge Castelar, por tudo, não mais nem menos, que tudo, nestes últimos 28 anos de partilha.

E à pessoa que irá sempre fazer-me falta, em todos os níveis da minha vida. Obrigada Bina por seres uma mãe para mim. Tenho imensas saudades tuas.

Agradeço, todo o contributo, conhecimento e dedicação à Arq. Ana Perdigão, pela partilha desinteressada de todo o conhecimento e dedicação de anos, mas também, a acima de tudo, por uma nova e terna amizade.

Às minhas sobrinhas Matilde Saavedra e Inês Castelar e à minha irmã Ana Saavedra e cunhada Luísa Castelar, que estiveram e estão aqui nos bons e maus momentos, dando-me o que mais necessitei: amor, carinho e compreensão, doçura e companheirismo. Aos meus companheiros semi-silenciosos, Totoro, Kuri e Calvin, que estiveram, literalmente, sempre ao meu lado em todos os momentos que estive em casa. E fizeram a minha vida mais iluminada e feliz.

Aos meus amigos que sabem exatamente quem são, em especial à Marta Ribeiro, Marta Marinho, Sofia Castro, Teresa Almeida, Teresa Aldora e Iva Viana, pelo amor, calma e esperança que sempre me transmitiram e mais, muito mais. Estas pessoas são mais de que amigas, são no meu coração, família.

A todos os que me esqueci como a Marta Carvalho, a Monica Faria a Inês Azevedo, mas que sabem que tenho má memória e nunca se irão irritar ou entristecer por não os ter mencionado, mas sabem o papel importante que tem na minha vida. Essas são as pessoas que eu adoro. Obrigada.

Aos jantares com amigos, ataques de pânico e indecisões que me levaram a finalizar a dissertação. Agradeço a um bom copo de whisky, pelo conforto e aquecimento nos dias frios e ao gin tónico nos dias quentes.

Resumo

A pesquisa aqui apresentada, tem como objetivo principal, demonstrar o valor do conhecimento dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS), no âmbito da Economia Circular, na prática dos Arquitetos Paisagistas.

Este objetivo reveste-se de extrema importância, face aos desafios mais críticos enfrentados pelas cidades modernas: a gestão das águas pluviais em contexto de urbanização acelerada e mudanças climáticas. A urbanização descontrolada e o crescimento urbano excessivo, muitas vezes realizados sem gestão adequada, resultaram numa impermeabilização massiva do solo. Isso não impede apenas a infiltração natural da água no solo, mas também exacerba os problemas de drenagem, contribuindo para enchentes e secas extremas. A situação é agravada pelas mudanças climáticas, que intensificam eventos climáticos extremos, evidenciando a insuficiência dos sistemas de drenagem tradicionais.

Neste contexto, esta dissertação propõe uma mudança de paradigma na gestão das águas pluviais. Dado que os sistemas de drenagem urbana atuais foram dimensionados para cenários que já não correspondem à situação existente, temos de pensar como abordar estes sistemas tradicionais, destacando a necessidade urgente de uma abordagem sustentável, na conceção e implementação de soluções SUDS, nos projetos dos arquitetos paisagistas. A gestão sustentável das águas pluviais não é apenas uma questão técnica, mas também uma prioridade, para melhorar a qualidade de vida nos centros urbanos e promover uma economia circular das águas. A solução proposta envolve a implementação de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS), que são projetados para mimetizar o ciclo hidrológico natural, reduzindo o caudal de ponta e aumentando a retenção e infiltração das águas.

O principal contributo desta dissertação é o de proporcionar um apoio científico mais pormenorizado e um conhecimento mais detalhado sobre diversas técnicas de SUDS, como bacias de retenção, sistemas de biorretenção, trincheiras de infiltração, telhados verdes, poços de infiltração e pavimentos permeáveis. Visa equipar os Arquitetos Paisagistas com as ferramentas necessárias para projetar sistemas de drenagem que sejam adaptáveis a diferentes regiões geográficas e que ofereçam benefícios políticos, económicos e ambientais significativos.

Palavras-chave: Economia Circular das águas pluviais, Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável – SUDS, Técnicas de construção de SUDS, Detalhes, Pormenores.

Abstract

The primary aim of the research presented here is to demonstrate the value of knowledge regarding Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) within the framework of the Circular Economy in the practice of Landscape Architects. This objective is of utmost importance in light of the most critical challenges faced by modern cities: the management of stormwater in the context of rapid urbanisation and climate change. Uncontrolled urbanisation and excessive urban growth, often carried out without adequate management, have resulted in massive soil impermeabilisation. This not only hinders the natural infiltration of water into the ground but also exacerbates drainage problems, contributing to both flooding and severe droughts. The situation is further aggravated by climate change, which intensifies extreme weather events, highlighting the inadequacy of traditional drainage systems.

In this context, this dissertation proposes a paradigm shift in stormwater management. Given that current urban drainage systems were designed for scenarios that no longer correspond to the existing situation, it is essential to rethink how to approach these traditional systems, emphasising the urgent need for a sustainable approach in the design and implementation of SUDS solutions in landscape architecture projects. Sustainable stormwater management is not merely a technical issue but also a priority for improving the quality of life in urban centres and promoting a circular water economy. The proposed solution involves the implementation of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), which are designed to mimic the natural hydrological cycle, reducing peak flow and increasing water retention and infiltration.

The main contribution of this dissertation is to provide more detailed scientific support and in-depth knowledge on various SUDS techniques, such as retention basins, bioretention systems, infiltration trenches, green roofs, infiltration wells, and permeable pavements. It aims to equip Landscape Architects with the necessary tools to design drainage systems that are adaptable to different geographical regions and that offer significant political, economic, and environmental benefits.

Keywords: Circular Rainwater Economy, SUDS- Sustainable drainage systems, Construction techniques for SUDS, Details.

Índice

Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Abreviaturas	xiv
Introdução.....	Erro! Marcador não definido.
1. Enquadramento do Tema	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Enquadramento Metodológico	5
2. A Economia Circular	6
2.1. Noções Base	6
2.2. A necessidade do pensamento circular no sistema de águas pluviais	8
3. A Importância do Estudo dos Sistemas de Drenagem das Águas Pluviais	12
3.1. Introdução à importância da gestão das águas pluviais.	12
3.2. As leis vigentes relativas aos sistemas de drenagem dos sistemas públicos e prediais de distribuição de águas e de drenagem de águas pluviais.	14
3.3. Rede de Drenagem das Águas Pluviais.....	15
3.4. Tipos de sistemas de drenagem das águas pluviais	18
3.5. Componentes de drenagem das águas pluviais na zona urbana.	24
3.6. Componentes do sistema de rede de drenagem das águas pluviais públicas	24
4. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável.....	26
4.1. Introdução – SUDS.....	26
4.2. Os quatro objetivos das SUDS	28
4.2.1. Cadeia de gestão das SUDS	30
4.3. Os Técnicas associadas às SUDS	32
4.3.1. Medidas Não Estruturais	32
4.3.2. Medidas Estruturais	34
5. Tipologias e esquemas de implementação das SUDS. Medidas Estruturais.....	35

5.1.	Bacias de retenção	36
5.1.1.	Bacias superficiais, céu aberto. Bacias com água permanente	38
5.1.2.	Bacias Subterrâneas, enterradas.....	52
5.1.3.	Bacias a seco; Bacias de Infiltração.	54
5.1.4.	Bacias em série	58
5.1.5.	Bacias em paralelo	59
5.2.	Bacias de Biorretenção.....	60
5.3.	Vantagens e Desvantagens do uso de Bacias.....	63
5.4.	Valas de infiltração, retenção e biorretenção	64
5.4.1.	Valas de Retenção	67
5.4.2.	Valas de Infiltração	68
5.4.3.	Valas de Biorretenção	69
5.4.4.	Diferença entre Vala de Retenção e Bacia de Retenção	71
5.4.5.	Plantas utilizadas em Valas e Bacia de Retenção	72
5.4.6.	Vantagens e Desvantagem, do uso de Valas no meio urbano.....	73
5.5.	Trincheiras de infiltração Faixas de infiltração	75
5.6.	Poços de infiltração, absorventes.....	77
5.6.1.	Poços de injeção.....	79
5.6.2.	Poços de infiltração.....	79
5.7.	Coberturas Verdes Roof Gardens	83
5.7.1.	Cobertura Verde Extensiva	84
5.7.2.	Cobertura Verde Intensiva	87
5.7.3.	Cobertura Semi-Intensiva	91
5.7.4.	A diferença entre coberturas verdes e Coberturas Invertidas.....	92
5.8.	Aproveitamento das águas pluviais dos telhados em Barris	93
6.	Pavimentos.....	94
6.1.	A controvérsia do conceito de pavimento permeável/poroso	94
6.2.	Pavimento permeável/poroso	95
6.3.	Pormenores de construção de pavimentos drenantes (porosos)	98

6.3.1. Pavimento em betuminoso poroso	98
6.3.2. Pavimento em betão poroso	100
6.3.3. Pavimento em blocos, paralelo de granito.....	102
6.3.4. Pavimento em gravilha.....	105
6.3.5. Pavimento em Grelha de Enrelvamento com geodreno	107
6.3.5.1 Pavimento em Grelha de enrelvamento sem geodreno.....	109
6.3.6. Pavimento em Resina	110
Conclusão.....	112
Referências Bibliográficas	115
Anexos	120
Anexo 1: Conceitos a reter	120
Águas Pluviais	120
Bacia Hidrográfica	120
Escoamento Subterrâneo	121
Escoamento Superficial	121
Lençóis Freáticos	122
Anexo 2: Componentes dos Sistemas de Rede Pluvial Pública	122
2.1. Sistemas de Drenagem	123
2.2. Dispositivos de Entrada.....	126
2.3. Órgãos ou Elementos Complementares	128
Anexo 3: Projeto Aldi	132
3.1. Implementação de uma bacia de retenção/amortecimento	132
Anexo 4: Parque do Campus Universitário da Asprela. Universidade do Porto: Projeto de Arquitetura Paisagista.....	139
Anexo 5: Tipos de Infiltração nos Pavimentos	141
5.1. Os 3 tipos de Infiltração	141
Anexo 6: Inclinação dos pavimentos.....	144

Lista de Tabelas

Tabela 1: Metodologia de trabalho.....	5
Tabela 2: Esquema explicativo dos problemas da drenagem pluvial atual.....	23
Tabela 3: Tipologia de bacias de retenção.....	37

Lista de Figuras

Figura 1: Economia Circular das águas pluviais. Fonte: (Anteagroup, & MacArthur, [ARUP], 2019).....	11
Figura 2: Alterações no Ciclo Hidrológico em consequência da urbanização. Fonte: (Aquaflux, s.d.).....	16
Figura 3: Fluxo de águas pluviais no ambiente urbano. Fonte: (Santos, 2010).	18
Figura 4: Representação esquemática de um sistema do tipo unitário. Fonte: (Lourenço, 2014)	19
Figura 5: Representação esquemática de um sistema tipo separativo. Fonte: (Lourenço, 2014, p. 7)	20
Figura 6: Esquema do sistema da rede coletora. Fonte: (Padrão V. M., 2016).	25
Figura 7: Pilares dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Fonte: (Vasco, 2016)	29
Figura 8: Cadeia de gestão dos SUDs. Medidas para redução dos caudais pluviais. Fonte: (Lourenço, 2014)	30
Figura 9: Corte transversal de como uma bacia superficial, de água permanente. Fonte: (Lourenço, 2014)	39
Figura 10: Plano geral de uma bacia de retenção. Fonte: (Lourenço, 2014).	39
Figura 11: Localização das bacias e respetivas obras de retenção. Fonte: Projegui... 40	
Figura 12: Localização das bacias e respetivas obras de retenção. Fonte: Projegui... 41	
Figura 13: Plano de pormenor, a montante. Fonte: Projegui.....	42
Figura 14: Plano de Fundações. Estrutura de retenção a Montante. Fonte: Projegui.. 43	
Figura 15: Plano de Estrutural. Estrutura de Retenção de Montante. Fonte: Projegui. 43	
Figura 16: Plano geral. Estrutura e Retenção a Montante. Fonte: Projegui.....	44
Figura 17: Corte. Estrutura de Retenção a Montante. Fonte: Projegui.	44
Figura 18: Pormenor. Planta de Maciço de duas estacas. Fonte: Projegui.	45
Figura 19: Corte 2-2 e 3-3- da planta do Maciço de duas estacas. Fonte: Projegui. ...	45
Figura 20: Pormenor e legenda do tipo de estaca. Fonte: Projegui.....	46
Figura 21: Plano geral. Estrutura de retenção a Jusante. Fonte: Projegui.....	47
Figura 22: Alçado. Estrutura de retenção a Jusante. Fonte: Projegui.....	47
Figura 23: Planta. Estrutura de retenção da bacia a Jusante. Fonte: Projegui.	47
Figura 24: Corte A-A. Estrutura de retenção a Jusante. Fonte: Projegui.....	48
Figura 25: Corte B-B. Estrutura de retenção da bacia a Jusante. Fonte: Projegui.....	49
Figura 26: Parque das Hortas, Guimarães, Portugal. Fonte: (Município de Guimarães-Balcão Virtual, s.d.).....	49

Figura 27: Bacia de retenção de água permanente, localizada no Parque da Cidade em Guimarães, Portugal. Fonte, (Município de Guimarães- Balcão Virtual, s.d.).	51
Figura 28: Reservatório pré-fabricado, em série. Fonte: (Rodrigues, 2010)	53
Figura 29: Corte e imagens de poço de infiltração das águas pluviais, em argolas. Para controlo de cheias. Fonte: Scielo.br	53
Figura 30: Utilização de depressões e plantas nas bermas dos arruamentos. Fonte: (Bichançã, 2006)	54
Figura 31: Bacia de retenção seca em Chemim Clères em Rouen, França. Fonte: (Matias, 2006)	56
Figura 32: Bacias secas em Los Angeles, County Park. Fonte: (Strategies, Nov, Dec. 2021)	57
Figura 33: Bacia de retenção em série ou on-line. Fonte: (Lourenço, 2014)	58
Figura 34: Desenho esquemático de uma bacia em série ou on-line. Fonte: (Matias, 2006)	58
Figura 35: Bacia de retenção em paralelo ou off-line. Fonte: (Lourenço, 2014).	59
Figura 36: Desenho esquemático de uma bacia de retenção em série ou off-line. Fonte: (Lourenço, 2014).	60
Figura 37: Secção esquemática de um sistema de bacia de retenção, com vegetação. Fonte: (Pires, 2022).	62
Figura 38: Esquemas de construção de bacias de biorretenção, jardins de chuva. Fonte: (Melo, Coutinho, Cabral, Antonino, & Cirilo, 2014)	62
Figura 39: Bacia de biorretenção de Tanner Sprins Park, Portland, Oregon. E o seu funcionamento Fonte: (Consultants, s.d.),	63
Figura 40: Corte esquemático de uma vala com vegetação. Fonte: (Ballard, et al., 2015)	65
Figura 41: Corte de uma vala, quando se encontra seca. Fonte: (Urban Green, s.d.).	66
Figura 42: Corte de uma vala, quando chove. Fonte: (Urban Green, s.d.).	66
Figura 43: Esquema de vala de retenção. Fonte: (Ballard, et al., 2015).	67
Figura 44: Esquema de vala de infiltração. Fonte: (Ballard, et al., 2015)	68
Figura 45: Corte esquemático de uma vala de biorretenção, bioswale.	70
Figura 46: Esquema de uma vala, canteiro de bioretensão num arruamento.	70
Figura 47: Corte esquemático de canteiros de biorretenção. À esquerda está representado um canteiro de infiltração, à direita um canteiro de filtração. Fonte: (Pires, 2022)	71
Figura 48: Kronsberg, Hannover, Germany © Atelier Dreiseitl. Fonte: (Urban Green, s.d.)	74

Figura 49: Países Baixos, Almedo. Fonte: (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006).....	75
Figura 50: Trincheiras de infiltração. Fonte: (Swales, 2015).....	76
Figura 51: Corte transversal de uma trincheira de infiltração. Fonte: (Commitee, 1999)	77
Figura 52: Poço de infiltração, à esquerda. Poço de Injeção à direita. Fonte: (Santos J. P., 2010).	78
Figura 53: Diagrama e plano de um poço de infiltração. Fonte: (ResearchGate, s.d.).	80
Figura 54: Detalhe de um poço de infiltração. Fonte: Arquiteta Ana Perdigão Antunes. A3 Academia de Arquitetura.	82
Figura 55: Corte, pormenor de construção, de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	86
Figura 56: Legenda do Corte, pormenor de construção, de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	87
Figura 57: Elementos integrantes das coberturas verdes extensivas. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019).	87
Figura 58: Corte, pormenor de construção de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	89
Figura 59: Legenda do Corte, pormenor de construção de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	90
Figura 60: Elementos integrantes das coberturas verdes semi-intensivas. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019).	90
Figura 61: Elementos integrantes das coberturas verdes semi-intensivas. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019)	92
Figura 62: Camadas obrigatórias gerais, para uma cobertura verde invertida. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019).	93
Figura 63: Esquema e imagem explicativa de soluções de origem " Rain Barrels". Fonte: (Gonçalves, 2016).	94
Figura 64: Corte de um pavimento poroso da PAVIston. (ver ficha técnica). Fonte: (Construção., s.d.).	99
Figura 65: Pavimento em betão poroso. Fonte: (Creations, 2019).	100
Figura 66: Corte de um pormenor de construção de betão porosos drenante. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	101
Figura 67: Pavimento em betão poroso. Fonte: (Creations, 2019).	102
Figura 68: Corte de um pormenor de construção, de um pavimento e blocos de granito. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	103
Figura 69: Pavimento em cubo de granito. Fonte: (Intertravado, s.d.).	104

Figura 70: Corte, pormenor de construção de um pavimento em gravilha. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.....	106
Figura 71: Imagem de um pavimento em gravilha amarelo limão. Fonte: (Pedra, s.d.).	106
Figura 72: Corte de um pavimento em grelha de enrelvamento, em betão, com geodreno. Fonte: Arquiteta Ana Perdigão Antunes. A3 Academia de Arquitetura.	107
Figura 73: Pavimento em grelha de enrelvamento em betão. Fonte: Parque de estacionamento, Rua da Misericórdia, Matosinhos, da autora.	108
Figura 74: Planta de um pavimento em grelha de enrelvamento. Fonte: (Acioli, 2005).	109
Figura 75: Corte de um pavimento em grelha de enrelvamento em betão em oposição a um betuminoso. Fonte: (Acioli, 2005).....	109
Figura 76: Cortes e pormenores de construção de um pavimento de enrelvamento. Fonte: (Pinterest, s.d.).	110
Figura 77: Corte, pormenor de construção de um pavimento em resina permeável. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.	111
Figura 78: Pavimento em resina permeável. Jardim público da Alameda de São Dâmaso, em Guimarães.	112

Lista de Abreviaturas

ONU	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PEAASAR	PLANO ESTRATÉGICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS
RGSPPD	REGULAMENTO GERAL DOS SISTEMAS PÚBLICOS E PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUAS E DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS
SUDS	SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL
WWC	WORLD WATER CENTER

Introdução

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do mestrado em Arquitetura Paisagista da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, intitulada “Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Da Economia Circular Ao Desenhos De Pormenor.”, contou com a orientação científica da Prof. Doutora Isabel Martinho da Silva e do Professor Doutor José Lameiras.

São várias as razões que justificaram a escolha do tema em questão. Destacamos as de natureza teórico-prática e as de natureza pessoal. Relativamente à primeira, e após em intensa pesquisa documental e bibliográfica, identificámos a necessidade de aplicar o amplo conhecimento inerente aos sistemas urbanos de drenagem sustentável ao contexto da Arquitetura Paisagista. Consideramos, inclusive, ser esta a originalidade desta pesquisa.

No que respeita às razões de natureza pessoal, resulta da vasta experiência da autora na empresa Plantas da Fonte, Lda. Nesta qualidade, sentiu por inúmeras vezes, a lacuna de um pensamento detalhado de sistemas sustentáveis, no contexto sistémico da economia circular, quando se inicia um projeto de arquitetura paisagista.

Esta Introdução está organizada em torno de três tópicos, são eles: 1. Enquadramento do Tema; 2. Objetivos (geral e específico); e 3. Enquadramento Metodológico.

1. Enquadramento do Tema

“A história do Homem é também a história da sua relação com a água e dos processos que desenvolveu para obter, utilizar e conservar esse recurso vital.” (Neves, Francisco Costa, & Bento, 2007, p. 12)

Se, em tempos remotos, o uso de água doce era residual e local, hoje, com o crescimento populacional e excesso de urbanização, encontramos-nos num ponto em que a finitude dos recursos naturais e a sua sobre-exploração, devido ao desenvolvimento desenfreado das sociedades, tornaram as alterações

climáticas um fenómeno global com repercussões na vida vegetal e animal, constituindo um sério desafio à própria sobrevivência humana.

Com a agudização do fenómeno das alterações climáticas, prevê-se que esta situação piore, devido às chuvadas torrenciais, à alteração dos ciclos de precipitação, e à desertificação. Assim, urge adotar medidas que façam uma gestão mais racional da água, aliando novas tecnologias à recuperação de técnicas ancestrais do seu uso e aproveitamento.

É aqui que entra a noção sistémica de Economia Circular, central a esta pesquisa. Segundo Dinis et al. (2020) apesar das várias definições possíveis, esta noção, centra-se sempre em duas ideias principais, nomeadamente: o encerramento do ciclo dos materiais e o aumento da eficiência na utilização dos recursos.

Podemos assim afirmar que a economia circular, no que concerne às águas pluviais consiste num sistema de gestão que busca maximizar a utilização e o reaproveitamento desses recursos hídricos, minimizando o desperdício e promovendo a sustentabilidade. Esta abordagem considera a água como um recurso valioso e procura fechar o ciclo, tratando e reutilizando as águas pluviais de forma eficiente.

De acordo com o relatório de Brundland, (1998), uma referência incontornável no campo da sustentabilidade,

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades [...] mas só se pode ter certeza da sustentabilidade física se as políticas de desenvolvimento considerarem a possibilidade de mudanças quanto ao acesso aos recursos e quanto à distribuição de custos e benefícios. (Brundtland, 1998, p. 46)

Como já tivemos oportunidade de referir, assim se compreende, a relevância da presente dissertação que trata a implementação dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), como sistemas de gestão da água pluvial, de forma a favorecer a infiltração nos solos, para os requalificar. É através da

capacidade de infiltração e retenção/armazenamento, que se contribui para a redução de inundações e evita a escassez de água.

Esta estratégia que exige o aprofundamento de conhecimentos na área da hidráulica, mais especificamente, no âmbito dos sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais, contribui assim para a redução da pressão sobre o recurso, o que é de grande importância para a vida do ser humano e do planeta Terra.

Como teremos oportunidade de desenvolver mais à frente, um dos princípios fundamentais da economia circular é o uso eficiente dos recursos. Quando aplicado à gestão da água, isso envolve a captação e o tratamento das águas pluviais para que possam ser reutilizadas em diferentes contextos, em vez de serem descartadas. Essa abordagem busca reduzir a procura de água potável de fontes naturais, como rios e aquíferos, minimizando a poluição dos corpos de água por descarga de efluentes.

Por esta razão, os SUDS são, i) contextualizados dentro dos sistemas de drenagem urbanos; ii) referenciados o seu suporte teórico, objetivos e benefícios; iii) descritas e ilustradas as medidas estruturais existentes; e iv) identificados alguns projetos de arquitetura paisagista nos quais foram aplicados- contribuindo desta forma para uma visão integrada da paisagem, por forma a que os arquitetos paisagistas, tenham mais ferramentas para colaborarem na preservação dos recursos naturais, aumentando a qualidade de vida dos seres humanos e do ambiente em seu torno.

Para além destes fatores, a integração dessas soluções nos projetos urbanos, não apenas melhora a resiliência ambiental, mas também fecha o ciclo de uso da água, criando cidades mais sustentáveis e autossuficientes, nas quais os recursos são constantemente renovados e reutilizados, criando espaços esteticamente aprazíveis.

1.1. Objetivos

O objetivo geral que orientou esta pesquisa é,

- Compreender os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS).
- Reconhecer a importância da Economia Circular.
- Demonstrar o valor do conhecimento dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS), no âmbito da Economia Circular, na prática dos arquitetos paisagistas.

Os objetivos específicos são:

- Explicar as implicações do crescimento populacional enquanto fator de agravamento da urbanização, em conjugação com o impacto das mudanças climáticas nos atuais sistemas de drenagem urbanos das águas pluviais.
- Relembrar as estruturas de drenagem existentes e a sua evolução, com o intuito de classificar os tipos de sistemas que foram implementados ao longo do tempo.
- Identificar projetos, países e cidades que já implementaram estes sistemas.
- Analisar o que a legislação nacional permite fazer no domínio das águas pluviais.
- Mostrar a importância da alteração de uma gestão tradicional das águas pluviais, para uma gestão baseada em modelos sustentáveis.
- Explicar a importância de medidas estruturais (infraestruturas), de modo a abordar a gestão da água de forma integrada, à escala de uma cidade ou de uma habitação (fit-to-purpose), para atingir um modelo económico circular.
- Descrever os SUDS disponíveis para reduzir o caudal de ponta de cheia e consequentes prejuízos.
- Apresentar um conjunto de detalhes e pormenores de sistemas de drenagem sustentáveis, que sirvam de suporte à prática dos arquitetos paisagistas.
- Mostrar a importância destes Saberes e pensamento integrado na prática dos arquitetos paisagistas.

Em suma, defendemos que o conhecimento da economia circular na abordagem dos sistemas urbanos de drenagem sustentável, no âmbito da Arquitetura Paisagista, é fundamental para o trabalho em equipa de projetistas, e para o ambiente e seres humanos.

1.2. Enquadramento Metodológico

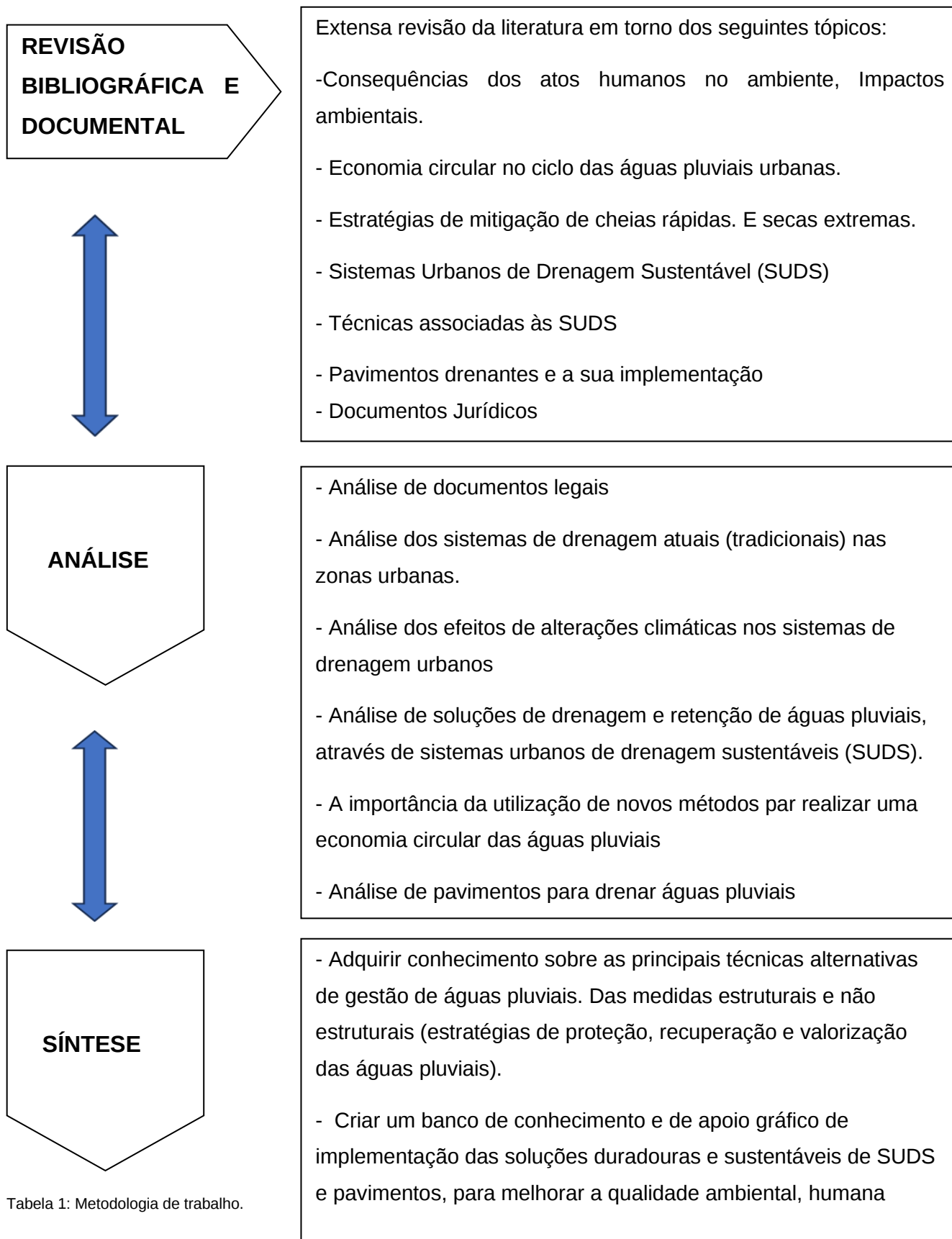


Tabela 1: Metodologia de trabalho.

A metodologia utilizada para a realização desta dissertação, compreendeu o estudo e pesquisa bibliográfica referente aos sistemas de tratamento de águas pluviais atuais e das leis portuguesas. O conceito de economia circular e a implementação desse pensamento nas águas pluviais. O conhecimento dos sistemas urbanos de drenagem sustentáveis e o seu uso no paisagismo. Procurou-se incentivar a mudança de paradigma na gestão do risco de inundações no nosso país, tendo como premissa o investimento em sistemas sustentáveis (SUDS), ao invés da cobertura dos prejuízos pós-cheias, e a reutilização das águas para usos como rega, sanitário, etc. Incentivar a economia circular.

Nesta dissertação, a metodologia baseou-se na análise de documentos, estudo das leis e sistemas de sustentabilidade. Foram consultados diversos documentos, livros, artigos científicos, dissertações de mestrado, legislação. Estudados, realizados e pedidos, desenhos de pormenores e projetos de sistemas de drenagem urbana sustentáveis.

2. A Economia Circular

2.1. Noções Base

“Num mundo onde a pobreza e a injustiça são endémicas, poderão ocorrer crises ecológicas e de outros tipos”. (Brundtland, 1998, p. 47).

A importância da água é algo que tem de deixar de ser meramente discutido, para passar a ser efetivamente resolvido nos dias de hoje. Ela é essencial para a sobrevivência de todas as formas de vida neste planeta. A Terra é constituída por 71% de água, dos quais, apenas 3% são compostos por água doce, ou seja, viável para uso humano, que na maioria se encontra nas calotas polares e em aquíferos e apenas o remanescente em águas superficiais. É o mais precioso recurso natural, e está a tornar-se escasso.

Como referido pela Organização das Nações Unidas em parceria com a ONU Água (2023), 26% da população global não tem acesso à água potável, o que perfaz 2 mil milhões de pessoas. Cerca de 46% dos habitantes do planeta não possuem serviços de saneamento seguros, o equivalente a 3,6 mil milhões de seres humanos. Este relatório de 22 de março de 2023 estima que entre 2 a 3 milhões de pessoas sofre de falta de água pelo menos uma vez por mês, o que irá duplicar até 2050, e que a população mundial sofre de doenças que proveem de questões ambientais relacionadas com contaminação de água, falta de higiene e defeitos das canalizações.

Pirari, et al. (2018) referem que as alterações climáticas serão sentidas no seu extremo até ao fim deste século. A subida prevista de 1,5°C e a subida de 0,1 metros do nível da água do mar, terão impactos sobre a biodiversidade e ecossistemas, incluindo perda de espécies, perda de água potável e uma destruição ambiental de tal magnitude, que se estima que muitas pessoas irão passar fome.

O aumento da população mundial e a sua concentração em cidades, o incremento exponencial de impermeabilização, levaram ao aumento da procura por água e alimentos. A aceleração da procura alimentar, por sua vez, reflete-se no aumento da área e do grau de intensificação da agricultura e consequente pressão sobre os recursos hídricos. A isto acrescem a desflorestação, a erosão e a poluição dos solos causadas pela agricultura e pecuária; a contaminação das águas decorrente de efluentes industriais e domésticos; e a impermeabilização dos solos; todos fatores com impacto na disponibilidade e qualidade da água. “O aumento de áreas impermeáveis está intimamente relacionado com o aumento do escoamento superficial resultante uma chuvada e tem por consequência, o aumento do caudal de ponta de cheia, comparativamente a zonas com áreas permeáveis.” (Machado, 2013, p. 1)

Segundo Thahir, Steichan e Schouler (2019), a procura global por água doce excederá os recursos viáveis em 40% até 2030; a busca de água na indústria transformadora deverá aumentar 400% até 2050, se continuarmos com o modelo atual; e a agricultura é o maior utilizador de água, seguida pela indústria, o que prejudica a disponibilidade e a qualidade da água. As alterações climáticas e o

aumento de poluentes irão agravar ainda mais a qualidade e a quantidade dos recursos de água doce disponíveis.

A falta de planeamento sustentável fabril, em termos diários, o excesso de pavimentação, trouxe-nos aos dias de hoje, e esta atuação teve como consequência a poluição dos recursos hídricos, alterações do curso das linhas de água, e a sua canalização e enterramento.

Sob estas condições, a utilização descuidada dos recursos hídricos provocou, nas últimas décadas, mudanças drásticas na qualidade e quantidade deste recurso. Medidas adotadas para responder às nossas necessidades, mas que representam um pesado custo para os ecossistemas. Sendo mais do que sensato, é urgente pensarmos na forma como habitamos, tanto no plano urbano como rural.

2.2. A necessidade do pensamento circular no sistema de águas pluviais

Como já tivemos oportunidade de referir, o conceito de desenvolvimento sustentável emergiu nos debates subsequentes à publicação do relatório Brundtland, "O Nosso Futuro Comum," em 1987, elaborado pela Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento. Este relatório fomentou o estabelecimento de diversos paradigmas, culminando, em setembro de 2015, na elaboração dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, incluídos na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Estes objetivos abrangem uma ampla gama de questões, desde a erradicação da pobreza e a preservação dos oceanos, até às mudanças climáticas e ao desenvolvimento de cidades sustentáveis, com a meta de serem atingidos até 2030.

Neste contexto de implementação de estratégias para o desenvolvimento sustentável, o conceito de Economia Circular ganha destaque. Embora discutido há décadas, este conceito é cada vez mais visto como uma solução vital para manter a qualidade de vida humana e a integridade ambiental, através da

redução dos impactos ambientais e da promoção de formas eco-eficientes e inovadoras de utilização de recursos. A Economia Circular propõe um modelo económico baseado na criação de ciclos contínuos de produção, consumo e recuperação de recursos, minimizando a extração de matérias-primas e promovendo a reutilização, para maximizar a utilização dos recursos ao longo do tempo. Ao contrário do modelo linear tradicional de "extrair-produzir-descartar," a Economia Circular promove a sustentabilidade, a preservação de recursos e a redução da pegada ecológica.

“É uma resposta ambiental, sem desassociar o crescimento económico. (...) Considera-se que o seu conceito imita a maneira como os recursos fluem nos sistemas naturais.”. (Patussi, 2023, p. 4)

A este propósito, no site da Fundação Ellen MacArthur (2014), pode ler-se que:

Economia circular é restauradora e regenerativa por design e visa manter produtos, componentes e materiais no seu ponto de maior utilidade e valor em todo o momento. O conceito é um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e melhora o capital natural, otimiza o rendimento dos recursos e minimiza os riscos do sistema, através da gestão de stocks finitos e fluxos renováveis, funcionando de forma eficaz em todas as escalas. (Foundation, 2014).

“A água não deverá ser objeto de conflitos [...] A constante procura de qualidade de vida exige um aproveitamento justo dos recursos hídricos, não só nos tempos presentes, mas evitando a hipoteca de vidas humanas.” (Bachmann, 2008, p. 09).

Esta tese foca-se nos sistemas sustentáveis de gestão das águas pluviais, incluindo sistemas de retenção, infiltração e absorção para gerir os excessos de água pluvial e armazená-los para uso em períodos de seca, como na rega de parques ou em atividades agrícolas.

No entanto, a verdadeira sustentabilidade hídrica só poderá ser alcançada com uma abordagem integrada que inclua, também, a reutilização das águas residuais, como as águas cinzentas e negras. Só assim será possível implementar uma economia circular de águas plenamente sustentável.

De acordo com Thahir, Steichan e Schouler (2019), é crucial haver uma mudança radical na forma como a água é utilizada, gerida e partilhada. A maximização da extração de valor dos ciclos da água, em todas as escalas — desde a bacia hidrográfica até à unidade industrial ou ao edifício urbano — é essencial para aumentar a eficiência na utilização dos recursos hídricos e prevenir uma maior degradação ambiental.

A abordagem da economia circular na gestão das águas pluviais e residuais oferece uma oportunidade significativa para empresas, governos e cidades de minimizarem o desperdício estrutural, enquanto geram maior valor nas indústrias e na agricultura e, simultaneamente, regeneram o ambiente. Este processo exige um plano de gestão, tanto a nível micro como macro, em que a utilização de materiais renováveis deve ser priorizada, a energia deve ser proveniente de fontes renováveis, e os sistemas naturais devem ser preservados e melhorados.

Historicamente, a estratégia de gestão das águas pluviais consistia em aumentar a capacidade dos sistemas de drenagem tradicionais. No entanto, devido às alterações climáticas — que têm provocado eventos de precipitação intensa e períodos de seca prolongada —, esta abordagem revelou-se insuficiente. Foi, então, necessário desenvolver o conceito de sistemas urbanos de drenagem sustentável (SUDS), que visam gerir o escoamento das águas pluviais de forma mais natural e eficiente, conforme se pode ver na imagem que se segue (figura 1).

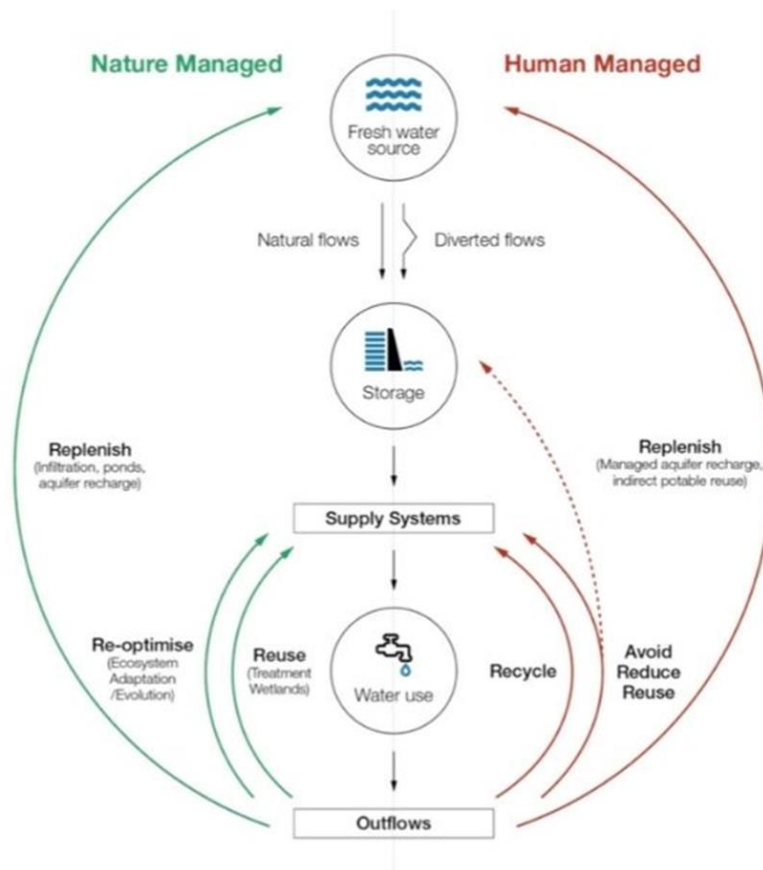


Figura 1: Economia Circular das águas pluviais. Fonte: (Anteagroup, & MacArthur, [ARUP], 2019).

Como ressalta Brundtland (1998), "um desenvolvimento sustentável requer a minimização dos impactos adversos sobre a qualidade do ar, da água e do solo," (ob.cit,p. 48) o que implica uma abordagem integrada e adaptada às particularidades de cada local. Dependendo da eficiência das leis e das práticas adotadas, é possível utilizar as águas pluviais para mitigar a seca, planejar espaços para prevenir inundações e armazenar estas águas para posterior reutilização em contextos urbanos.

Nesta conjuntura, práticas como a coleta de águas pluviais para reutilização em atividades não potáveis, como a irrigação de jardins e descargas sanitárias, bem como o tratamento avançado de águas residuais para reutilização em processos industriais, são cruciais para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. A conservação e reutilização das águas pluviais, ajustadas em ambiente urbano a fonte alternativa de abastecimento de água, tem o potencial, segundo Dinis et al. (2020), de acelerar os avanços científicos e tecnológicos no setor, enfrentando

problemas como o excesso e a escassez de água e a acumulação de poluentes nas massas de água.

A maximização da reutilização da água é um objetivo específico da Comunicação "Projeto para proteger os recursos hídricos da Europa," destacando-se como uma área prioritária no Plano Estratégico de Implementação da Parceria Europeia de Inovação em Água (Ecodepur, s.d.). Como salienta Stahel (2010), a economia circular visa maximizar o valor dos recursos, prolongando a sua vida útil e criando ciclos fechados de produção e consumo.

Em conclusão, cada projeto de gestão hídrica deve ser abordado de forma individualizada, considerando as particularidades de cada local e situação. Esta abordagem "fit-for-purpose" é essencial para garantir que as águas pluviais e residuais são tratadas de forma segura e eficiente, atendendo às necessidades específicas de cada contexto, seja ele agrícola, urbano ou industrial. Como sublinha Brundtland (1998), "o desenvolvimento sustentável não deve pôr em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra." (ob. Cit., p.49)

3. A Importância do Estudo dos Sistemas de Drenagem das Águas Pluviais

3.1. Introdução à importância da gestão das águas pluviais.

A relação do ser humano com a água é um dos pilares fundamentais da história da humanidade. Desde os primórdios, a água desempenhou um papel central no desenvolvimento das civilizações, tanto como recurso essencial para a sobrevivência, quanto como elemento crucial na organização das comunidades e no avanço tecnológico. Neves & Francisco Costa (2007) destacam que "a história do Homem é também a história da sua relação com a água e dos processos que desenvolveu para obter, utilizar e conservar esse recurso vital" (ob.cit., 2007, p. 8). Este vínculo profundo entre o homem e a água torna-se

ainda mais evidente, hoje, à medida que enfrentamos os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo crescimento acelerado da população mundial.

Nesta conjuntura, a gestão eficiente das águas pluviais estabelece-se como prioridade. Como apontado por Vaz (2004), "a drenagem urbana é o conjunto de medidas que tenham como objetivo minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmónica, articulada e sustentável" Vaz (2004 cit. por Silva, Segundo, & Lucena, 2018, p.14). Este conceito sublinha a importância de uma abordagem integrada para a gestão das águas pluviais nas áreas urbanas, considerando, não apenas a mitigação de riscos, mas também o papel fundamental que a drenagem desempenha na promoção da sustentabilidade urbana e na melhoria da qualidade de vida.

Embora existam soluções emergentes para lidar com os impactos das mudanças climáticas e o aumento da urbanização, é essencial que as estratégias de desenvolvimento urbano sejam reavaliadas e evoluam continuamente. Isso implica projetar e reorganizar os espaços urbanos com uma compreensão aprofundada dos sistemas de drenagem de águas pluviais, bem como dos processos naturais que determinam o comportamento das águas em ambientes urbanos. Para tal, é fundamental ter em conta conceitos como o ciclo hidrológico, as bacias hidrográficas, os lençóis freáticos, os sistemas de drenagem urbana, e os escoamentos subterrâneos e superficiais. (Ver no anexo A 1- Conceitos a reter).

A construção de espaços urbanos que incorporem esses princípios, é crucial para prevenir inundações, promover a sustentabilidade, e assegurar a resistência das cidades aos desafios ambientais e demográficos. Compreender como as águas pluviais surgem, circulam e são conduzidas no meio urbano permite-nos adotar práticas mais eficazes para gerir este recurso vital, contribuindo para a sustentabilidade e para o bem-estar das populações.

Assim, é evidente que a gestão das águas pluviais deve ser uma prioridade no planeamento e desenvolvimento urbano, refletindo a necessidade de harmonizar o crescimento das cidades com a preservação dos recursos hídricos e a mitigação dos riscos ambientais. Este esforço requer um compromisso contínuo

para integrar conhecimentos técnicos e científicos na formulação de políticas públicas e na implementação de práticas urbanísticas que assegurem um futuro mais sustentável e estável.

3.2. As leis vigentes relativas aos sistemas de drenagem dos sistemas públicos e prediais de distribuição de águas e de drenagem de águas pluviais.

O Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição e de Drenagem de Água e Drenagem de Águas Residuais (RGSPPDADAR), prevê a distribuição das águas e a drenagem das águas residuais, referindo-se aos “sistemas de drenagem pública de águas residuais domésticas, industriais e pluviais e ainda, os sistemas de drenagem privados, desde que destinados a utilização coletiva, contemplando fundamentalmente a rede de coletores e o destino final dos efluentes.” – Art.º 114.º.

Segundo o Art.º 11.º do mesmo diploma, as águas pluviais são as águas que provêm de chuvas, e também podem ser as águas de regas de espaços verdes, “das lavagens de arruamentos, passeios, pátios e parques de estacionamento, normalmente recolhidas por sarjetas, sumidouros e ralos”, estas têm menos componentes poluentes, químicos e orgânicos, em comparação com as águas residuais.

Mais recentemente, o Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto (regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização) veio estabelecer uma maior abrangência em termos de águas residuais e pluviais e do tratamento destas, sendo agora possível a reutilização destas águas para mais fins. O pensamento é minimizar custos e procurar formas alternativas de uso sustentável dos recursos hídricos para o futuro. A reutilização da água pluvial é um benefício para os tempos de seca, mas também de cheias, para devolver aos fluxos águas limpas e aliviar os

efeitos das precipitações intensas, trazendo benefícios ambientais, económicos e sociais.

Apesar de não ser a base desta dissertação, é bom saber que, de acordo com este novo decreto-lei, as águas residuais estão agora divididas em quatro categorias: domésticas, urbanas, industriais e águas pluviais contaminadas. Com estas subdivisões é possível uma reutilização mais eficaz e específica das águas pluviais e residuais. A reutilização de água residual e pluvial tratada é, aliás, um exemplo do que pode constituir uma medida de adaptação às alterações climáticas e uma boa prática de gestão de águas, designadamente para fazer face ao aumento da frequência e intensidade de períodos de secas e escassez de água, permitindo aumentar a resiliência dos sistemas contando-se entre as medidas previstas no Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC). Preâmbulo do DL n.º 119/2019, de 21 de agosto.

De acordo com Machado et al. (2019), pode-se concluir que,

dada água residual e pluvial contaminada, desde que seja tratada a um nível compatível com determinados usos, garantindo assim que não constitui um risco para a saúde pública e humana, e/ou ambiente, poderá ser reutilizada múltiplas vezes para esse mesmo fim. (Machado, 2019, p. 16).

Contudo, existem medidas e regras/restrições necessárias a impor, dado que existem vários exemplos já implementados, mas tem de existir inspeção para que não existam efeitos adversos à saúde pública e ao ambiente.

3.3. Rede de Drenagem das Águas Pluviais.

A rede de drenagem urbana tem como objetivo principal a condução eficiente das águas pluviais para escoamentos projetados, direcionando-as para reservatórios ou cursos de água naturais. Este sistema é crucial para garantir a circulação pedonal e automóvel, prevenir inundações, evitar a formação de

águas estagnadas — que podem tornar-se focos de contaminação e doenças — e manter o nível freático em equilíbrio.

O escoamento das águas pluviais deve ser projetado de acordo com as características climáticas e sazonais de cada local, considerando a precipitação anual média. O escoamento superficial direto ocorre quando os solos estão saturados e a quantidade de precipitação excede a capacidade de absorção. Em contrapartida, o escoamento subterrâneo, conhecido como escoamento base, é mais lento, mas desempenha um papel vital na recarga dos aquíferos, especialmente durante períodos de seca, quando a perda de humidade supera a reposição natural.

O crescimento urbano descontrolado, associado à pavimentação intensiva dos solos e às mudanças climáticas, já mostra os seus impactos na drenagem urbana, resultando em inundações, alterações no ciclo hidrológico e danos ambientais aos ecossistemas aquáticos. Estas alterações na paisagem natural causam perturbações significativas no ciclo hidrológico, como destaca a figura 2.

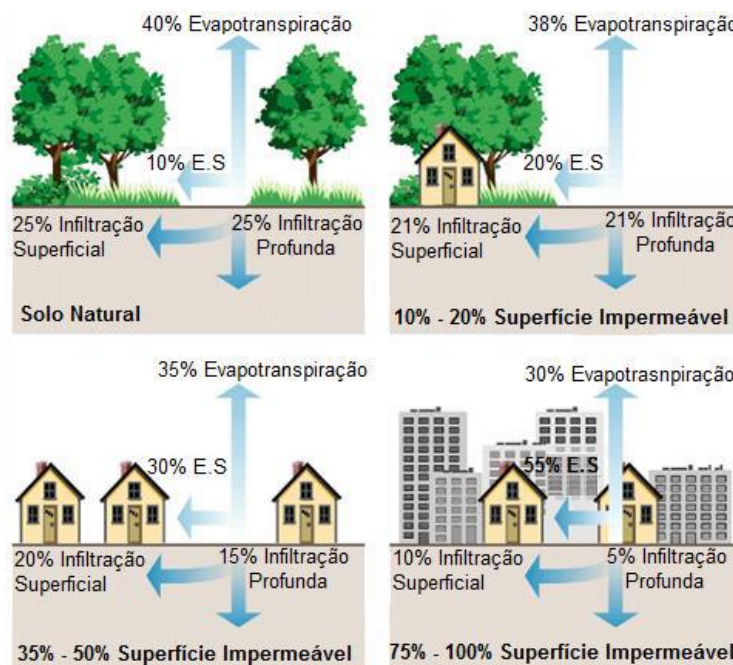


Figura 2: Alterações no Ciclo Hidrológico em consequência da urbanização. Fonte: (Aquaflux, s.d.)

De acordo com Tucci (2008), a ausência de estruturas naturais que permitam a infiltração e retenção das águas, juntamente com a presença de vastas redes de coletores projetados para remover rapidamente a água da superfície, contribui para o aumento da velocidade de escoamento e, conseqüentemente, para a redução do tempo de escoamento. Este fenómeno faz com que os picos de escoamento sejam atingidos de forma mais rápida e intensa.

A redução da infiltração das águas pluviais resulta, não só em inundações, mas também na diminuição do nível freático e do escoamento subterrâneo. Quando o escoamento é demasiado rápido, pode ocorrer a perda de água nas bacias hidrográficas. Portanto, uma má gestão da drenagem pode levar a inundações, enquanto um escoamento excessivamente rápido pode causar a perda de recursos hídricos nos aquíferos e nos sistemas subterrâneos.

Atualmente, observamos um aumento na erosão dos solos, o que resulta no transporte de sedimentos e materiais sólidos para os corpos d'água e bacias hidrográficas. Esse processo leva à contaminação dos aquíferos, à ocorrência de inundações e ao assoreamento, que é a obstrução de rios ou portos devido à acumulação de sedimentos, frequentemente causada por enchentes, construções ou outras alterações nas bacias hidrográficas. A remoção da vegetação nas margens e encostas intensifica a erosão do solo, contribuindo para o assoreamento, conforme destacado por Agostinho & Poletto (2012).

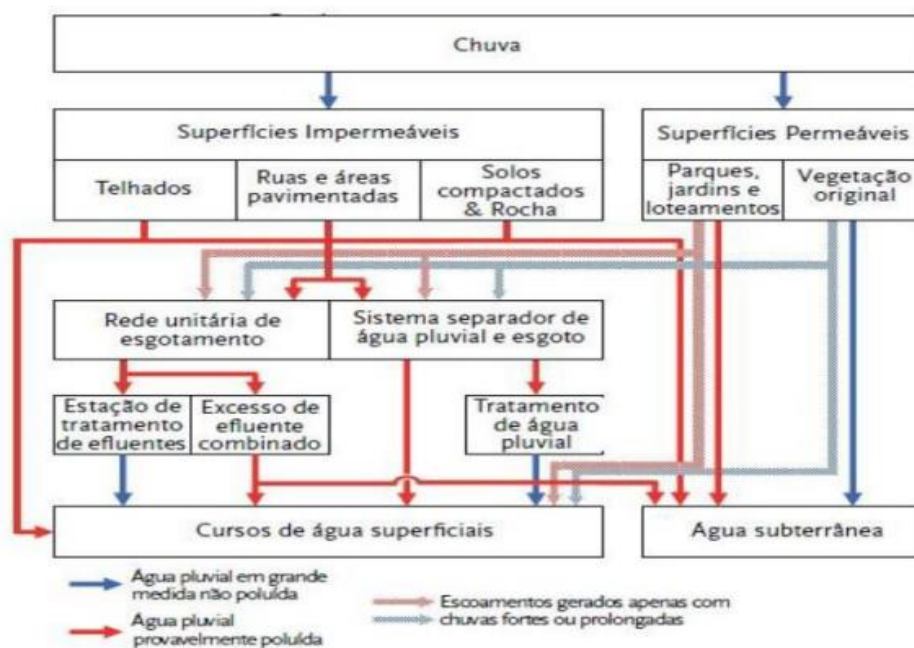


Figura 3: Fluxo de águas pluviais no ambiente urbano. Fonte: (Santos, 2010).

Os sistemas de drenagem tradicionais, como ilustrado na Figura 3, foram desenvolvidos para encaminhar rapidamente as águas pluviais a jusante, utilizando coletores subterrâneos para evitar inundações e proteger a saúde pública. No entanto, esses sistemas muitas vezes despejam as águas diretamente no meio ambiente sem passar por estações de tratamento, resultando na libertação de efluentes não tratados.

A gestão das águas pluviais é essencial para o desenvolvimento urbano sustentável. A interligação entre águas pluviais, águas residuais e tratamento de esgotos exige um planeamento integrado para evitar impactos económicos, ambientais e de saúde pública. Uma gestão inadequada destes recursos pode ter consequências graves para as cidades e para o bem-estar das suas populações.

3.4. Tipos de sistemas de drenagem das águas pluviais

Os sistemas de drenagem usados atualmente são o que chamamos de tradicionais. Foram, e são ainda, projetados para drenar a água pluvial o mais célere possível das zonas urbanas.

A lei prevê 4 tipos de sistemas de drenagem pública das águas residuais, conforme o Artigo 116.º do DR n.º 23/95, de 26 de agosto, RGSPDADAR: i) unitários; ii) separativos; iii) mistos; e iv) parciais ou pseudos-separativos. De acordo com Lourenço (2014)

Os Sistemas Unitários são constituídos por uma única rede de coletores na qual são recolhidas as águas residuais domésticas, industriais e pluviais, para, depois, serem conduzidas para longe das zonas urbanas. Nas épocas de seca extrema, estas águas vão para estações de tratamento, para, depois, serem descarregadas nos meios recetores. Quando existe precipitação elevada, a capacidade do sistema ou da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) poderá ser insuficiente, devido aos caudais elevados, e as águas

residuais podem ser diretamente descarregadas nos meios recetores, através dos descarregadores de tempestade, segundo, Lourenço (2014) – Como se pode ver na figura 4.



Figura 4: Representação esquemática de um sistema do tipo unitário. Fonte: (Lourenço, 2014)

Os sistemas Separativos são constituídos por duas redes de coletores: uma para as águas residuais domésticas e industriais mais poluentes, que são recolhidas pela ETAR; outra para a drenagem das águas pluviais ou similares, que têm menor carga de poluentes, para os meios recetores. De acordo com Lourenço (2014). Como está explicado na figura 5.

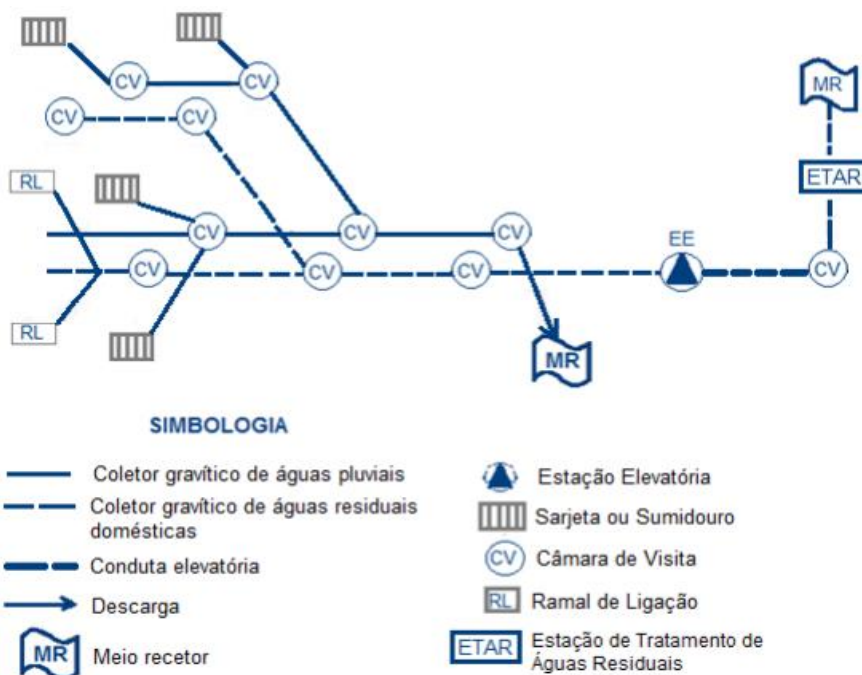


Figura 5: Representação esquemática de um sistema tipo separativo. Fonte: (Lourenço, 2014, p. 7)

Os sistemas mistos, que combinam características dos sistemas unitários e separativos, são frequentemente encontrados em cidades antigas, em crescimento ou em processo de reconstrução, como observa Lourenço (2014). Estes sistemas apresentam uma parte da rede de coletores funcionando de forma unitária, enquanto a outra parte opera como um sistema separativo.

Os sistemas separativos parciais, ou pseudo-separativos, são projetados para separar com eficiência as águas pluviais das águas residuais. Funcionam como os sistemas separativos, mas nestes admite-se, em situações específicas, a recolha de águas pluviais em coberturas de edificações para escoamento junto com as águas residuais domésticas. Embora a separação das águas pluviais e residuais seja a norma, em contextos específicos as águas pluviais podem ser direcionadas para o sistema de esgoto sanitário, conforme indicado por Lourenço (2014).

Estes sistemas, muitas vezes são confundidos com White Roofs, mas, apesar de estarem ambos relacionados com a gestão das águas pluviais no meio urbano, têm conceitos diferentes.

A legislação portuguesa é clara quanto à separação entre as redes públicas de distribuição de água e de drenagem de águas residuais, e qualquer união com sistemas privados é proibida, como estabelece o Art.º 82.º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto. Inicialmente, os sistemas unitários eram predominantes devido ao seu custo mais baixo, mas, como menciona Padrão (2016), o sistema separativo é atualmente preferido, especialmente em novas infraestruturas, para evitar a contaminação dos corpos de água recetores e garantir que as águas residuais sejam devidamente tratadas nas ETARs

Embora o sistema separativo seja o mais utilizado em Portugal, muitos dos sistemas de drenagem ainda operam como unitários, como aponta Ribeiro (2013), mesmo que tal prática seja contrária ao Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais e Pluviais (PEAASAR). Esta inadequação pode resultar em sérios riscos ambientais e de saúde pública, dada a possibilidade de contaminação com materiais perigosos,

como óleos, químicos, efluentes hospitalares, entre outros, que não devem ser misturados com as águas pluviais.

Para mitigar esses riscos, é essencial remodelar os sistemas unitários ou mistos sempre que possível, atualizando o cadastro do sistema existente e monitorando a flutuação de caudais e os indicadores de qualidade das águas residuais (Art.º 121.º do RGSPPDADAR).

A implementação de sistemas de distribuição de água e de drenagem requer um planeamento urbanístico detalhado, considerando fatores como a capacidade de abastecimento, a salubridade, o estado das infraestruturas e as necessidades futuras das populações. Além disso, é fundamental garantir que a rede pública tenha capacidade para fornecer o volume necessário de água para uso regular e combate a incêndios, especialmente em zonas urbanas de risco.

Quando não é viável a implementação de sistemas completos devido a limitações físicas ou financeiras, pode-se recorrer a sistemas simplificados, como a distribuição por fontanários, desde que a potabilidade da água seja garantida, (Art.º 6.º, ainda do mesmo diploma). Estes sistemas devem ser planeados de forma a não interferir com o edificado, o trânsito ou as atividades comerciais e industriais, seguindo regras específicas para garantir a segurança e a saúde pública.

No entanto, como observa Padrão (2016), a abordagem tradicional de drenagem, focada na remoção rápida das águas pluviais, está cada vez mais desatualizada e enfrenta limitações significativas, que exigem novas soluções para a gestão sustentável das águas pluviais nas áreas urbanas.

A Tabela 2, sistematiza o porquê de estes sistemas deverem ser repensados.

Problemas ambientais	As águas pluviais, ao escoarem por superfícies como pavimentos, telhados e arruamentos, carregam consigo uma variedade de poluentes que se diluem no escoamento superficial, resultando na contaminação das águas a jusante. Este processo é agravado quando o sistema de drenagem não consegue conter chuvas
----------------------	---

	intensas, levando ao transbordo de rios, ribeiros e ao consequente alagamento das áreas a jusante.
Desperdício de águas	Estas águas não deverão ser tratadas como esgoto, mas como um recurso renovável, sendo tratada para o efeito final desejado.
Inundações a jusante	Dão-se devido ao transbordo de água do sistema de drenagem, rio, riacho, quando ocorrem chuvas intensas e o sistema não evita as inundações a jusante.
Custos elevados	Os desafios financeiros associados às inundações e à gestão inadequada das águas pluviais destacam a importância de sistemas de drenagem eficientes e bem projetados, capazes de mitigar os riscos de inundações e reduzir os custos a longo prazo.
Custos de investimento	No que se refere aos custos de investimento, eles dependem da eficiência do projeto de drenagem. Reduzir a infiltração de água pode diminuir os custos iniciais de investimento, como a redução do diâmetro das tubagens e o tamanho das unidades de tratamento. Amorim (2007, cit. por Brandão, 2015, p. 29), sugere que estudos de investigação, recolha de dados, estimativas de infiltração e modelação hidráulica são essenciais para otimizar o investimento e evitar inundações. A adoção de estratégias eficazes para minimizar a infiltração pode resultar numa solução economicamente viável e lucrativa na gestão da rede de drenagem, de acordo com Brandão (2015).
Custos operacionais	Os custos operacionais associados à gestão das águas pluviais estão intimamente ligados ao desempenho de infraestruturas como Estações de Tratamento de Águas

	Residuais (ETAR) e estações elevatórias. Conforme Amorim (2007 cit. por Brandão, 2015, p. 29), o aumento do volume de água a tratar implica maiores encargos financeiros, especialmente em processos de bombagem e tratamento do afluente. Estes custos incluem, entre outros, “despesas com arejamento, adição de produtos químicos e caudal bombeado, que são diretamente proporcionais ao número de etapas de elevação existentes nas ETAR” (Brandão, 2015, p. 29).
Custos de manutenção	Relativamente aos custos de manutenção, “estes estão associados à reparação, substituição e renovação de materiais ou equipamentos, bem como à limpeza da rede de drenagem para lidar com infiltrações.” (Brandão, 2015, p. 29), mas é muitas vezes difícil determinar a relação direta entre causa e efeito desses encargos.

Tabela 2: Esquema explicativo dos problemas da drenagem pluvial atual.

Como podemos ver, as redes de águas pluviais suscitam grandes custos, relativamente a outras construções urbanas. De acordo com Padrão (2016) tem de se projetar de forma minuciosa, com consciência económica, de forma a ser viável, mas com um bom funcionamento. Como tal, devemos ter em conta soluções menos tradicionais quando pensamos em sistemas de drenagem de águas pluviais, como referido por Padrão (2016),

sendo assim, a gestão urbanística deve promover a integração de áreas permeáveis no seio das áreas impermeáveis, de forma a atenuar os caudais de ponta pluviais. As soluções adotadas para as redes de águas pluviais devem promover o aumento da água infiltrada, o aumento da água retida em depressões naturais do solo e o armazenamento temporário das águas pluviais em locais pré-selecionados. (Padrão, 2016, p. 2)

3.5. Componentes de drenagem das águas pluviais na zona urbana.

Os componentes de drenagem das águas pluviais em áreas urbanas abrangem tanto infraestruturas naturais quanto construídas, responsáveis pela gestão eficiente das águas da chuva. Estas incluem superfícies permeáveis, zonas de infiltração e retenção, bacias de retenção, pavimentos permeáveis, telhados verdes e outras infraestruturas verdes, que contribuem para reduzir o impacto das águas pluviais no ambiente urbano.

Os sistemas prediais de drenagem de águas residuais, como o sistema de drenagem de águas residuais domésticas, são responsáveis pela gestão das águas provenientes de instalações sanitárias, cozinhas e áreas de lavagem de roupa. Estas águas contêm quantidades significativas de material orgânico, que é biodegradável, mantendo características relativamente constantes ao longo do tempo, de acordo com Venâncio (2015).

3.6. Componentes do sistema de rede de drenagem das águas pluviais públicas

Os componentes do sistema de rede de drenagem das águas pluviais públicas referem-se à infraestrutura especificamente projetada para coletar e conduzir as águas pluviais em áreas urbanas. Esta rede é composta por elementos como sarjetas, bueiros, galerias pluviais, condutas subterrâneas, caixas de inspeção e outros dispositivos que fazem parte da rede pública. A principal função desses componentes é garantir que as águas pluviais sejam eficientemente recolhidas e transportadas, evitando inundações e outros problemas associados.

Nas zonas urbanas, os sistemas de drenagem de águas pluviais, sejam eles separativos ou unitários, são constituídos por uma rede de coletores principais e acessórios. Os coletores principais consistem em canalizações que transportam

as águas desde o ponto de entrada, como sarjetas e sumidouros, até ao seu destino final. Os acessórios, como dispositivos de entrada, câmaras de visita, descarregadores e dispositivos de descarga final, asseguram que as águas pluviais sejam encaminhadas adequadamente para a rede pública.

Além disso, esses sistemas podem incluir órgãos complementares, como descarregadores, sifões invertidos e instalações elevatórias, que ajudam a garantir o transporte eficiente das águas pluviais. A rede de coletores, como vemos na figura 6, é separada por câmaras de visita, desempenha um papel essencial na condução das águas desde as edificações e arruamentos até ao destino final, promovendo a salubridade e segurança nas áreas urbanas.



Figura 6: Esquema do sistema da rede coletora. Fonte: (Padrão V. M., 2016).

Nos sistemas de drenagem de água residual existem diferentes componentes. Em concordância com Campos (2014), estes são os acessórios comuns:

- Tubagens e ligações no interior da habitação ou edificação (designadamente ramais de descarga, tubos de queda, algerozes e caleiras, colunas de ventilação, sifões e ralos);
- Ramais de ligação à rede de drenagem pública;
- Coletores;

- Câmaras de visita;
- Sarjetas e sumidouros (dispositivos de descarga final);

As Instalações complementares nos sistemas são:

- Descarregadores;
- Instalações elevatórias;
- Sifões invertidos;
- Bacias de retenção;
- Câmaras retentoras;

Todos estes sistemas e instalações estão descritos e ilustrados no Anexo 2- (Componentes do Sistemas da Rede de Drenagem Pluvial Pública).

4. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável

4.1. Introdução – SUDS

Os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS)¹ representam uma abordagem alternativa e inovadora, para a gestão do escoamento das águas pluviais, focando na eficiência e na sustentabilidade. Esses sistemas integram técnicas alternativas que não apenas controlam o escoamento das águas, mas também visam a sua qualidade através da reutilização e da implementação de infraestruturas verdes. Ao incorporar superfícies permeáveis, zonas de infiltração, bacias de detenção e telhados verdes, os SUDS procuram mitigar os

¹Esta terminologia é usada no Reino Unido; nos Estados Unidos usa-se LID – Low Impact Development, e na Austrália, WSUD – Water Sensitive Urban Design. Nesta dissertação iremos usar a terminologia SUDS, proveniente da britânica Sustainable Drainage Systems).

impactos da urbanização e promover uma gestão ambientalmente responsável das águas pluviais.

De acordo com o Victorian Stormwater Committee (1999), os planos de gestão de águas pluviais (SWMPs) visam desenvolver estratégias e programas para a gestão eficaz das águas. Esses sistemas sustentáveis, quando projetados de acordo com as condições locais e com uma abordagem qualificada, podem reduzir significativamente os riscos de inundações e proteger o meio ambiente. “Os sistemas de drenagem alternativos têm como objetivo a valorização da água em meio urbano e a atenuação dos impactos causados pela urbanização.” (Lourenço, 2014, p. 13).

Os SUDS procuram restaurar o ciclo hidrológico natural ao controlar o escoamento superficial próximo à fonte, através da infiltração no solo, evaporação e armazenamento temporário da água, de acordo com Santos, (2010). Este controle é essencial, dado que a capacidade de escoamento, frequentemente aumentada devido à urbanização, resulta em custos elevados e problemas climáticos persistentes. A abordagem sustentável também contribui para a reutilização da água e a redução dos impactos ambientais.

Para sistematizar os benefícios dos SUDS, é possível organizá-los de acordo com os três pilares da sustentabilidade:

Benefícios Ambientais:

- Gestão e manutenção do ciclo hidrológico, promovendo infiltração e tratamento de efluentes pluviais;
- Minimização do transporte de poluição e melhoria da qualidade da água;
- Redução do impacto urbano no meio ambiente e proteção dos ecossistemas aquáticos;
- Maximização dos aspetos paisagísticos e da biodiversidade, através da integração de espaços públicos abertos, habitats e corredores pluviais;
- Promoção da recarga dos aquíferos;

- Gestão de cheias e erosão do solo.

Benefícios Sociais:

- Criação de zonas culturais e recreativas associadas a locais de importância cultural e patrimonial;
- Melhoria da qualidade da paisagem urbana e promoção de recreação aquática;
- Criação de espaços públicos abertos e harmonia e comodidade na paisagem urbana;
- Promoção de habitats naturais, através de faixas de proteção com vegetação.

Benefícios Económicos:

- Redução dos custos associados às inundações e à manutenção dos sistemas de drenagem;
- Custos de implementação comparáveis ou inferiores aos sistemas tradicionais, segundo Valiran & Tabuchi, (1992, cit. por Lourenço, 2014, p. 14);
- Eficiência na gestão de água e diminuição dos custos de água e manutenção;
- Redução do custo de água, relação custo/eficácia reduzida.

A integração dos SUDS nas áreas urbanas oferece uma solução sustentável e eficiente para o manejo das águas pluviais, atendendo tanto às necessidades ambientais, quanto às sociais e económicas.

4.2. Os quatro objetivos das SUDS

Os objetivos principais dos SUDS, segundo Vasco (2016), baseiam-se em quatro princípios, de forma a alcançar os benefícios acima mencionados. Como se pode observar na figura 7, o uso de SUDS pretende tirar o maior benefício dos caudais de escoamento das águas pluviais, principalmente na zona urbana.

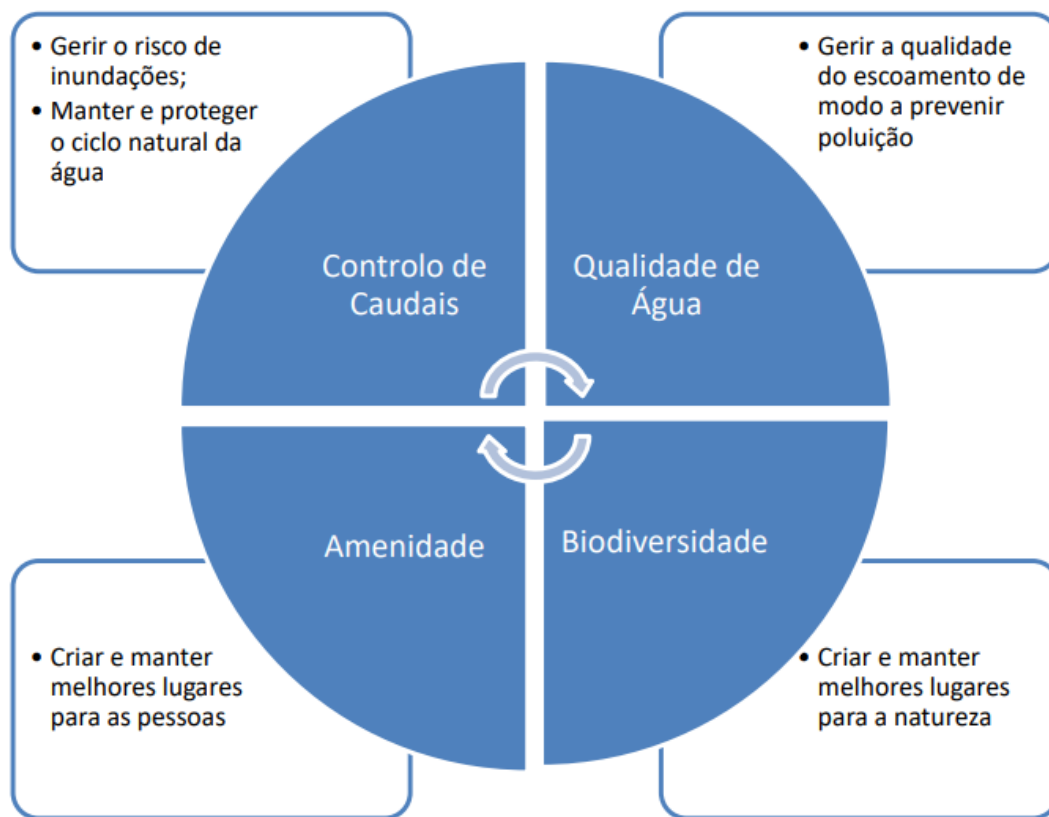


Figura 7: Pilares dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Fonte: (Vasco, 2016)

O ideal é conseguir todos estes efeitos num só local, mas estes não são dependentes uns dos outros.

Estes são os objetivos da utilização das SUDS, se forem corretamente projetados e mantidos:

- i) A qualidade da água é um dos pontos importantes para garantir o melhoramento da saúde pública e ambiental.
- ii) A biodiversidade, proporciona melhores habitats, o crescimento de plantas, através da requalificação das águas, a reconstituição da biodiversidade urbana.
- iii) A amenidade urbana, envolve aspetos de natureza social e económica, tendo como principal objetivo o desenvolvimento do território, projetado de forma eficaz e focado na saúde pública e ambiental, para que haja uma melhoria no espaço urbano.

- iv) O controlo de caudais, refere-se à habilidade de regular e gerenciar a quantidade de líquidos, gases ou materiais que passam através de um sistema, tubulação ou dispositivo.

4.2.1. Cadeia de gestão das SUDS

A gestão dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), conforme ilustrado na Figura 8, envolve várias etapas críticas que visam reduzir o caudal e o volume de escoamento das águas pluviais, além de melhorar a qualidade da água que flui para os cursos das águas pluviais, como refere Lourenço (2014).

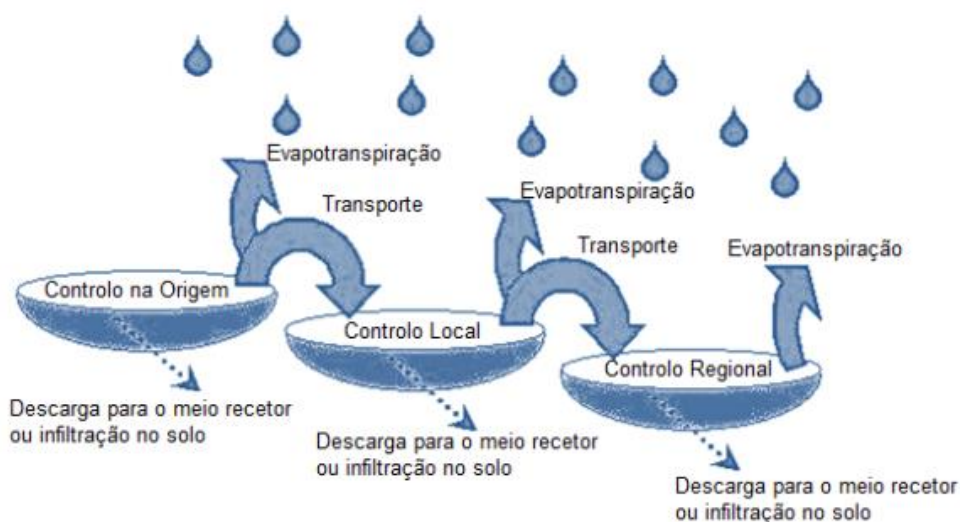


Figura 8: Cadeia de gestão dos SUDs. Medidas para redução dos caudais pluviais. Fonte: (Lourenço, 2014)

O controlo do caudal é fundamental, para minimizar o excesso de água e promover um ambiente mais sustentável e seguro. O fator de ponta ou caudal de ponta instantâneo², que é o quociente entre o caudal máximo instantâneo e o caudal médio anual das águas pluviais, deve ser gerido eficazmente para evitar impactos negativos, de acordo com Lourenço (2014). Um caudal de ponta é o

² Ver esta definição, mais aprofundada, em Anexo A 1

momento em que há o maior fluxo de água a passar por um lugar, como um rio, canal ou sistema de drenagem, num curto período de tempo.

O controlo do caudal busca limitar o excesso de águas pluviais, através de sistemas de drenagem que aumentam o volume de escoamento pluvial para jusante. Métodos para reduzir o caudal de ponta incluem o uso de técnicas que promovem a infiltração e armazenamento temporário das águas pluviais. Estas técnicas incluem poços de infiltração, bacias de retenção, coberturas verdes, trincheiras de percolação, e outros dispositivos, que podem ser implementados em áreas como parques e jardins, para atenuar e reter as águas pluviais consoante Padrão (2016).

O controlo na origem ou na fonte, refere-se às técnicas aplicadas diretamente onde as águas pluviais são geradas. O objetivo é armazenar temporariamente as águas em excesso para reduzir os caudais de ponta e promover a infiltração no solo, desde que não comprometa a saúde pública, ambiental ou social. As soluções incluem câmaras de retenção-infiltração e valas de infiltração. Este método visa integrar “zonas permeáveis no seio de áreas impermeáveis e encaminhar a água para essas zonas de modo que esta se possa infiltrar naturalmente no solo e não contribuir para o escoamento superficial.” (Padrão, 2016, p. 2).

O controlo local, abrange áreas de média dimensão, como lotes urbanos, edifícios e arruamentos, e utiliza medidas como câmaras de retenção-infiltração e pavimentos porosos.

O controlo regional é aplicado a áreas maiores, como cidades ou regiões, e inclui bacias de retenção, trincheiras e zonas húmidas (“wetlands”). Este nível de controlo é crucial para lidar com os desafios urbanos relacionados ao escoamento das águas pluviais e à poluição da água. A integração de sistemas naturais de transporte, como valas e trincheiras de filtração, é recomendada para a transição entre as diferentes fases de gestão das águas pluviais, em concordância com Lourenço (2014). Deve, assim, existir um enquadramento específico para as águas no planeamento urbano e monitorização e gestão deste. Quando se monitoriza o escoamento das águas pluviais, a qualidade da

água e o seu impacto ambiental, acham-se medidas e estratégias específicas de controlo para cada local.

A filosofia dos SUDS é replicar as condições naturais de drenagem que existiam antes do desenvolvimento urbano, conforme indicado por Ballard et al. (2007). Esta abordagem busca restaurar o ciclo hidrológico natural e reduzir os impactos adversos da urbanização.

4.3. Os Técnicas associadas às SUDS

As técnicas relativas aos SUDS dividem-se em dois grupos que iremos resumir neste trabalho. Consoante Santos (2010), são denominadas Melhores Práticas de Gestão, (BMPs – Best Management Practices) – dividindo-se em: BMPs estruturais ou medidas estruturais, que são os sistemas projetados e construídos, e BMPs não-estruturais ou medidas não estruturais, que são as práticas de prevenção da poluição.

Cada processo destes apresenta características específicas, mas todos pretendem obter a retenção e/ou escoamento do volume das águas superficiais. Estas têm de ser sempre adaptadas ao local, para atingir os objetivos: redução do volume de água, escoamento e atenuação do caudal de ponta, bem como eliminação de poluentes. Assim, tudo depende da capacidade de infiltração dos solos, dos sistemas de pré-tratamento para evitar a poluição destes, da sua inclinação, permeabilidade, impermeabilidade, localização geográfica, entre outras. As medidas de controlo de inundações são classificadas em medidas não-estruturais e medidas estruturais.

4.3.1. Medidas Não Estruturais

“As medidas não estruturais utilizam os mecanismos legais, a prevenção por meio de alerta, seguros e capacitação da população e dos profissionais.” (Tucci, 2012, p. 22)

As medidas não estruturais das águas pluviais abordam as questões não construtivas de infraestruturas. Concentram-se em estratégias de gestão e planeamento e na manutenção e impactos positivos e negativos que as águas pluviais possam ter, sobretudo nas áreas urbanas. Esta tese aborda as medidas estruturais, mas umas dependem das outras.

Lourenço (2014) refere que as medidas de carácter preventivo e corretivo, realizadas através da execução e implementação de “cariz legislativo ou institucional denominam-se por medidas não estruturais”. (ob. cit, p. 20)

Incluem normas e implementação de regulamentos a vários níveis:

- Ordenamento territorial e de zonamento, ou seja, de planeamento da ocupação do solo (PDMS), que estabelecem restrições de uso de solo, de forma a evitar construções ou a ocorrência de cheias, ou indústrias em áreas que sejam capazes de contaminar as águas pluviais, existindo zonamento de áreas inundáveis;
- Minimização das alterações ao terreno, incluindo a desmatção, a alteração da inclinação, a compactação do solo;
- Recuperação dos solos, através de vários tipos de tratamento, seja do ph, ou usando cobertos vegetais de espécies autóctones;
- Legislação e Regulamentação que exijam a implementação de práticas sustentáveis de gestão de águas pluviais em novos desenvolvimentos ou reformas;
- Estabelecimento de regras de proteção para zonas de elevada inclinação, devido ao risco de erosão;
- Proteção económica para as perdas resultantes de inundações e secas;
- Sistemas de seguro e de previsão meteorológica, para avisos de cheias e secas intensas;
- Educação pública, através de estratégias de consciencialização da população, campanhas de sensibilização ambiental sobre a importância das águas, procurando evitar a poluição e conservar as águas e promoção de práticas sustentáveis e normas e regulamentos a cumprir, envolvendo a comunidade local, através de ações de voluntariado, como limpeza de rios;

- Implementação de Práticas de Manutenção como incentivos à manutenção regular de calhas, ralos e outros dispositivos de escoamento, para evitar obstruções que possam causar acumulação de água;
- Programas de Incentivos Financeiros, consistindo na oferta de incentivos financeiros, como descontos em taxas, para proprietários que implementem práticas sustentáveis de gestão de águas pluviais;
- Monitorização e Pesquisa, através da recolha de dados e realização de pesquisas para entender melhor os padrões de escoamento das águas pluviais e como eles podem ser geridos de maneira mais eficaz;
- Utilização de Tecnologia “Inteligente”, como sensores e sistemas de alerta precoce para monitorizar o escoamento e prevenir inundações;

A abordagem através das medidas não-estruturais, é, geralmente, mais económica e tem benefícios a mais longo prazo para as comunidades e para o ambiente. Porém, as medidas não-estruturais complementam as medidas estruturais, visto que a abordagem mais técnica com medidas sustentáveis, produz uma significativa minimização do risco de cheia, gerado por caudais excecionais em meio urbano. Mas todas estas soluções devem ser vistas local a local, em função das necessidades do espaço em causa.

4.3.2. Medidas Estruturais

As medidas estruturais são intervenções físicas e construtivas aplicadas para gerir e conter o escoamento das águas pluviais, especialmente em áreas urbanas. “As medidas estruturais utilizam-se em obras para permitir evitar que as inundações ocorram, como diques, barragens, canalizações, entre outras. Estas medidas exigem maior investimento e geralmente não são tão viáveis economicamente por si só” (Tucci, 2012, p. 23). Por isso, é crucial combiná-las com medidas não-estruturais para maximizar a eficiência na gestão das águas pluviais.

As medidas estruturais para as águas pluviais, implicam a realização de projeto e construção deste. Intervenções físicas e construtivas de estruturas que possam gerir e conter, reter e melhorar a condução do escoamento das águas pluviais, principalmente nas zonas urbanas, de forma a combater as inundações, para proteger a qualidade da água e promover a sustentabilidade ambiental. Estamos a falar de soluções de engenharia hidráulica.

O uso de medidas estruturais, como suprarreferido deve ser efetuado juntamente com o de medidas não estruturais. Apesar de estas serem mais dispendiosas, são, na prática, as que esta dissertação pretende unir com as estruturas já implementadas de escoamento e retenção das águas pluviais. O tipo de canalização já usado, seja misto ou unitário, pode ser complementado com estas estruturas.

As medidas estruturais, segundo Lourenço (2014), atuam diretamente nos cursos de água, alterando o seu escoamento natural para mitigar os efeitos das cheias. Exemplos destas intervenções incluem bacias de retenção, trincheiras de infiltração, bioswales (trincheiras vegetadas), pavimentos permeáveis e coberturas verdes. Estas estruturas são projetadas para reduzir o escoamento superficial e, em alguns casos, reter águas, sendo fundamentais para a gestão em grandes áreas urbanas.

Estas medidas devem ser cuidadosamente integradas nos projetos urbanos desde o início para minimizar o impacto ambiental e os custos. A aplicação de técnicas como o controlo na origem, o controlo local e o controlo regional, é essencial para um planeamento urbano resiliente. Ao projetar essas estruturas desde o início, é possível alcançar um equilíbrio entre a eficiência funcional e a sustentabilidade económica e ambiental.

5. Tipologias e esquemas de implementação das SUDS. Medidas Estruturais.

5.1. Bacias de retenção

As bacias de retenção, conhecidas em inglês como "Retention basins," são estruturas projetadas para armazenar temporariamente o excesso de água pluvial, libertando-a gradualmente para evitar sobrecargas no sistema de drenagem. Estas estruturas têm como objetivo regularizar os caudais pluviais afluentes, restituindo a jusante os caudais necessários de forma controlada. Segundo Avilez-Valente (2020), as bacias de retenção funcionam como:

estruturas de armazenamento de águas pluviais, com o objetivo de regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o seu valor com limites previamente fixados, ou impostos pela capacidade de vazão do meio recetor ou de um coletor ou emissário existente ou a construir. (Avilez-Valente, 2020 , p. 14).

Esta função de regularização dos caudais é fundamental para evitar inundações e garantir que o escoamento da água pluvial não exceda a capacidade do sistema de drenagem. Matias (2006) reforça que o objetivo das bacias de retenção é "regularizar os caudais, possibilitando a restituição a jusante de caudais compatíveis com o limite previamente fixado ou imposto pela capacidade de vazão de um coletor existente ou a construir". (ob. cit., p. 9).

Legalmente, o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, no seu Artigo 176.º, define as bacias de retenção como estruturas destinadas a regularizar o escoamento pluvial, amortecendo os caudais de ponta e compatibilizando-os com os limites estabelecidos.

Além disso, essas bacias podem apresentar várias vantagens adicionais, como:

- Contribuir para o melhoramento da qualidade das águas pluviais;
- Contribuir para o melhor comportamento do sistema de drenagem global onde se encontram integradas, quando da ocorrência de precipitações excecionais;
- Possibilitar a constituição, quando se trate de bacias de água permanente, de polos de interesse turístico e recreativo, especialmente quando integradas no tecido urbano ou em zonas verdes;
- Constituir reservas contra incêndios ou para fins de rega.

De acordo com o argumento de Albino (2013) ele refere que,

O escoamento de águas pluviais urbanas percorre, por vezes, longas distâncias, até ao destino final, através de coletores enterrados ou canais revestidos, o que implica, em regra, investimentos significativos. As bacias de retenção são consideradas uma alternativa funcional e mais económica, que consiste na recolha dos caudais que ultrapassam um determinado valor pré-estabelecido e o seu armazenamento em bacias ou lagoas. (Albino, 2013, p. 46).

Existem vários tipos de bacias de retenção, como está ilustrado na tabela 3:

As bacias de retenção são o único dispositivo descrito no referido Art.º 176.º que dita a sua função e finalidade:

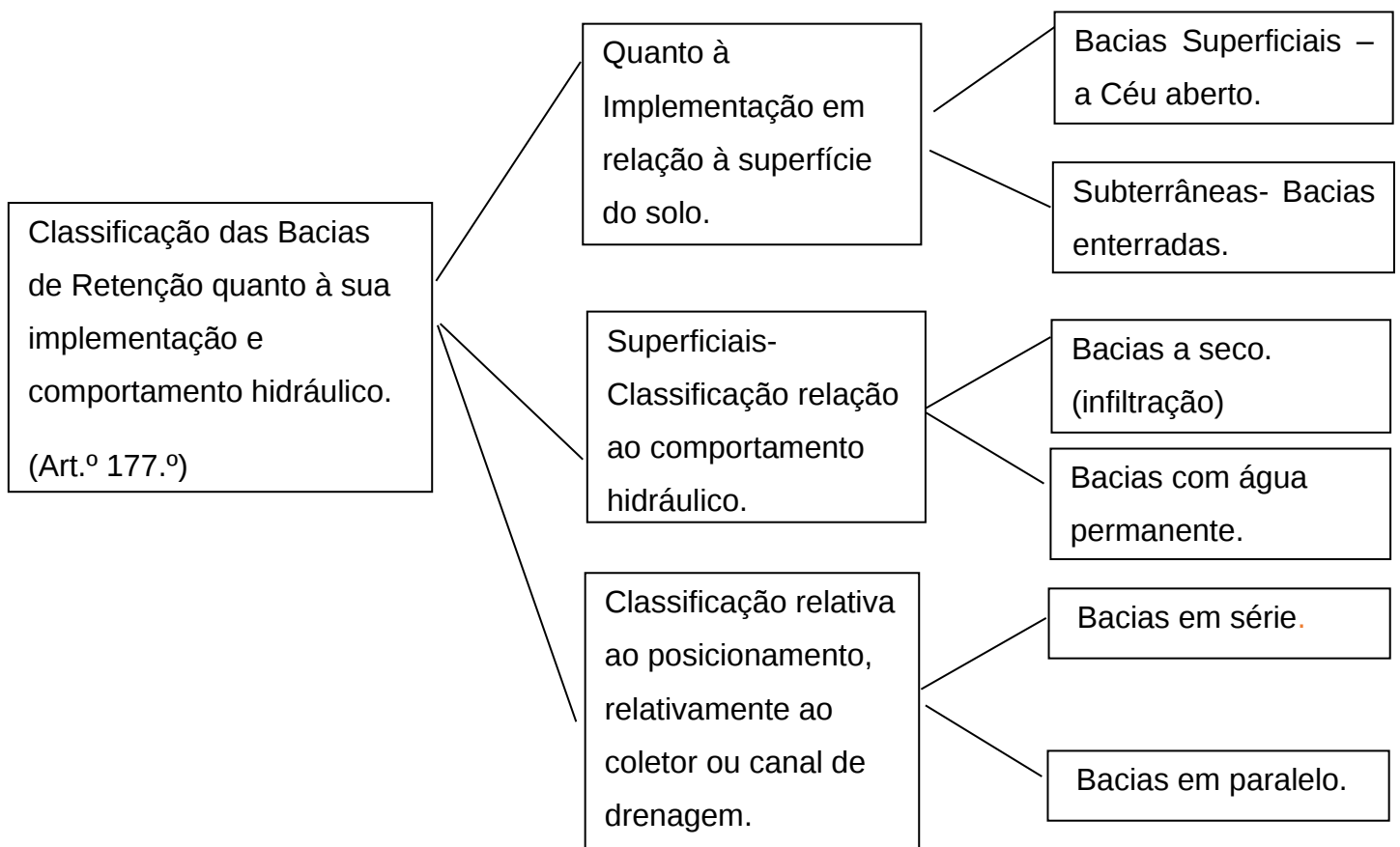


Tabela 3: Tipologia de bacias de retenção.

5.1.1. Bacias superficiais, céu aberto. Bacias com água permanente

As bacias superficiais a céu aberto, são o que denominamos de bacias superficiais, reservatórios ao ar livre. Que são realizadas como as bacias com água permanente. De acordo com Branco (2022), essas bacias são geralmente construídas em terra, com taludes reforçados ou diques com proteção lateral, como se pode observar nas figuras 9 e 10.

Podem ser resultado “da simples interceção de uma linha de água em local de fisiografia favorável, através de uma pequena barragem ou açude, ou de zonas em depressão natural com solos de características adequadas.” (Bichanção, 2006, p. 75). “Caracterizam-se por manterem água de forma constante, mesmo na ausência de eventos pluviométricos, com o volume de água armazenado a aumentar naturalmente durante as precipitações.” (Lírio, 2022, p. 18).

A conceção das bacias superficiais depende das intenções do projeto, variando conforme o uso do espaço, seja ele paisagístico, de escoamento, ou com foco na promoção da biodiversidade. Estas bacias podem ser desenhadas para atuar como reservas de incêndio ou para fins de rega, e são frequentemente utilizadas para a valorização paisagística e a criação de áreas de lazer.

Atualmente, as bacias superficiais desempenham um papel crucial na gestão das águas pluviais em áreas urbanas. Elas são projetadas para armazenar águas de cheias, prevenir inundações e controlar a qualidade da água. Além de terem uma função prática, essas estruturas também podem contribuir para a estética e a biodiversidade do espaço urbano.

Existem numerosos exemplos de bacias superficiais em todo o mundo, como em Pequim, China, onde fazem parte da estratégia de coordenação das águas pluviais; em Singapura, onde não apenas gerem e controlam a água pluvial, mas também melhoram a sua qualidade. Outras cidades como Cidade do México, Tóquio, Londres, Curitiba, Melbourne, e Guimarães, implementaram bacias superficiais para regularizar as chuvas intensas e mitigar as inundações. Cada uma dessas intervenções é cuidadosamente projetada, levando em conta o

clima e as necessidades locais, de modo a adequar as dimensões das bacias às condições climáticas específicas.

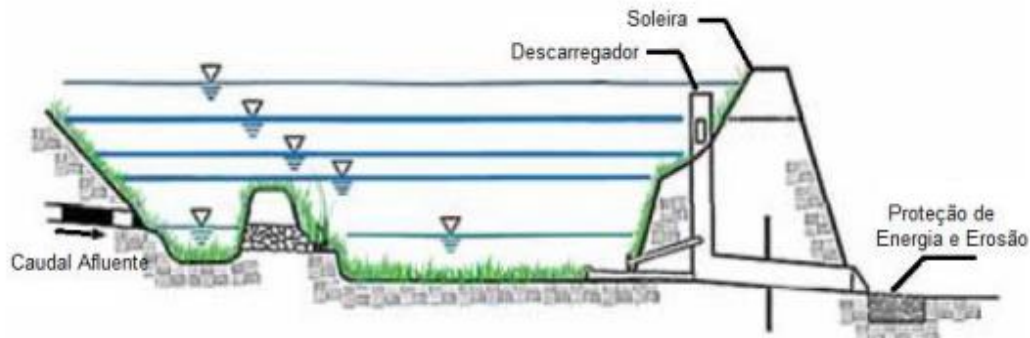


Figura 9: Corte transversal de como uma bacia superficial, de água permanente. Fonte: (Lourenço, 2014)



Figura 10: Plano geral de uma bacia de retenção. Fonte: (Lourenço, 2014).

O projeto aqui apresentado refere-se à Intervenção Hidráulica e Paisagista na Ribeira de Couros e Zona das Hortas, situa-se na cidade de Guimarães, Portugal, realizado pela empresa Projegui e Ferreira Lemos, Engenharia, como se pode observar na imagem 11. O objetivo deste projeto foi proporcionar uma solução eficaz para a mitigação das frequentes inundações nas zonas baixas da cidade, particularmente na área de Couros, através da construção de duas bacias de retenção e das estruturas de retenção associadas. A solução foi concebida considerando as condicionantes arquitetónicas e ambientais da zona central da cidade, integrando-se no arranjo urbanístico da área.

A primeira bacia de retenção, situada a montante, foi projetada para amortecer e regularizar cheias com períodos de retorno de aproximadamente dois anos. A segunda bacia, localizada a jusante, tem como função regularizar os caudais afluentes da rede de drenagem de águas pluviais que abrangem parte do centro histórico e da zona alta da cidade. Para este fim, foi proposto e executado um canal subterrâneo, que se inicia na confluência da Avenida Alberto Sampaio com a Rua Dr. José Sampaio, e termina na segunda bacia a jusante, passando exclusivamente por espaços públicos.

A execução de tal canal, disposto ao longo da Rua Dr. José Sampaio, com profundidades a variar entre os dois e os seis metros, impôs cuidados especiais, seja no respeitante à escavação propriamente dita, cuja metodologia é objeto de especificação própria, seja no respeitante ao eventual conflito que poderá vir a surgir com as redes já instaladas na rua, tais como a de água, a de saneamento, a elétrica, a de telefones e a de gás. A solução que se propõe e que recolherá as águas pluviais a montante do Largo República do Brasil e as conduzirá até à bacia de retenção a jusante é composta por dois troços distintos. De montante para jusante, compreende um primeiro troço concretizado com a instalação de um canal subterrâneo executado com pré-fabricado do tipo box-culvert (1.50x1.00x0.16); um segundo troço, concretizado com a instalação de um tubo de betão com Ø1500mm.

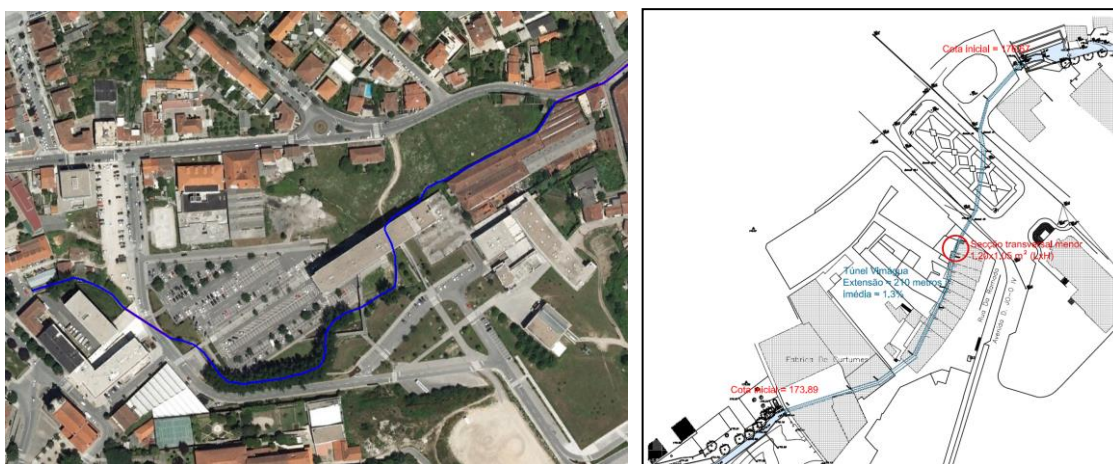


Figura 11: Localização das bacias e respetivas obras de retenção. Fonte: Projegui.

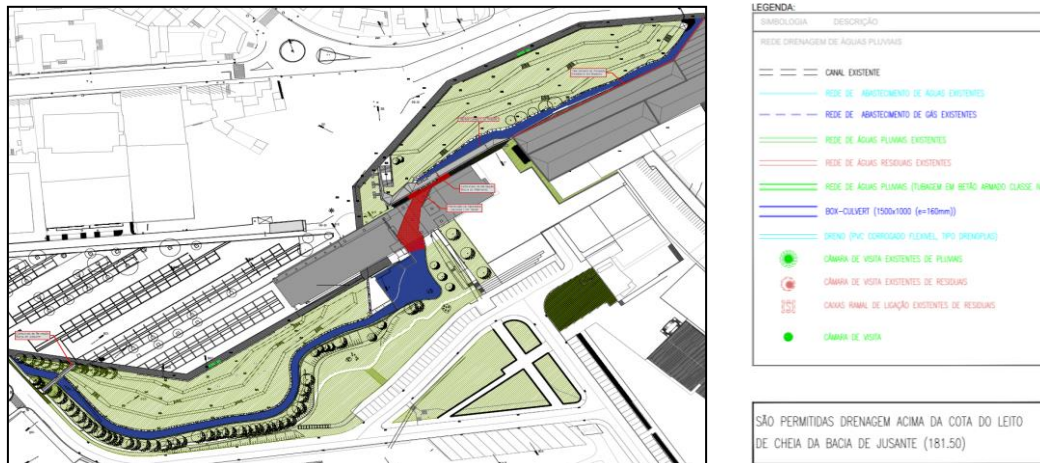


Figura 12: Localização das bacias e respetivas obras de retenção. Fonte: Projegui.

As bacias de retenção, como se observa na figura 12, foram desenhadas para funcionar em complementaridade, assegurando a regularização dos caudais na secção condicionante e permitindo a passagem de um caudal de aproximadamente $2\text{m}^3/\text{s}$ para jusante. Desta forma, garantiu-se o funcionamento em superfície livre das secções enterradas da Ribeira de Couros, evitando as inundações que habitualmente afetavam a cidade de Guimarães.

A bacia de retenção localizada junto ao Parque da Cidade, com uma capacidade de 10.000 m^3 , em combinação com as outras bacias, permite regularizar cheias com períodos de retorno de cinco anos. Contudo, esta capacidade é inferior ao desejável, que seria de 10 a 20 anos. A limitação foi resultado de uma decisão urbanística dos serviços técnicos do município, que optaram por não aumentar a capacidade da bacia, limitando suas dimensões e profundidade.

Soluções estruturais:

A estrutura de retenção das bacias é toda ela constituída por elementos de betão armado, com duas distintas soluções.

Quanto à estrutura de retenção da bacia de montante, como se destaca na figura 13, é toda ela em betão armado, é constituída por fundações em estacaria, coroadas pelos respetivos maciços de encabeçamento nos quais se apoiam e encastram contrafortes que suportam a parede de retenção propriamente dita.

Com o objetivo de minimizar o impacto da obra nos edifícios vizinhos é também proposta a execução de uma cortina de estacas secante.

Salienta-se ainda existência dois passadiços em estrutura metálica, a qual suporta uma laje em chapa nervurada com 13mm.

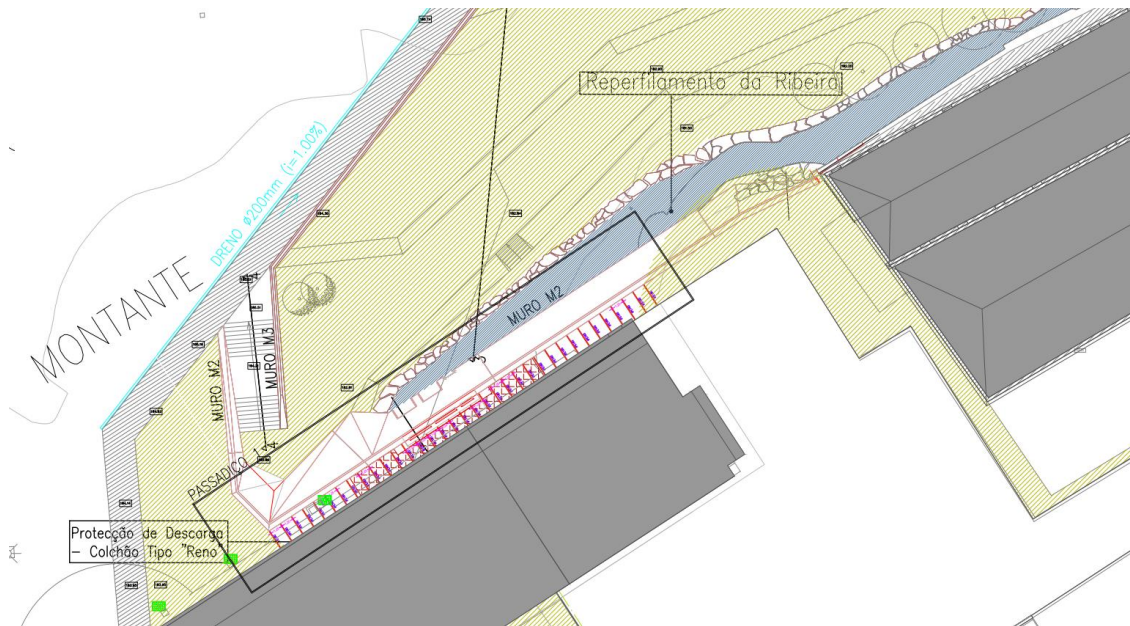


Figura 13: Plano de pormenor, a montante. Fonte: Projegui.

A bacia situada mais a montante, com capacidade para armazenar cerca de 7.600 m^3 , tem como função regularizar os caudais de uma cheia para períodos de retorno da ordem dos 2 anos. A estrutura de retenção está munida de duas comportas (sendo uma delas redundante) que funcionarão apenas para caudais de cheia com valores consideráveis bem como de um orifício de pequenas dimensões também munido de uma comporta. Este orifício, em situação normal, estará sempre aberto. Pode-se ver a sua estrutura e funcionamento destacado nas figuras 14 até à figura 20.

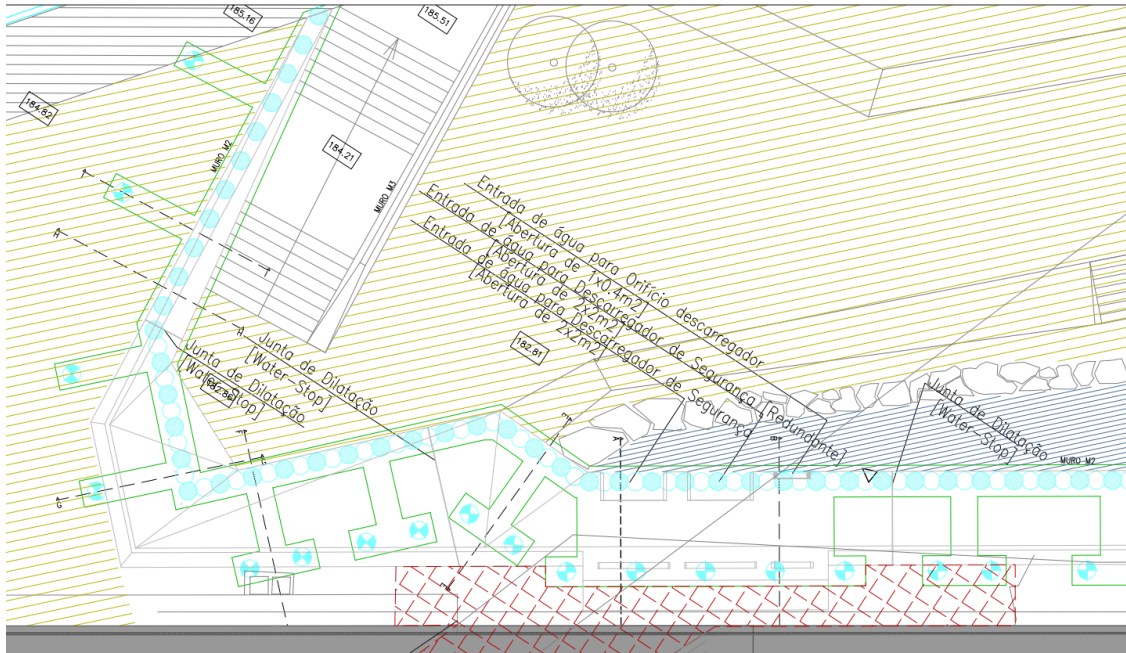


Figura 14: Plano de Fundações. Estrutura de retenção a Montante. Fonte: Projegui.

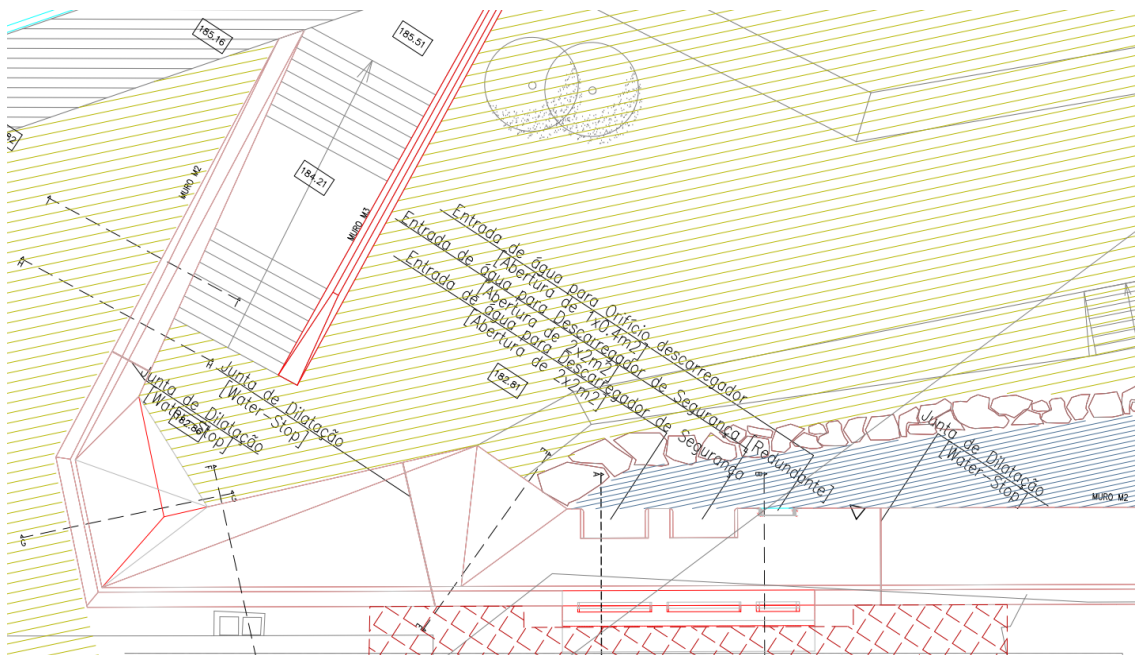


Figura 15: Plano de Estrutural. Estrutura de Retenção de Montante. Fonte: Projegui.

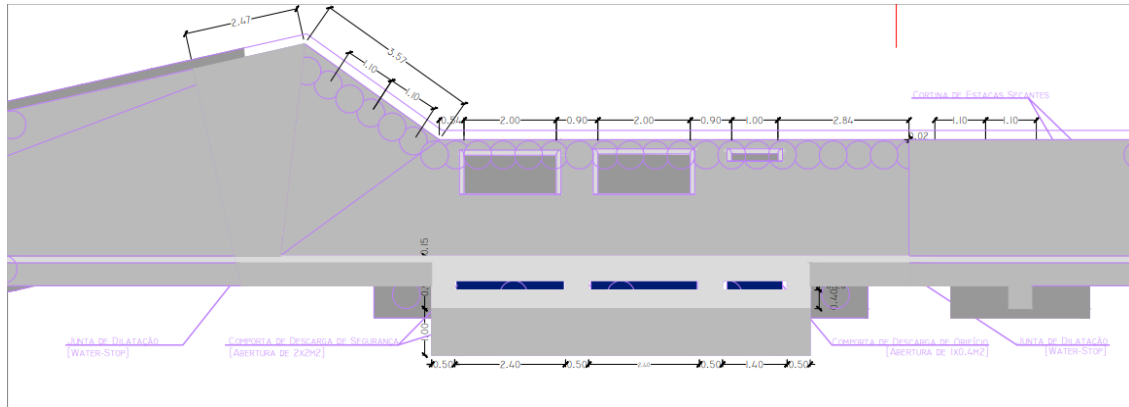


Figura 16: Plano geral. Estrutura e Retenção a Montante. Fonte: Projegui.

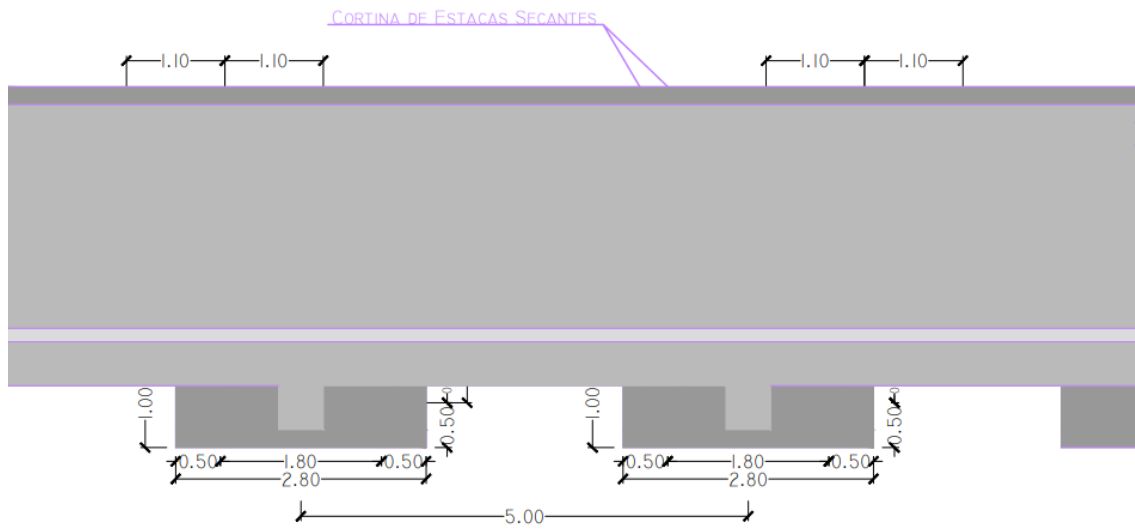


Figura 17: Corte. Estrutura de Retenção a Montante. Fonte: Projegui.

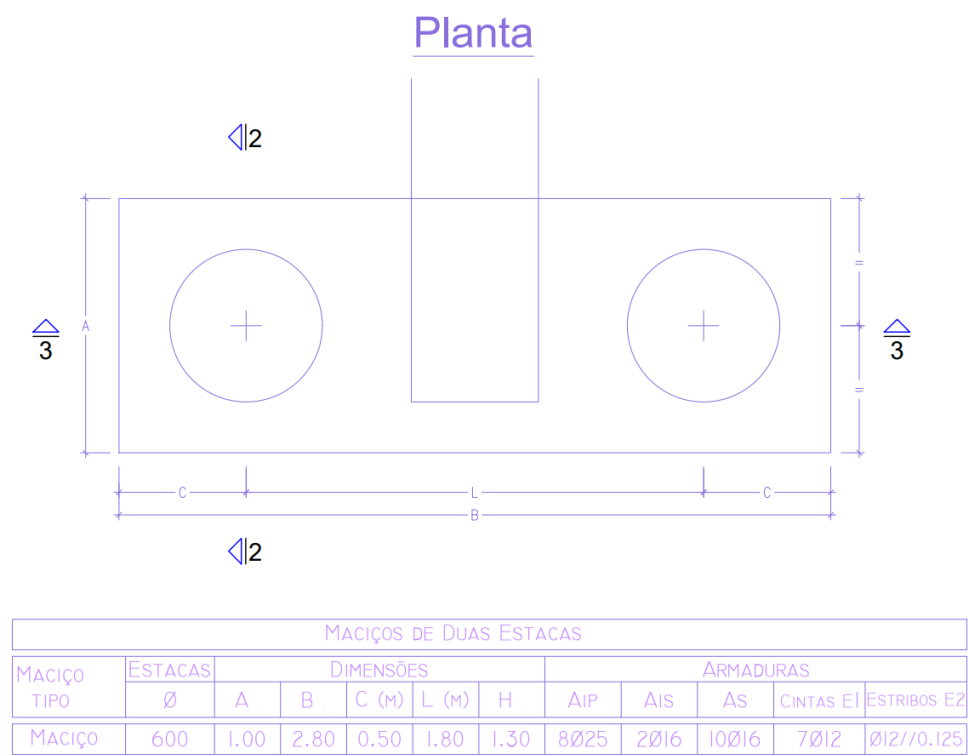


Figura 18: Pormenor. Planta de Maciço de duas estacas. Fonte: Projegui.

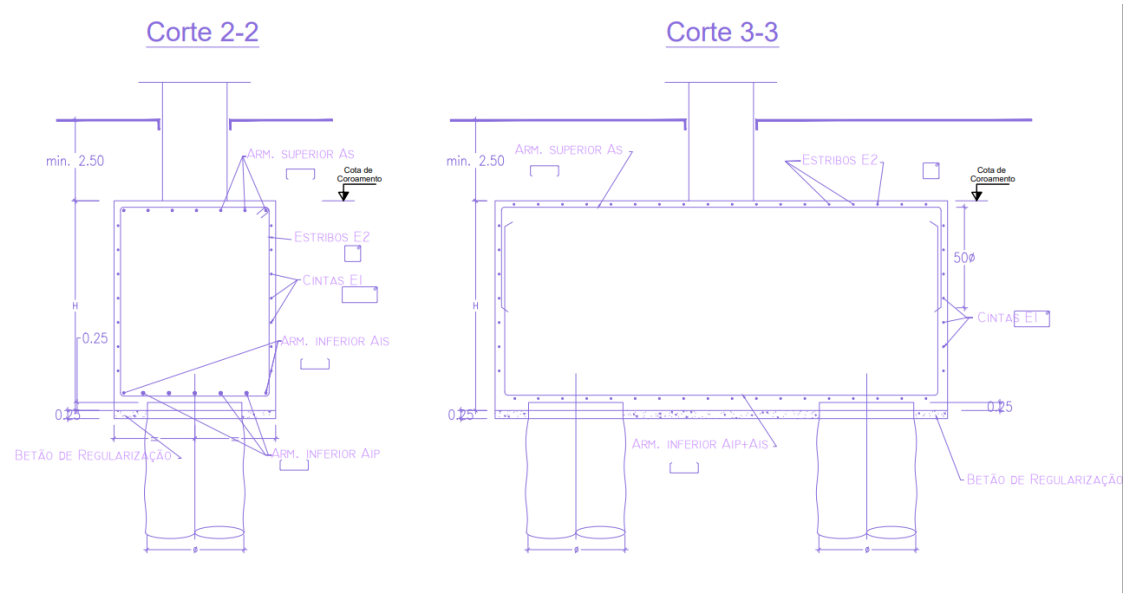


Figura 19: Corte 2-2 e 3-3- da planta do Maciço de duas estacas. Fonte: Projegui.

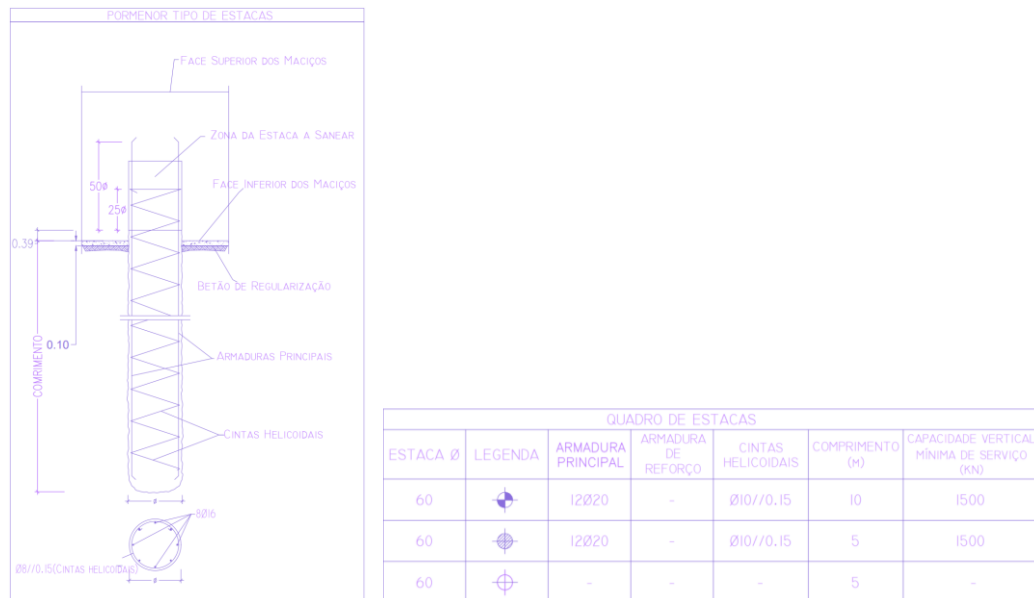


Figura 20: Pormenor e legenda do tipo de estaca. Fonte: Projegui.

A bacia de jusante, representada na figura 21, por sua vez, possui uma estrutura de retenção em betão armado, que opera por gravidade. A estrutura é composta por uma base/sapata sobre uma camada de betão de limpeza de 10 cm, sobre a qual se ergue a parede de retenção. Esta bacia, com capacidade de cerca de 4.700 m³, é projetada para escoar caudais de até 2m³/s, sem necessidade de equipamentos adicionais de controle. Ela recebe as águas pluviais provenientes dos terrenos adjacentes e dos coletores que nela desembocam.

Esta abordagem permitiu uma solução integrada e eficiente que, não só mitiga as inundações frequentes, mas também se integra harmoniosamente na paisagem urbana, considerando os desafios técnicos e ambientais específicos da área de intervenção. Podemos ver o projeto representado desde a figura 21 à figura 26.

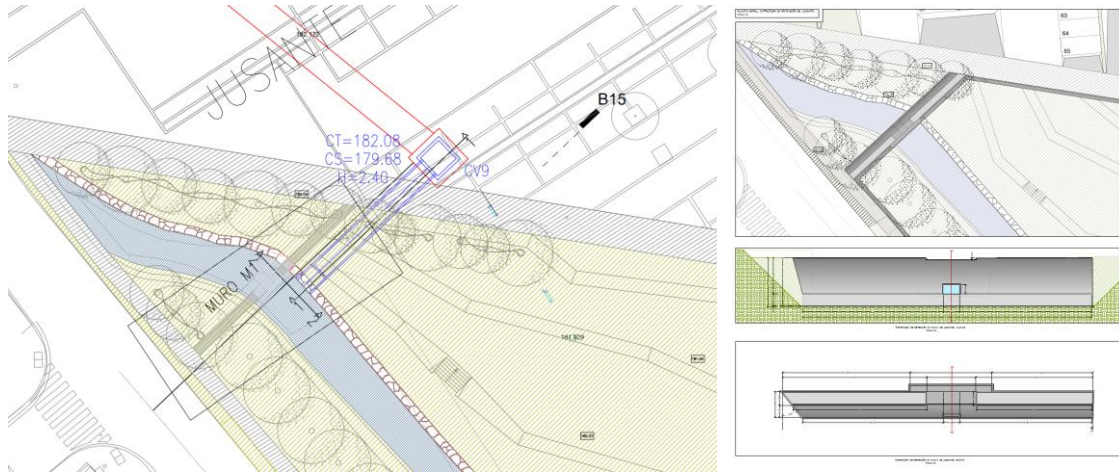


Figura 21: Plano geral. Estrutura de retenção a Jusante. Fonte: Projegui.

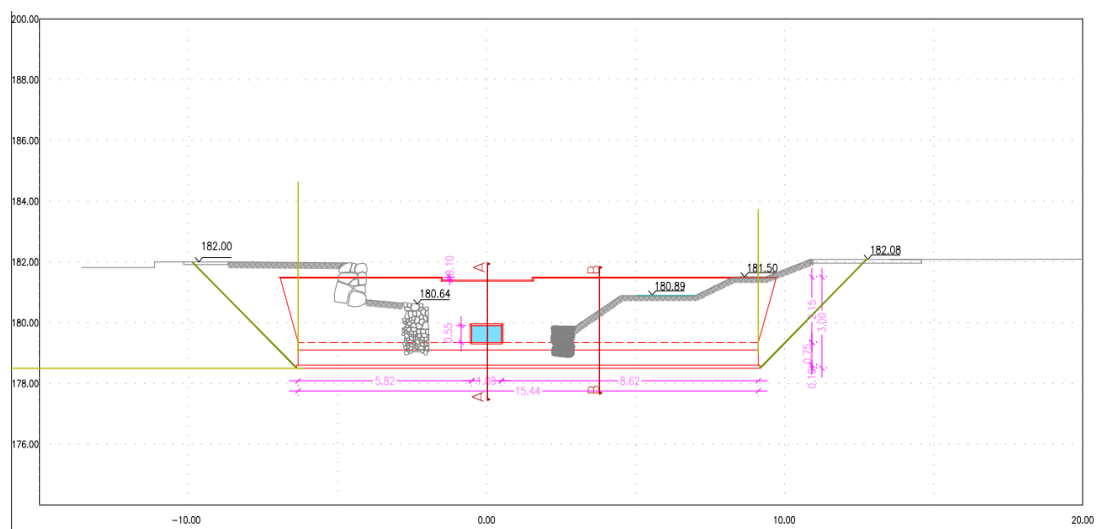


Figura 22: Alçado. Estrutura de retenção a Jusante. Fonte: Projegui.

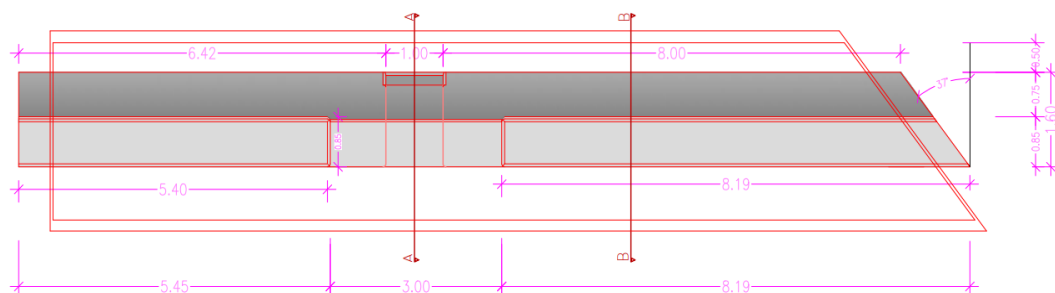


Figura 23: Planta. Estrutura de retenção da bacia a Jusante. Fonte: Projegui.

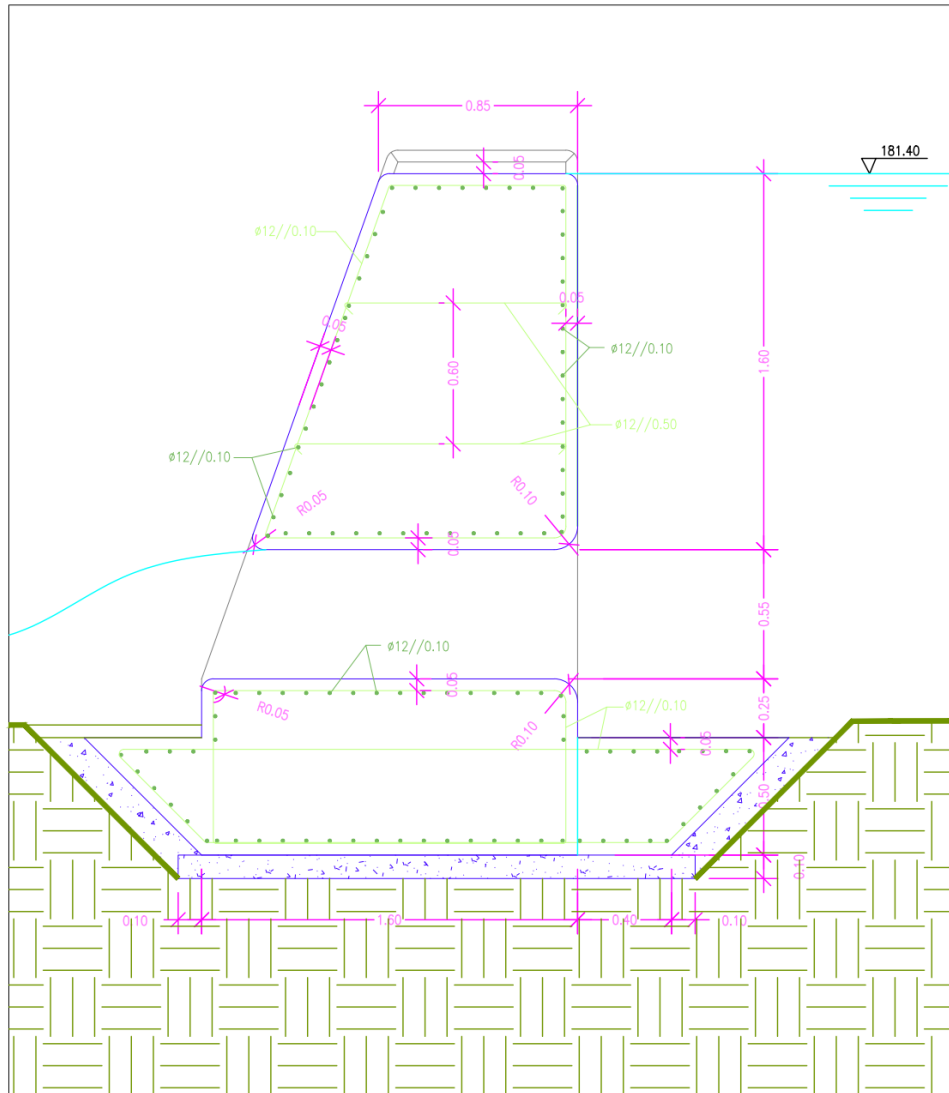


Figura 24: Corte A-A. Estrutura de retenção a Jusante. Fonte: Projegui.

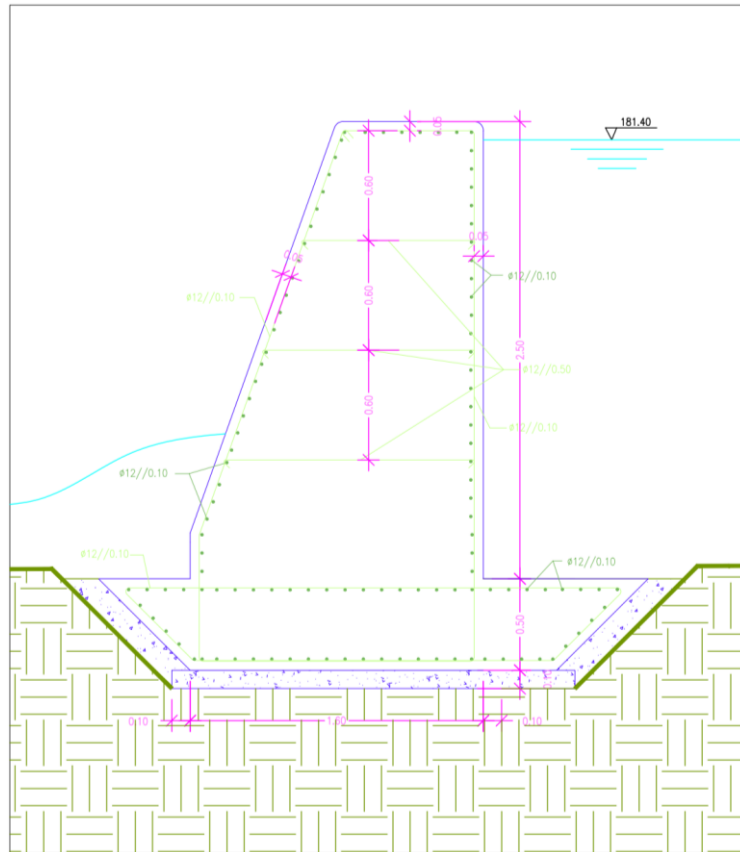


Figura 25: Corte B-B. Estrutura de retenção da bacia a Jusante. Fonte: Projegui.



Figura 26: Parque das Hortas, Guimarães, Portugal. Fonte: (Município de Guimarães- Balcão Virtual, s.d.).

O funcionamento previsto entre as duas bacias de retenção e correspondentes órgãos de segurança e exploração será o seguinte:

- Para níveis de água inferiores à cota 181.00 (40 centímetros abaixo do NPA) medidos na bacia situada a jusante, o escoamento far-se-á naturalmente, não havendo necessidade de qualquer controlo;
- Para níveis de água superiores à cota 181.00 na bacia de jusante, a sonda de nível que nela será instalada, potenciará a comunicação com a bacia de montante (através de um autómato) e fechará a comporta pequena da estrutura de retenção desta mesma bacia. A bacia de montante armazenará água até à cota próxima do NPA (185.40), correspondente a um caudal com período de retorno da ordem dos 2 anos, enquanto que a bacia de jusante, nesta situação, armazenará apenas as águas pluviais, debitando para jusante no máximo 2 m³/s.

Na bacia de montante será também instalada uma outra sonda de nível.

- Quando a água na bacia de montante atingir a cota máxima, 185.40, duas situações podem ocorrer em função da posição da sonda de nível:

Se se mantiver a situação de cheia, o autómato que está ligado a esta última sonda de nível potenciará a abertura da comporta da estrutura de retenção de montante bem como da comporta do orifício;

Caso contrário, o autómato fará abrir totalmente apenas a comporta mais pequena (do orifício).

As bacias de água permanente, são bacias superficiais, e são projetadas para deter água permanentemente, mesmo em períodos de ausência de precipitação, aumentando temporariamente o volume armazenado nos períodos chuvosos, como é referido por Ballard et.al. (2007). Como têm uma base de água permanente, mesmo em alturas de seca, “permitem uma remoção mais eficaz dos poluentes sólidos, em comparação com as bacias a seco”. (Gonçalves, 2016, p. 21). O seu nível freático nas alturas secas é condicionante, logo, deve-se situar acima da cota do fundo da bacia, assegurando-se, assim, uma alimentação permanente, através do estudo de águas pluviais e aquíferos. Esta técnica permite o controlo da quantidade e qualidade das águas superficiais.

Apesar de as bacias de água permanente estarem condicionadas a uma alimentação por parte dos aquíferos subjacentes e águas pluviais, e requererem custos mais elevados, em relação às bacias a seco, elas reduzem com maior eficácia os riscos de inundação da área onde são colocadas. Quando as bacias são dimensionadas e implementadas de acordo com as leis e regras recomendadas, “conseguem viabilizar o amortecimento de escorrências superficiais, o que possibilita um tratamento mais depurador em comparação às bacias secas.” (Branco, 2022, p. 23). Elas conseguem valores de redução de água entre os 70% a 90%, ao contrário das bacias secas.

São, também, mais atrativas para o público, pois são vistas como um ponto de água de um local recreativo, do que é exemplo Guimarães, como vemos na figura 27.



Figura 27: Bacia de retenção de água permanente, localizada no Parque da Cidade em Guimarães, Portugal. Fonte, (Município de Guimarães- Balcão Virtual, s.d.).

5.1.2. Bacias Subterrâneas, enterradas.

As bacias de retenção subterrâneas, também conhecidas como enterradas, são estruturas localizadas abaixo do solo, como vemos na figura 28 e 29. São essenciais para a gestão das águas pluviais em áreas urbanas e rurais. Estas bacias funcionam como reservatórios de regularização, captando temporariamente o excesso de água proveniente de chuvas intensas, o que reduz o pico de escoamento e minimiza a erosão dos solos e infraestruturas. Após a captação, a água é libertada de forma controlada, seja para jusante ou para outros locais onde seja necessária, como para a recarga de aquíferos ou conservação em zonas de escassez.

Estas bacias também desempenham um papel significativo na melhoria da qualidade da água. Ao reter a água pluvial temporariamente, promovem a deposição de poluentes e sedimentos, melhorando assim a qualidade da água, especialmente se forem utilizados filtros de limpeza que reduzem ainda mais a poluição das águas urbanas. Além disso, a água armazenada pode ser reutilizada para fins não potáveis, como irrigação, lavagem de veículos ou até para uso doméstico, após tratamento adequado. Em áreas urbanas, contribuem para a redução do calor, além de garantir a segurança hídrica.

Após épocas de intensa pluviosidade, a bacia enterrada tem de ser esvaziada, e para tal pode-se recorrer a “duas formas diferentes: recorrendo a sistemas de bombagem ou métodos gravíticos, para uma cota mais baixa. As estruturas são, geralmente, executadas em betão armado ou em materiais sintéticos como, por exemplo, PEAD, PP ou aço.” (Branco, 2022, p. 20), ou argolas de betão e depois forradas a tela impermeável para prevenir fugas de águas. Muitas vezes estas águas podem ser utilizadas para regas.

A instalação de uma bacia de retenção subterrânea requer um estudo detalhado das condições climáticas e do local, além de um projeto hidrológico e hidráulico que determine a capacidade de armazenamento necessária. A construção dessas bacias é, portanto, um projeto de engenharia civil e hidráulica que desempenha um papel multifacetado na gestão de águas pluviais e na promoção

da sustentabilidade ambiental das áreas urbanas, tornando-as mais seguras e resilientes.



Figura 28: Reservatório pré-fabricado, em série. Fonte: (Rodrigues, 2010)

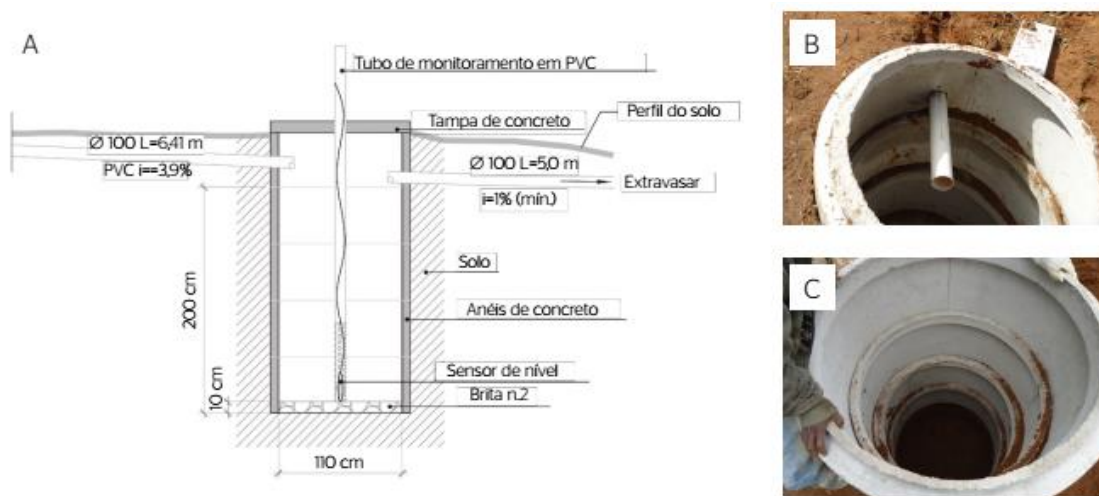


Figura 29: Corte e imagens de poço de infiltração das águas pluviais, em argolas. Para controlo de cheias. Fonte: Scielo.br

5.1.3. Bacias a seco; Bacias de Infiltração.

As bacias secas, também conhecidas como bacias de infiltração ou bacias de amortecimento, são estruturas projetadas para promover a infiltração das águas pluviais no solo e armazenar temporariamente o excesso de água, reduzindo, assim, o risco de cheias. Estas bacias são construídas como depressões no terreno, cuja principal função é permitir que a água da chuva penetre no solo, ajudando a recarregar os lençóis freáticos e a diminuir o escoamento superficial. Como se destaca na figura 30.

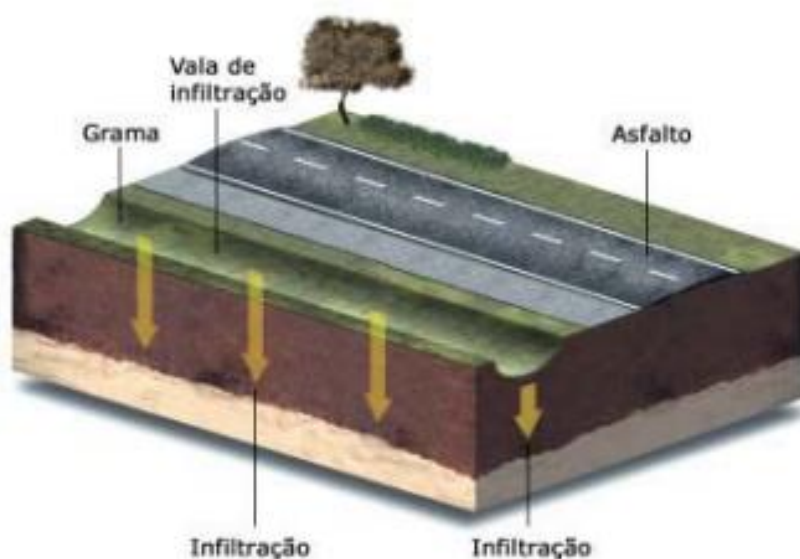


Figura 30: Utilização de depressões e plantas nas bermas dos arruamentos. Fonte: (Bichança, 2006)

Durante períodos de chuva intensa, é crucial que o nível freático máximo permaneça abaixo da cota de fundo da bacia para evitar a formação de zonas pantanosas, que poderiam provocar a proliferação de insetos e a contaminação das águas, conforme observado por Matias (2006). Estas bacias são desenhadas para suportar encharcamentos temporários e infiltram apenas uma parte dos caudais, especialmente das primeiras chuvas intensas.

A implementação de bacias secas é eficaz na deposição de sólidos suspensos, com uma capacidade de remoção entre 40% e 60%, como indica Avilez-Valente

(2020). O tempo de retenção do caudal efluente, que deve variar entre 12 e 24 horas, é fundamental para garantir uma gestão eficiente dos caudais, requerendo, para isso, a instalação de um controlador de caudal. Para regularizar os caudais, geralmente são necessários descarregadores a vários níveis, dimensionados para períodos de retorno de 2 a 10 anos.

Contudo, segundo Padrão (2016), as bacias de infiltração não são adequadas para áreas com grande quantidade de sedimentos ou sólidos em suspensão, uma vez que o excesso de sedimentos pode obstruir a bacia e comprometer a sua capacidade de armazenamento e infiltração de água. Por isso, cada bacia deve ser cuidadosamente desenhada considerando as condições locais, como o tipo de solo, inclinação, profundidade do nível freático e características do leito rochoso ou da camada impermeável. Em termos de construção, estas bacias devem ter uma inclinação de fundo não inferior a 1% e superior a 5%, para maximizar o contacto do escoamento com a vegetação.

As bacias secas são tipicamente construídas com uma camada de solo ou agregado poroso que facilita a infiltração da água. Estas estruturas são projetadas para coletar água da chuva, tanto de superfícies impermeáveis, quanto permeáveis, e direcioná-la para zonas onde a água possa ser absorvida pelo solo. Em áreas urbanas, estas bacias são frequentemente utilizadas em espaços públicos como parques de estacionamento, grandes edifícios e jardins, contribuindo para a recarga dos lençóis freáticos e a redução do escoamento superficial.

Estas bacias, que podem ser revestidas com materiais impermeáveis, como telas ou solos argilosos compactados, são alimentadas principalmente por águas superficiais. Devido à perda de água por evaporação, é necessário garantir uma manutenção adequada para evitar problemas como eutrofização, criação de ambientes anaeróbios ou contaminação dos solos e aquíferos subterrâneos, como apontado por Gonçalves (2016). Em algumas situações, podem ser instalados mecanismos de arejamento, sistemas de alimentação em períodos secos ou dispositivos como ralos e bombas, para assegurar a remoção e reposição de água, evitando a estagnação.

As bacias secas não só viabilizam o amortecimento de escoências superficiais, como também podem desempenhar outras funções, tais como espaços para atividades recreativas e desportivas. “Em tempo seco, funciona como uma praça usual, com áreas de lazer, prática desportiva, comércio.” (Branco, 2022, p. 20). Exemplo disso é a bacia de retenção do Chemim Clères, em Rouen, França, como vemos na figura 31 a qual, em períodos secos funciona como uma praça comum, proporcionando áreas de lazer e comércio. Esta versatilidade e a capacidade de adaptação ao clima local fazem das bacias secas uma solução eficaz na gestão de águas pluviais em diversas cidades ao redor do mundo, incluindo Pequim, Singapura, Cidade do México, Tóquio, Los Angeles, como vemos na figura 32, Londres, Curitiba, Melbourne e Guimarães.

A bacia de retenção seca de Chemim Clères, construída em 1977, destaca-se pela sua função de evacuação de caudais e proteção hidráulica, com uma área de 300 m² e capacidade para armazenar 13.000 m³ de água, escoando até 300 l/s, conforme detalhado por Matias (2006).

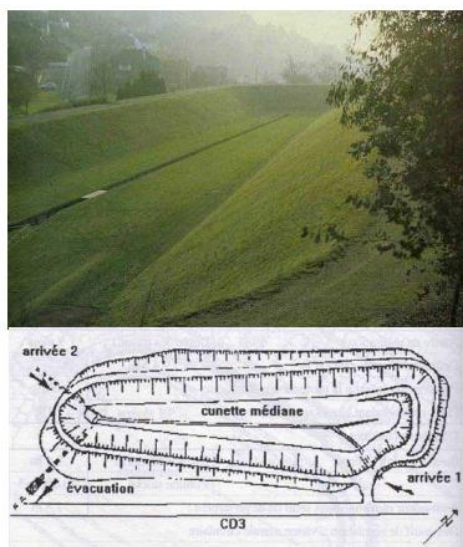


Figura 31: Bacia de retenção seca em Chemim Clères em Rouen, França. Fonte: (Matias, 2006)



Figura 32: Bacias secas em Los Angeles, County Park. Fonte: (Strategies, Nov, Dec. 2021)

Projetos:

Os projetos de engenharia hidráulica, engenharia civil e de arquitetura, arquitetura paisagista apresentados nesta dissertação, são essenciais para a análise e compreensão das intervenções urbanísticas contemporâneas, com foco na sustentabilidade e na gestão eficiente dos recursos naturais. Especificamente, os casos estudados incluem o projeto do supermercado Aldi, situado na Quinta da Fonte da Prata, no concelho da Moita, distrito de Setúbal, realizado pela empresa Projegui, (ver Anexo 3). E o projeto do Parque do Campus Universitário da Asprela. Universidade do Porto: Projeto de Arquitetura Paisagista. Que se centra na requalificação paisagista desta zona, e na realização de uma bacia de retenção seca, das águas pluviais. Onde as estruturas verdes são “o elemento organizador, unificador e gerador de espaços multiuso” (Marques, et al., 2014, p. 5). Nesta dissertação colocou-se um resumo do projeto (ver no Anexo 4)³.

³ O PDF com a toda a informação deste projeto encontra-se em qualquer reservatório. Ou pode encontrar através do link: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/146721>

5.1.4. Bacias em série

As bacias em série são situadas no alinhamento do coletor ou canal de drenagem afluente. Assim o caudal afluente é interceptado, permitindo que a totalidade do escoamento passe pela bacia, através da utilização de um bypass. Como se pode observar na figura 33. São mais propícias a serem bacias com nível de água permanente.

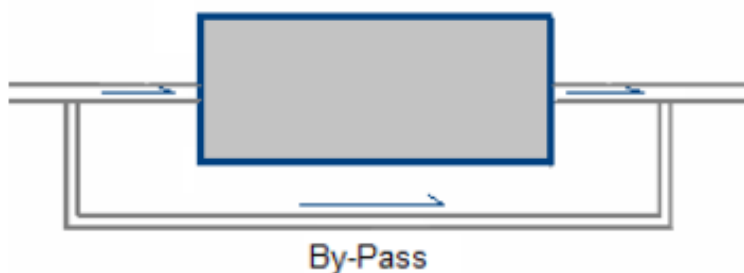


Figura 33: Bacia de retenção em série ou on-line. Fonte: (Lourenço, 2014)

“O escoamento superficial de eventos regulares é encaminhado através das estruturas on-line e quando os caudais aumentam, devido à descarga ser restrita, a bacia enche e permite o armazenamento de escoamento e o amortecimento do fluxo”. (Branco, 2022, p. 19). Como se pode observar na figura 34.

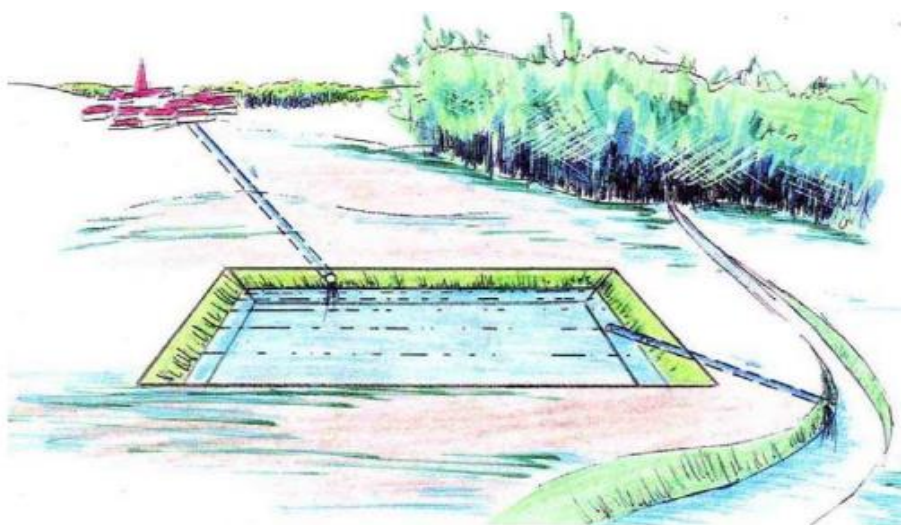


Figura 34: Desenho esquemático de uma bacia em série ou on-line. Fonte: (Matias, 2006)

De acordo com Padrão, (2016), que menciona que:

Num evento de tempestade, a água chega à câmara de entrada e dissipa-se ao longo de toda a área da bacia, encontrando o seu caminho para a câmara de saída e em seguida para o coletor através de um dispositivo de controlo de caudal em vórtice. (Padrão , 2016, p. 83).

5.1.5. Bacias em paralelo

As bacias em paralelo, são o oposto das em série, pois estas localizam-se paralelamente ao coletor ou canal afluente, de drenagem. Assim, nem todo o escoamento de montante aflui à bacia de retenção, pois a passagem é realizada através de um descarregador lateral (descarregador de tempestade).

As bacias em paralelo são normalmente “de menor dimensão e exigem menores custos de manutenção, uma vez que são menos afetadas pela acumulação de sedimentos. Nas bacias off-line o escoamento só é desviado para lá quando os caudais atingem um determinado limite especificado.” (Branco, 2022, p. 19). Como se verifica na figura 35 e 36.

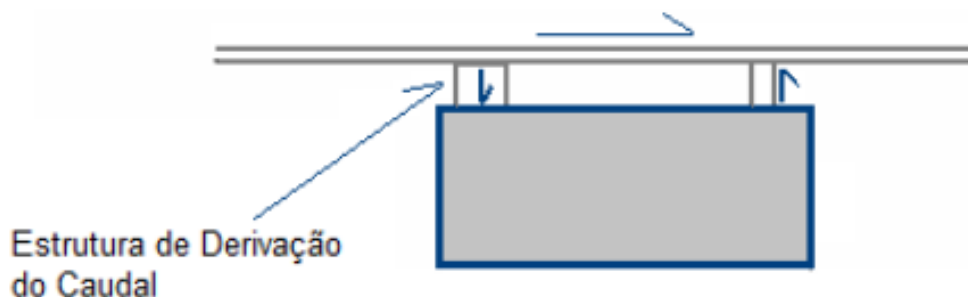


Figura 35: Bacia de retenção em paralelo ou off-line. Fonte: (Lourenço, 2014).

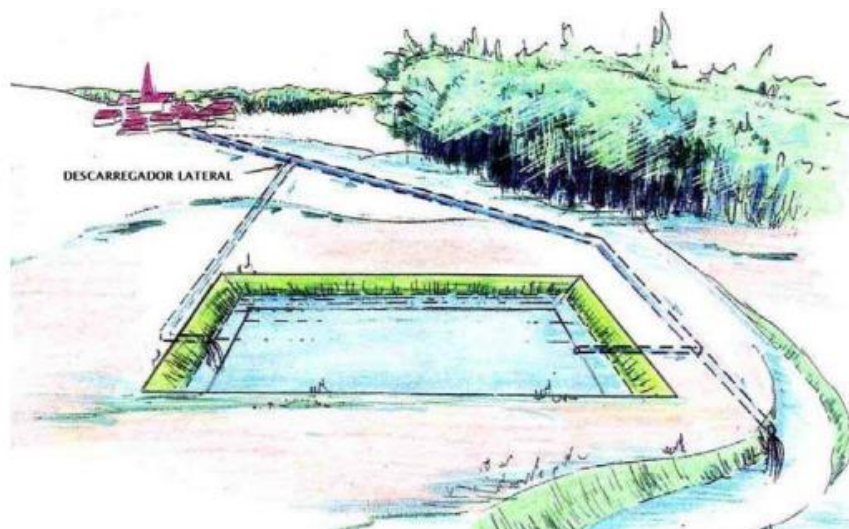


Figura 36: Desenho esquemático de uma bacia de retenção em série ou off-line. Fonte: (Lourenço, 2014).

Segundo Padrão (2016), nas bacias em paralelo:

apenas existe uma câmara de visita acoplada ao sistema tipo Aquacell, onde chegam os coletores de entrada e saída. A transição da água da câmara para a bacia faz-se através de uma parede açude, que apenas deixa entrar água para a bacia quando esta ultrapassa certa altura dentro da câmara de visita. A saída de água da câmara de visita faz-se através de um dispositivo de controlo de caudal de vórtice. Após a ocorrência da tempestade, e assim que o nível de água chegar abaixo da base da parede açude, é expelida da bacia para a câmara de visita através de uma válvula de não retorno. (Padrão, 2016, p. 84)

A principal diferença entre estes dois tipos de posicionamento, tem que ver com o seu dimensionamento. No caso das bacias “online”, são dimensionadas para albergarem a totalidade do caudal afluyente, ao passo que as bacias “offline” são dimensionadas para receber apenas parte do caudal afluyente, normalmente os primeiros caudais, de acordo com Gonçalves (2016).

5.2. Bacias de Biorretenção

As bacias de biorretenção, também conhecidas como "bioretention basins" ou jardins de chuva, são sistemas projetados para gerenciar e tratar águas pluviais.

Consoante Pires (2022), estas bacias são áreas que utilizam uma vegetação densa na superfície, para capturar e filtrar a água:

coletam as águas pluviais à medida que percolam através de diferentes camadas, onde a vegetação é usada a fim de reduzir a velocidade da água, conter eventuais detritos e auxiliar no processo de tratamento e filtração da água através dos processos físicos e bioquímicos. (Pires, 2022, p. 46).

A flexibilidade das bacias de biorretenção permite sua adaptação a diferentes condições locais e escalas de projeto. Dependendo dos objetivos específicos, elas podem ser configuradas para promover a infiltração, depuração, ou armazenamento de água, utilizando técnicas que variam conforme a granulometria dos sedimentos e a escolha da vegetação. Como vemos ilustrado no esquema da figura 37 e 38. De acordo com Vasco (2016), "a vegetação utilizada deve ser cuidadosamente selecionada para maximizar a eficácia do sistema na remoção de poluentes e na retenção de detritos à superfície" (ob. cit., p. 75). Podem garantir a remoção de "poluentes normalmente transportados pelas águas pluviais e promover a recarga de água subterrânea através de infiltração" (Padrão, 2016, p. 66).

Em termos de construção, estas bacias são geralmente localizadas próximas a valas drenantes e podem ser projetadas como sistemas secos ou com água. A manutenção é essencial e deve ser realizada regularmente para garantir o funcionamento adequado.

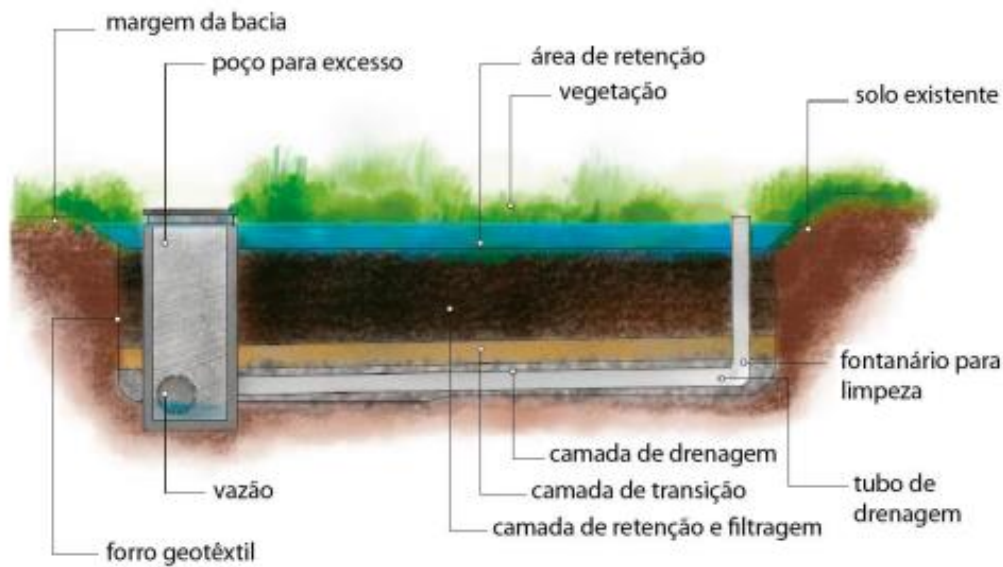


Figura 37: Secção esquemática de um sistema de bacia de retenção, com vegetação. Fonte: (Pires, 2022).

A manutenção “assemelha-se à manutenção de uma área verde, devendo dar-se especial importância à limpeza de lixos ou objetos como folhas, galhos, etc., que possam obstruir os dispositivos de descarga de emergência.” (Vasco, 2016, p. 76). Logo deve ter uma manutenção regular, de preferência mensal, para evitar entupimentos e monitorar a existência de erosões e pragas ou doenças na vegetação.

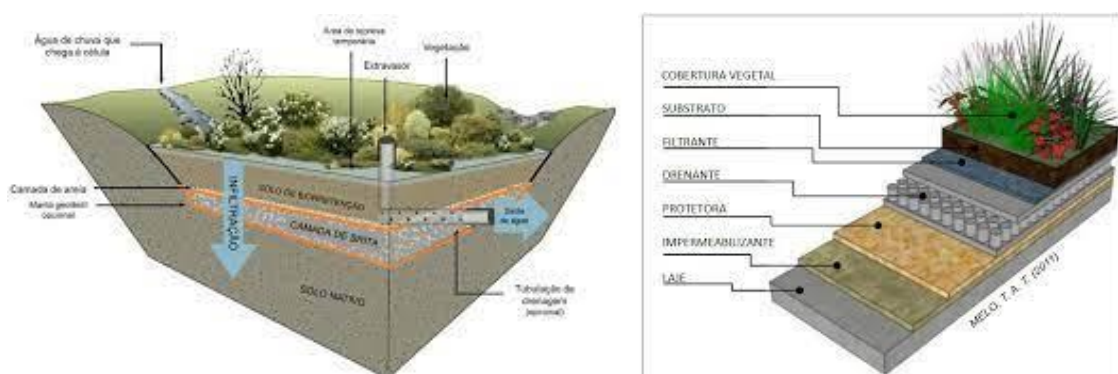


Figura 38: Esquemas de construção de bacias de biorretenção, jardins de chuva. Fonte: (Melo, Coutinho, Cabral, Antonino, & Cirilo, 2014)

Um exemplo prático de aplicação deste tipo de sistema pode ser encontrado nos Estados Unidos, no Tanner Springs Park, como destaca a figura 39, onde a bacia

de biorretenção foi projetada para coletar e tratar a água de um parque urbano, utilizando uma série de camadas vegetais para garantir a depuração da água antes de ser armazenada na bacia.



Figura 39: Bacia de biorretenção de Tanner Sprins Park, Portland, Oregon. E o seu funcionamento Fonte: (Consultants, s.d.),

5.3. Vantagens e Desvantagens do uso de Bacias

As vantagens e desvantagens do uso de bacias de retenção na gestão integrada das águas pluviais, em concordância com Padrão (2016) e Lourenço (2014):

Vantagens:

- Criação de espelhos de água com interesse estético e zonas de interesse recreativo, turístico e de lazer;
- Controlo da erosão, ao reduzir a força do escoamento superficial e, consequentemente, diminuir o desgaste do solo e das infraestruturas adjacentes;
- Capacidade de melhorar a qualidade das águas pluviais, através de processos físicos, químicos e microbiológicos, reduzindo a carga poluente presente no escoamento;
- Melhoria do comportamento do sistema de drenagem, através da capacidade de armazenamento e consequente, diminuição do risco de inundação;

- Facilitação da regularização dos caudais, servindo como reservas de água para diversos usos, como rega, combate a incêndios, atividades agrícolas e industriais;
- Recarga dos aquíferos por infiltração, quando a qualidade da água pluviais não apresenta riscos para a qualidade da água subterrânea.

Desvantagens:

- Necessidade de ocupação de grandes áreas em planta, o que pode ser um desafio em zonas urbanas densamente povoadas;
- Risco de proliferação de insetos, como mosquitos, que podem veicular doenças, especialmente em áreas onde a água tende a estagnar;
- Risco de acidentes nas margens da bacia, caso as margens não possuam proteção ou não sejam modeladas com as regras de patamares, como se faz nos lagos.

Em conclusão: as bacias de retenção oferecem uma série de vantagens significativas para a gestão das águas pluviais, mas também apresentam desafios que exigem uma abordagem cuidadosa no seu planeamento e manutenção para maximizar os benefícios e mitigar os riscos associados.

5.4. Valas de infiltração, retenção e biorretenção

As valas de infiltração e retenção, também conhecidas como “swales”, são soluções eficazes para a gestão das águas pluviais em ambientes urbanos. Estas estruturas, projetadas para substituir superfícies impermeáveis como o betão e integrar-se no ambiente, são comumente utilizadas ao longo de ruas, estacionamento, ou entre faixas de rodagem e ciclovias. A sua configuração longitudinal pode assumir formatos variados, como V, parabólico, trapezoidal ou de pequena curvatura, e a sua largura média varia entre 1,5 a 5 metros, de acordo com Pires (2022).

Estas valas funcionam controlando a água na origem, evitando que a água pluvial direta e o escoamento proveniente de telhados e estradas sejam direcionados para os esgotos. Em vez disso, a água é encaminhada para as valas de infiltração através de calhas ou valas acima do solo. Integradas em estruturas verdes, as valas ajudam a promover a biodiversidade e a melhorar a qualidade de vida urbana. Como vemos ilustrado na figura 40.

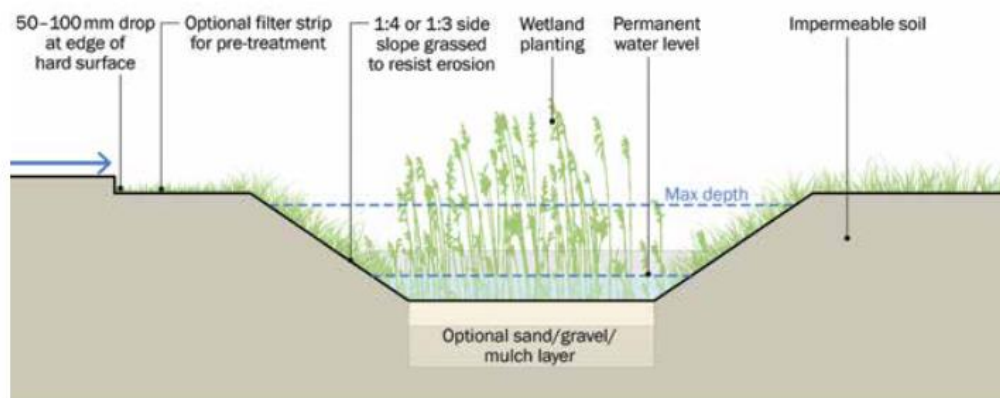


Figura 40: Corte esquemático de uma vala com vegetação. Fonte: (Ballard, et al., 2015)

As valas de infiltração são compostas por camadas de solo vegetal e plantas na superfície, seguidas por camadas de cascalho ou argila expandida, às vezes com geotêxtil nas bordas para evitar obstruções. Como está ilustrado na figura 41 e 42. A água da chuva drena através dessas camadas e um tubo de infiltração ou dreno é instalado abaixo, para facilitar o escoamento. Dispositivos de segurança são adicionados para manejar grandes volumes de água durante chuvas intensas, conectando-se diretamente ao tubo de dreno, como referido em Urban Green (s.d.).

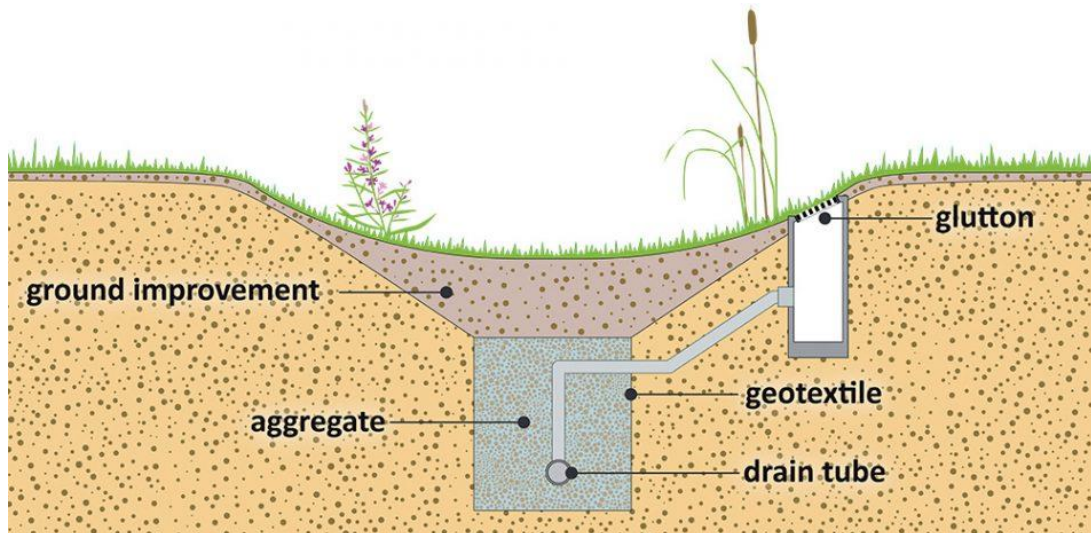


Figura 41: Corte de uma vala, quando se encontra seca. Fonte: (Urban Green, s.d.).

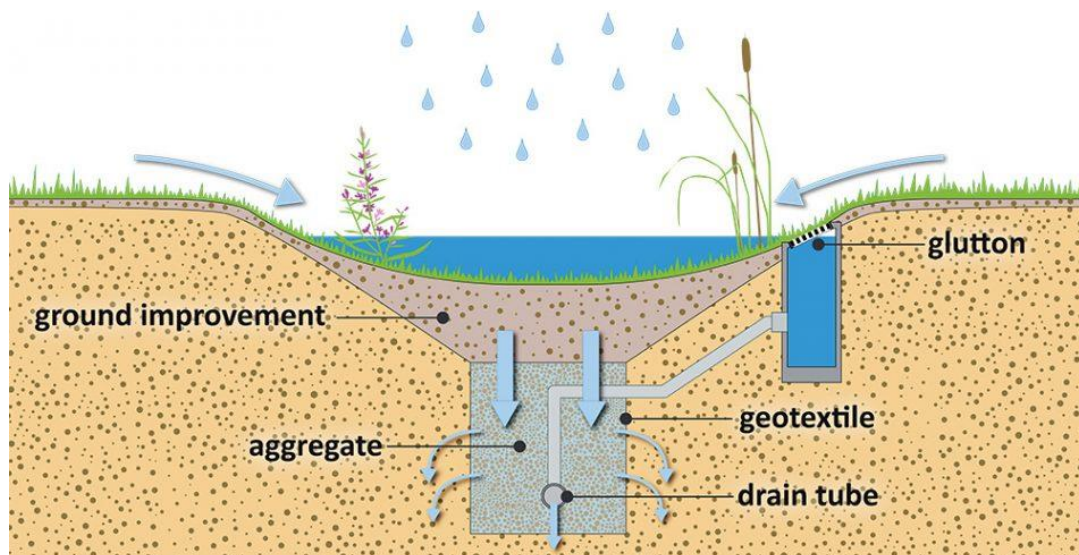


Figura 42: Corte de uma vala, quando chove. Fonte: (Urban Green, s.d.).

As valas de infiltração são projetadas para garantir que a água das chuvas intensas seja infiltrada no solo dentro de 24 horas. Na maioria dos casos, a vala de infiltração só funcionará como um sistema de drenagem acima do solo. Isso significa que os sistemas de valas de infiltração devem estar sempre ligados à água superficial. Assim, a permeabilidade e a estrutura do solo variam amplamente, exigindo uma avaliação do solo e dos níveis de água subterrânea, antes da instalação de um sistema de vala de infiltração.

Essas biorretenções oferecem uma solução integrada que combina a funcionalidade de drenagem com benefícios ecológicos, promovendo um ambiente urbano mais sustentável e eficiente na gestão das águas pluviais.

5.4.1. Valas de Retenção

As valas de retenção têm como principal objetivo armazenar temporariamente as águas pluviais. Projetadas para reter água por um período determinado, como se pode ver na figura 43, essas valas libertam-na gradualmente para o solo e para os sistemas de escoamento, reduzindo a pressão sobre os sistemas de drenagem tradicionais, como é referido por Pires (2022). Essas estruturas desempenham um papel crucial na gestão das águas pluviais, ao controlar a erosão provocada pelo escoamento de alta velocidade e ao melhorar a qualidade da água nos sistemas urbanos. Além de contribuírem para a redução do pico de escoamento, o que ajuda a prevenir inundações, as valas de retenção também proporcionam benefícios adicionais, como a melhoria da qualidade do ar e o aumento do valor estético das paisagens urbanas.

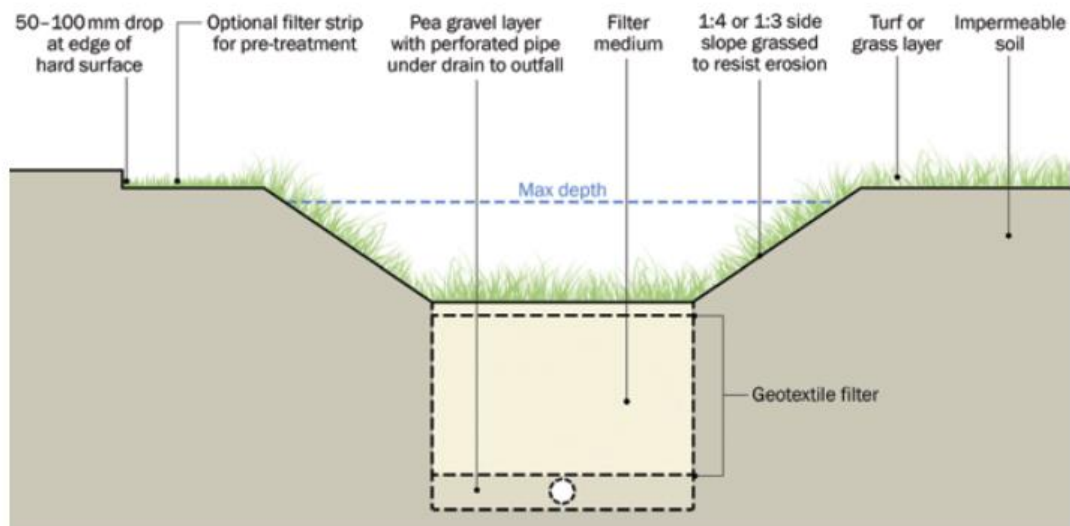


Figura 43: Esquema de vala de retenção. Fonte: (Ballard, et al., 2015).

As valas de retenção são uma parte importante dos sistemas de drenagem urbana sustentável. Integradas nos sistemas de drenagem urbana sustentável, as valas de retenção são eficazes na proteção dos recursos hídricos e na promoção de uma gestão adequada da água da chuva, representando uma solução valiosa para mitigar os impactos das águas pluviais nas áreas urbanas.

5.4.2. Valas de Infiltração

As valas de infiltração têm como principal finalidade permitir a infiltração controlada da água da chuva no solo. Elas coletam e direcionam a água para o solo, facilitando a absorção natural e evitando o escoamento superficial, o que ajuda na recarga dos lençóis freáticos e no equilíbrio hídrico subterrâneo. Como destaca a figura 44.

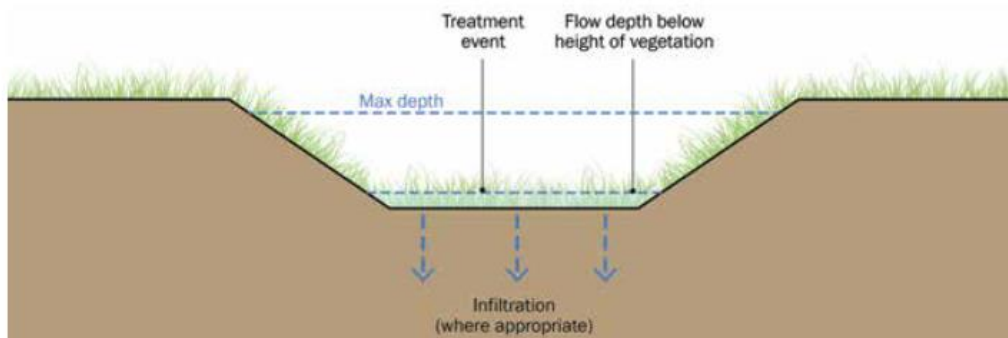


Figura 44: Esquema de vala de infiltração. Fonte: (Ballard, et al., 2015).

A composição das camadas do solo, de acordo com Pires (2022),

deve conter camadas de argila para conter a humidade e auxiliar no processo de filtração e purificação da água, como também camadas de areia e cascalho são fundamentais para a drenagem da água no subsolo. Em caso de transbordamento, quando a água atingir um determinado nível, ela será direcionada para uma tubulação locada na superfície que a levará para o sistema de drenagem, evitando assim os alagamentos na superfície. (Pires, 2022, p. 48)

Assim como as valas de retenção, as valas de infiltração são elementos importantes das estratégias de gestão sustentável das águas pluviais. Ambas

podem ser equipadas com dispositivos para melhorar a qualidade da água e requerem manutenção regular para garantir seu funcionamento eficaz.

5.4.3. Valas de Biorretenção

As valas de biorretenção, ou bioswales, são canais ajardinados projetados para integrar funções de retenção, filtração e infiltração das águas pluviais. Combinando vegetação e camadas de solo, essas estruturas têm um papel crucial na melhoria da qualidade da água, permitindo a remoção de sedimentos e contaminantes antes da liberação controlada. Como se pode observar nas figuras 45, 46 e 47. Promovem as práticas de gestão sustentável de águas pluviais em áreas urbanas.

Esses sistemas são revestidos com uma variedade de vegetação, incluindo gramíneas, arbustos e plantas nativas, que auxiliam na filtragem da água e na absorção de nutrientes. A vegetação contribui para criar paisagens urbanas mais verdes e resilientes, mitigando os impactos do desenvolvimento urbano e promovendo a recarga dos lençóis freáticos. Além de reduzir o volume e a velocidade do escoamento das águas pluviais, as valas de biorretenção são eficazes na prevenção de inundações e na melhoria da qualidade da água, alinhando-se às práticas de gestão sustentável das águas pluviais em áreas urbanas.

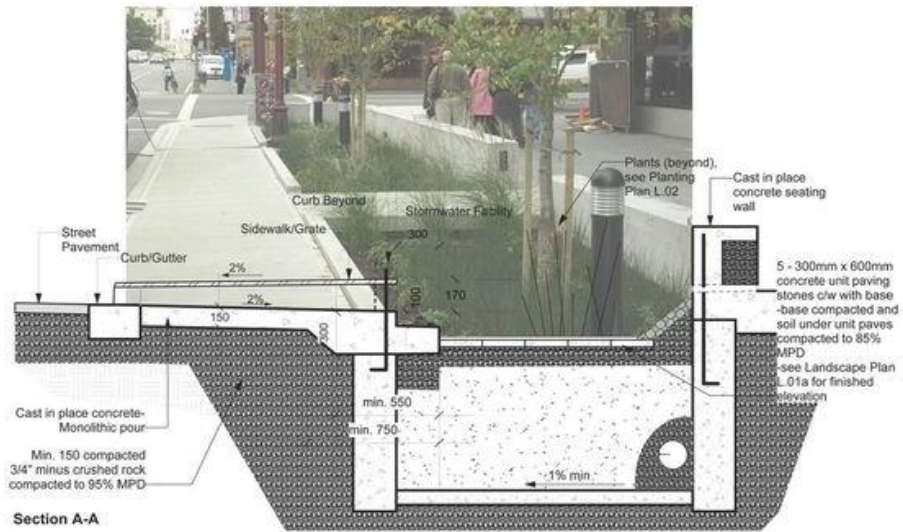


Figura 45: Corte esquemático de uma vala de biorretenção, bioswale.

Fonte: <https://ro.pinterest.com/pin/488359153326815239/>

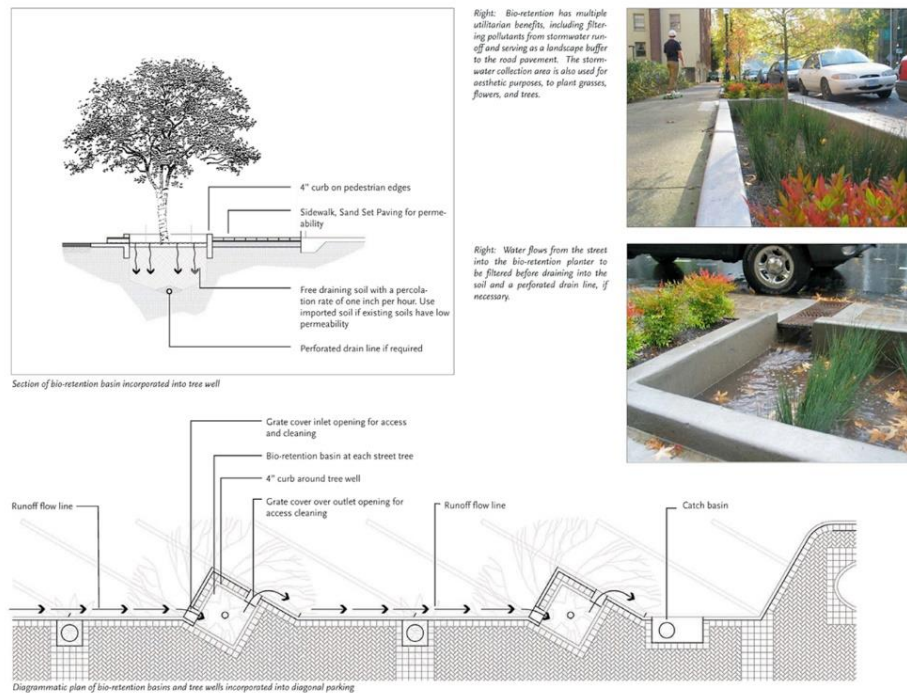


Figura 46: Esquema de uma vala, canteiro de bioretenção num arruamento.

Fonte: <https://ro.pinterest.com/pin/488359153326815239/>



Figura 47: Corte esquemático de canteiros de biorretenção. À esquerda está representado um canteiro de infiltração, à direita um canteiro de filtração. Fonte: (Pires, 2022)

5.4.4. Diferença entre Vala de Retenção e Bacia de Retenção

A grande diferença que existe entre as valas e bacias de retenção, reside na função e design:

Bacias:

- São estruturas de maiores dimensões e profundidade, frequentemente assemelhando-se a lagoas rasas ou reservatórios, projetadas para armazenar grandes volumes de água da chuva;
- São projetadas para armazenar grandes quantidades de água durante eventos de chuva intensa, exigindo áreas de captação maiores e, conseqüentemente, mais espaço para sua implementação.

A Valas:

- São estruturas mais estreitas, rasas e geralmente lineares, com aparência de canais;
- Embora também armazenem e infiltrem águas pluviais, como as bacias, o volume retido é menor comparado às bacias de retenção;

- São indicadas para locais com menor superfície de implementação, como ruas, parques de estacionamento ou telhados.

5.4.5. Plantas utilizadas em Valas e Bacia de Retenção

A conceção eficaz de valas e bacias de retenção urbanas depende de uma escolha adequada de vegetação, que não só melhora a biodiversidade e a qualidade ambiental das áreas urbanas, mas também contribui para a eficiência dos sistemas de gestão de águas pluviais. A vegetação desempenha um papel crucial na manutenção da permeabilidade do solo e na criação de habitats para a fauna local.

Conforme Boogaard, Bruins, & Wentink (2006), as raízes das plantas ajudam a melhorar a estrutura do solo, mantendo-o permeável ao longo do tempo. A presença de vegetação também contribui para abrigar e camuflar pequenos mamíferos, anfíbios e insetos, como borboletas e gafanhotos, o que é crucial para a biodiversidade. Embora o aumento do volume de plantas possa reduzir a capacidade de armazenamento de água em cerca de 1%, essa perda é considerada mínima em termos de impacto.

Para otimizar a eficácia dos sistemas, recomenda-se uma mistura de plantas de diferentes tipos e tamanhos. Exemplos de misturas frequentemente usadas na Europa incluem:

- Mistura 1: 10% *Iris pseudacorus*; 10% *Carex riparia*; 10% *Carex nigra*; 10% *Carex acutiformis*; 50% *Sparganium erectum*; 10% *Typha angustifolia*.
- Mistura 2: 10% *Agrostis stolonifera*; 10% *Apium nodiflorum*; 20% *Filipendula vulgaris*; 10% *Glyceria fluitans*; 10% *Myosotis scorpioides*; 10% *Mentha aquatica*; 10%; *Nasturtium officinale*; 10% *Persicaria amphibian*; 10%; *Veronica beccabunga*.

A densidade recomendada varia entre 5 a 6 plantas por m², e as bordaduras são geralmente compostas por prados floridos.

Plantas frequentemente utilizadas incluem, segundo Urban Green,(s.d.),

- Árvores e arbustivas: *Alnus glutinosa*; *Salix sp.*; *Sambucus nigra*.
- Helófitas (plantas com raízes no fundo e folhas à superfície da água): *Alisma plantago-aquatica*; *Butomus umbellatus*; *Phragmites australis*; *Scirpus lacustris lacustris*; *Thypha latifolia*; *Thypha angustifolia*.
- Herbáceas Aquáticas de Crescimento Alto: *Angelica sylvestris*; *Berula ereta*; *Centaurea jacea*; *Chamaerion angustifolium*; *Eupatorium cannabinum*; *Filipendula ulmaria*; *Galium palustre*; *Lathyrus pratensis*; *Lotus pendunculatus*; *Lythrum salicaria*; *Mentha aquática*; *Myosotis scorpioides*; *Sparganium erectum*; *Thalictrum flavum*; *Valeriana officinalis*.
- Plantas subarbustivas e Tapetizantes: *Ajuga reptans*; *Cardamine pratensis*; *Lysimachia numulária*; *Ranunculus flammula*; *Scutellaria galericulata*; *Stellaria gramínea*; *Stellaria palustris*; *Veronica beccabunga*; *Veronica chamaedrys*.

A escolha cuidadosa das plantas é essencial para garantir a eficácia e a sustentabilidade dos sistemas de drenagem, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e o aumento da biodiversidade urbana.

5.4.6. Vantagens e Desvantagem, do uso de Valas no meio urbano

Vantagens:

- Melhora os sistemas das águas urbanas;
- Ajuda a armazenar e infiltrar a água da chuva no solo, reduzindo as cheias e secando os solos. Isso melhora a qualidade da água superficial e atua como um sistema de drenagem durante períodos de excesso de água nos lençóis freático;
- Redução do Efeito Urban Heat Island: A vegetação densa nas valas contribui para a redução das temperaturas urbanas e melhora a qualidade do ar;
- Além de sua função prática, as valas oferecem benefícios estéticos e ambientais, criando espaços verdes que promovem a biodiversidade urbana.

Desvantagens:

- **Coordenação e Gestão Complexas:** A implementação e manutenção das valas requerem a colaboração de diversos stakeholders, incluindo projetistas, câmaras municipais e moradores. Essa coordenação pode ser complexa e exigir esforços significativos, de acordo com, Boogaard, Bruins, & Wentink, (2006);
- **Necessidade de Educação e Conscientização:** A eficácia das valas depende da aceitação e correta utilização pelos residentes, incluindo a proibição de produtos de limpeza poluentes e o gerenciamento adequado de resíduos. A falta de conhecimento pode levar à obstrução e mau funcionamento dos sistemas;
- **Custos de Manutenção:** As valas requerem manutenção regular para evitar obstruções e poluição, com custos associados. Resíduos e folhas devem ser removidos e o sistema limpo periodicamente. A manutenção da vegetação é também necessária mensalmente, consoante com Boogaard, Bruins, & Wentink (2006).

De acordo com Boogaard, Bruins, & Wentink (2006), que realizaram um estudo em Enschede, Países Baixos, a instalação de sistemas de drenagem tradicionais pode ser 50% mais cara por m^2 , do que valas de infiltração. No entanto, as valas de infiltração podem ter custos de manutenção 40% superiores, embora a frequência reduzida de corte em valas mais naturais possa compensar esses custos. Como se observa nos exemplos dados nas figuras 48 e 49



Figura 48: Kronsberg, Hannover, Germany © Atelier Dreiseitl. Fonte: (Urban Green, s.d.)



Figura 49: Países Baixos, Almedo. Fonte: (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006)

5.5. Trincheiras de infiltração | Faixas de infiltração

As trincheiras de infiltração, também conhecidas como faixas de infiltração, em inglês por: “Filter Strips” ou “Water Infiltration Trenches”. São escavações rasas, frequentemente situadas ao longo de passeios e caminhos impermeáveis. Estas estruturas são revestidas com materiais porosos, como pedra ou cascalho, que facilitam a drenagem da água e evitam a erosão do solo. A principal função das trincheiras é promover a infiltração das águas pluviais no solo e o armazenamento subterrâneo, contribuindo para a mitigação do excesso de água e a prevenção de inundações. Como se destaca nas figuras 50 e 51.

Segundo Ballard et.al. (2007), o fundo das valas drenantes, pode ser revestido com geotêxtil, uma “geomembrana”, para não ocorrerem perdas de água, ou com betão, com drenos e filtros, para permitir maior infiltração.

As trincheiras de infiltração têm profundidades variáveis, geralmente inferiores a 1 metro e podendo atingir até 2 metros. Ao contrário dos poços de infiltração, que são verticais e profundos, as trincheiras são horizontais e preenchidas com

material granular que previne a entrada de material fino e atua como um filtro anti contaminante. Este material permite uma infiltração eficiente e atua na filtragem da água através das camadas de solo e reações bioquímicas, consoante McCuen & Davis (2005). Tal como os poços, “constituem elementos de drenagem do tipo controlo na fonte, cujo princípio de funcionamento consiste no armazenamento temporário da água até que ela se infiltre no solo.” (Jácome, 2010, p. 31).

Estas estruturas são especialmente adequadas para áreas urbanas com espaço limitado, como calçadas e pátios, pois são mais estreitas e menos profundas, ideais para ser usadas em áreas onde o espaço horizontal e vertical é limitado. Além disso, as trincheiras de infiltração são economicamente viáveis e podem ser facilmente incorporadas em paisagens urbanas existentes, “à margem de ruas e estradas para coletar a água proveniente do asfalto/ concreto; pode também ser incorporado a outras soluções fazendo a ligação entre dois pontos.” (Pires, 2022, p. 48).

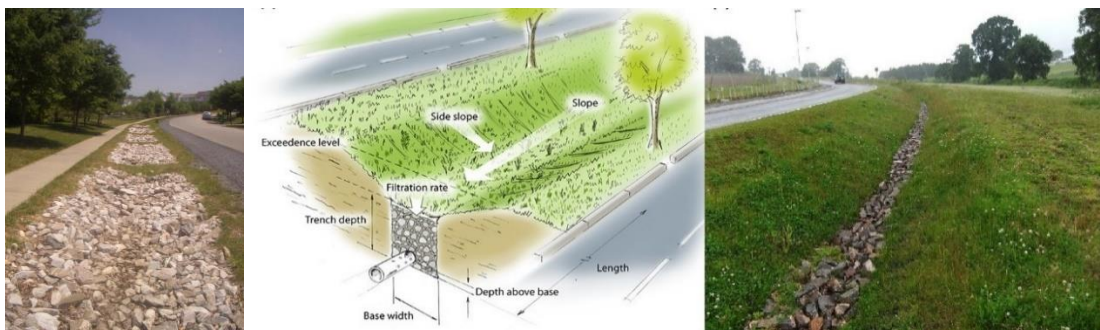


Figura 50: Trincheiras de infiltração. Fonte: (Swales, 2015).

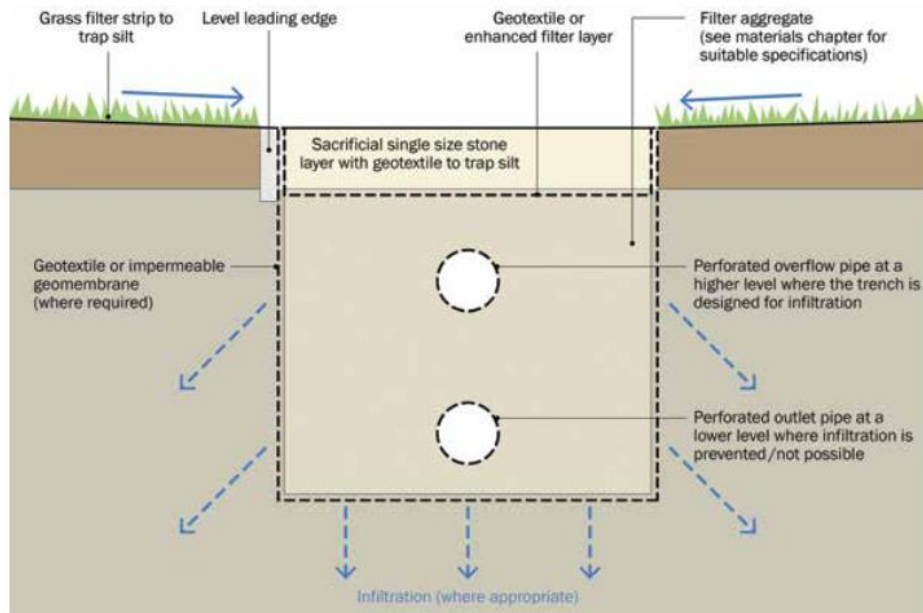


Figura 51: Corte transversal de uma trincheira de infiltração. Fonte: (Commitee, 1999)

Como referido por Vasco (2016):

A utilização de trincheiras de infiltração permite que a área de contacto com o solo seja determinada pelo comprimento da trincheira, garantido que em solos com pouca capacidade de infiltração consigam boas condições de infiltração através do comprimento da vala. Pode ser incluído no interior das camas que constituem a trincheira, um tubo perfurado de modo a permitir uma melhor distribuição dos caudais ao longo da trincheira.” (Vasco, 2016, p. 79).

No entanto, e de acordo com, Urban Stormwater Best Practice Environmental Management Guidelines (1999), a manutenção regular é essencial, uma vez que a ausência de vegetação pode levar à acumulação de poluentes e sedimentos, resultando em custos de manutenção elevados, especialmente em solos finos.

5.6. Poços de infiltração, absorventes

Os poços de infiltração, também conhecidos por poços absorventes, são estruturas subterrâneas verticais que permitem economizar espaço, e têm como finalidade permitir a infiltração de forma controlada das águas pluviais no solo.

Podendo atingir uma grande profundidade. “Apresentam a vantagem de poderem ser aplicados em locais onde a camada superficial do solo é pouco permeável (zonas urbanizadas, terrenos superficialmente impermeáveis) mas que dispõem de boa capacidade de infiltração na camada mais profunda do solo.” (Albino, 2013, p. 47). Embora possam ser construídos em solos muito permeáveis, é importante considerar os riscos de contaminação dos lençóis freáticos. Idealmente, devem ser implantados em solos impermeáveis com fundações permeáveis para otimizar o desempenho.

Os poços de infiltração são utilizados na gestão de águas pluviais para reduzir o escoamento superficial, recarregar lençóis freáticos, prevenir inundações e melhorar a qualidade da água. São especialmente úteis em áreas urbanas, como habitações, praças e parques de estacionamento, nas quais a impermeabilização do solo pode comprometer a drenagem eficaz. No entanto, é crucial garantir um pré-tratamento adequado para a remoção de poluentes antes da infiltração.

Estes poços frequentemente utilizam material drenante ou poroso, como brita, para armazenar temporariamente a água, ajustando a capacidade de “armazenamento de acordo com a natureza do solo, as condições de alimentação e o tipo de enchimento.” (Lourenço, 2014, p. 48). Existem dois tipos principais de poços de infiltração, como vemos na figura 52, conforme a posição da base em relação ao nível freático, segundo Santos (2010):

- Os Poços de Infiltração;
- Os Poços de Injeção;

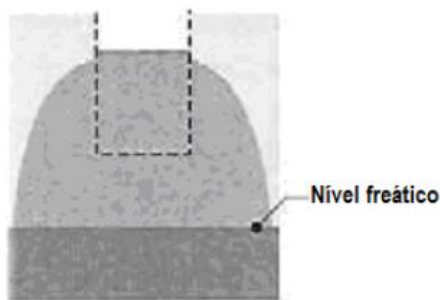


Figura 14: Poço de infiltração (Azzout et al. 1994 em Matos, 2003).

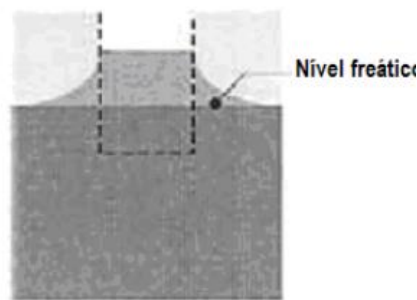


Figura 15: Poço de injeção (Azzout et al. 1994 em Matos, 2003).

5.6.1. Poços de injeção

Os poços de injeção são estruturas subterrâneas projetadas para introduzir fluidos, geralmente líquidos, diretamente no subsolo. São usados principalmente para a recarga de aquíferos e, em alguns casos, para a injeção de produtos químicos com fins de remediação ambiental. Quando o nível freático está acima da base do poço, a água pluvial é conduzida diretamente para o aquífero. Estes poços são menos comuns do que os poços de infiltração e são caracterizados pela sua capacidade de funcionar em locais onde a camada superficial do solo é pouco permeável, mas a camada profunda possui boa capacidade de infiltração, de acordo com Lourenço (2014).

5.6.2. Poços de infiltração

Poços de infiltração são estruturas cilíndricas, geralmente enterradas, que armazenam temporariamente as águas pluviais e promovem a infiltração no solo. Ilustrado na figura 53. O seu diâmetro e profundidade variam de acordo com a quantidade de água a infiltrar e as características do solo. A água infiltra-se através do fundo ou das paredes do poço, dependendo de sua construção, que pode incluir betão perfurado, alvenaria com juntas abertas, geotêxtil, material drenante ou módulos “geocelulares”, como refere Santos (2010). Este processo ajuda a reduzir o escoamento superficial e melhora a qualidade da água pluvial infiltrada.

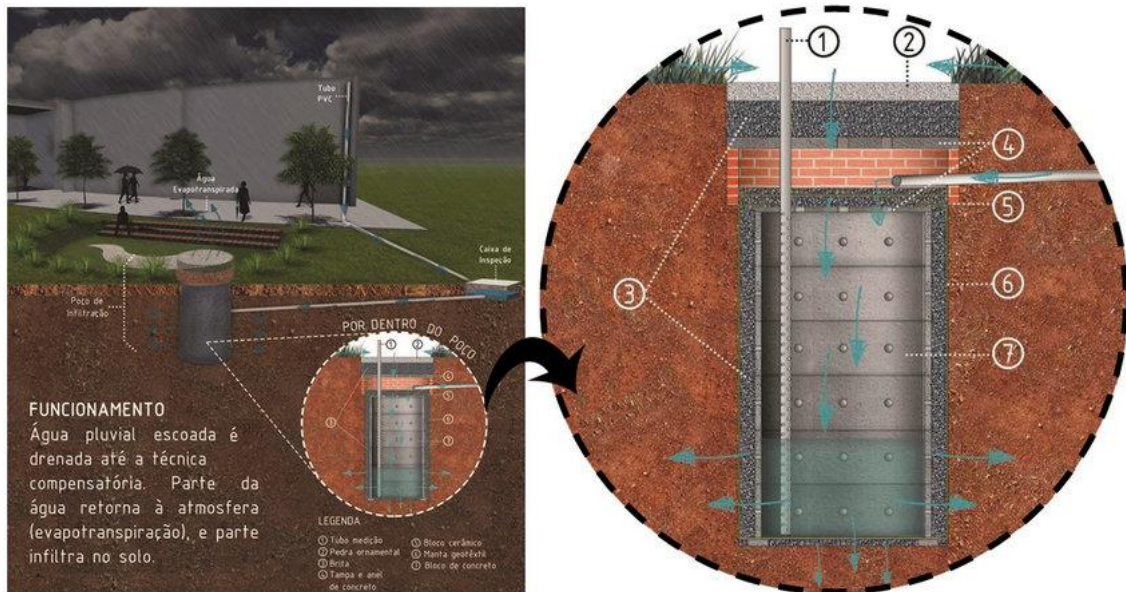


Figura 53: Diagrama e plano de um poço de infiltração. Fonte: (ResearchGate, s.d.).

Os poços, devem ser munidos de acessos que permitam a verificação do bom funcionamento e manutenção. Como está ilustrado na figura 54

A manutenção dos poços inclui a verificação regular do seu funcionamento. Poços com material poroso costumam ter um tubo para medição do nível da água ou uma câmara de inspeção. Poços com estrutura de retenção permitem o acesso para manutenção através de tampas, como indicado por, Vasco (2016).

Consoante Lourenço (2014), não é aconselhável a utilização de poços de infiltração e injeção em:

- Zonas de terrenos instáveis (a infiltração pode agravar esta situação);
- Zonas onde o nível freático esteja a menos de um metro da base do poço;
- Zonas onde o risco de contaminação do escoamento superficial possa resultar na poluição das águas subterrâneas;
- Zonas com terrenos pouco permeáveis;
- Zona de captações de água, quer públicas quer privadas.

As vantagens do seu uso, segundo Padrão (2016) e Lourenço (2014):

- Redução do Escoamento Superficial: Ambos os tipos de poços ajudam a reduzir o volume de escoamento superficial e promovem a recarga dos lençóis freáticos;
- Economia de Espaço: Os poços absorventes economizam espaço, especialmente em áreas urbanas com espaço limitado. E podem atingir, por vezes, profundidades de várias dezenas de metros;
- Baixo Custo e Facilidade de Integração: São relativamente baratos de construir e manter, e podem ser integrados facilmente em áreas urbanizadas;
- Baixa interferência na paisagem: atendendo à sua geometria (estrutura pontual e vertical);
- Possibilidade de associação com outras técnicas de controlo na origem.

Desvantagens:

- Risco de Contaminação: Existe o risco de contaminação dos aquíferos e das águas subterrâneas, especialmente em áreas onde o escoamento superficial possa estar poluído;
- Manutenção Frequente: Poços de infiltração podem sofrer obstruções e requerem manutenção regular para evitar a colmatção dos poros;
- Limitações de Localização: Não são recomendados em terrenos instáveis, solos pouco permeáveis ou áreas com nível freático elevado.

Por vezes, em conformidade com Vasco (2016), também podem ser associados a outras técnicas de controlo de caudal por filtração (trincheiras e bacias de infiltração) que atuam principalmente nas camadas superiores do solo, potenciando, desta forma, a infiltração nas camadas mais profundas do solo.

Os poços de infiltração e de injeção constituem técnicas eficazes para a gestão das águas pluviais, cada uma com suas especificidades e adequações, de acordo com as características do solo e as necessidades do local. A integração com outras técnicas de controlo de caudal, como trincheiras e bacias de

infiltração, pode maximizar os benefícios da infiltração, de acordo com, Vasco (2016).

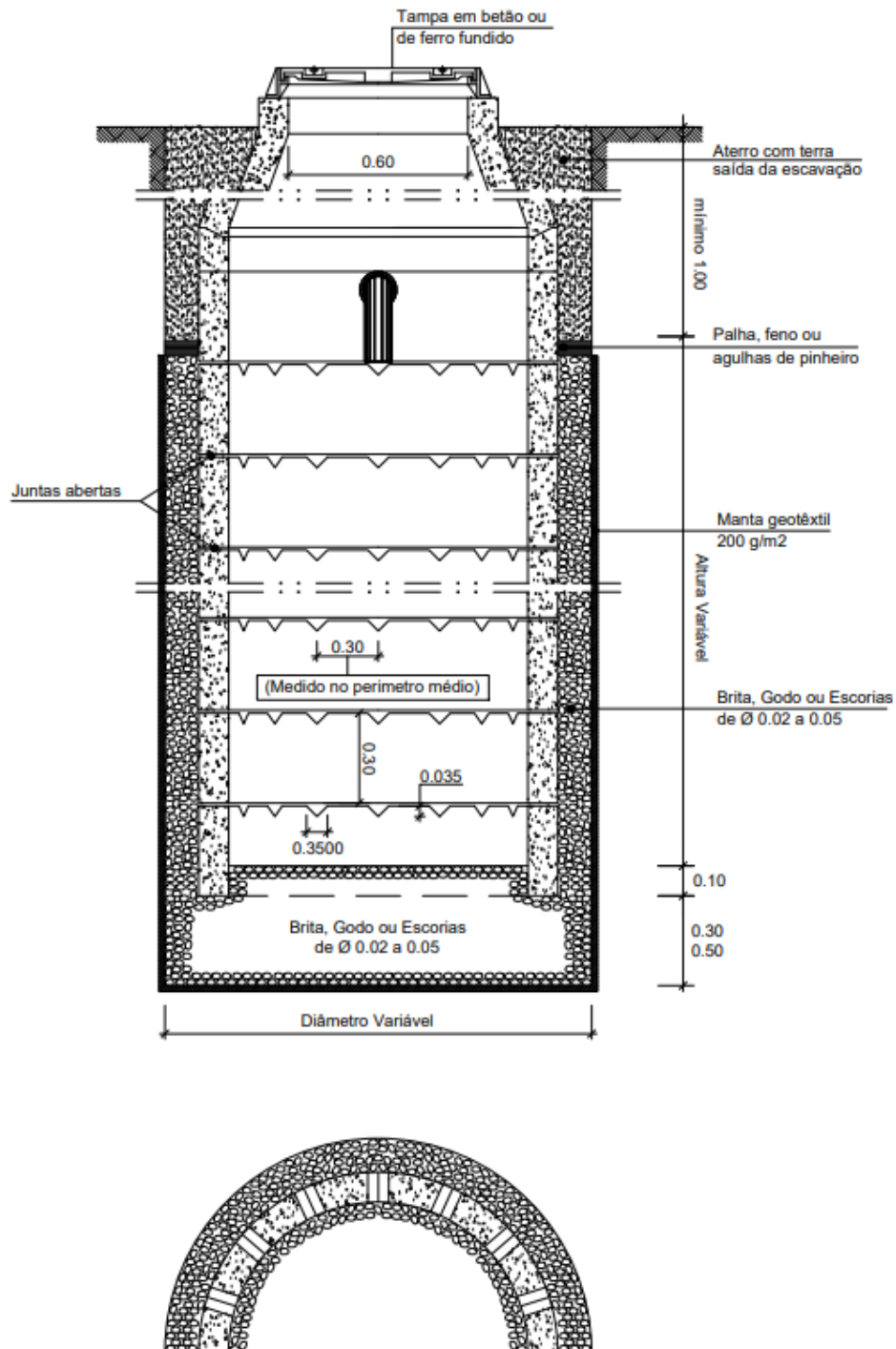


Figura 54: Detalhe de um poço de infiltração. Fonte: Arquiteta Ana Perdigão Antunes. A3 Academia de Arquitetura.

5.7. Coberturas Verdes | Roof Gardens

Os telhados verdes, também conhecidos como Roof Gardens, têm implicações ecológicas significativas em áreas urbanas, afetando o “balanço energético, os sistemas de drenagem e impermeabilização, além do planeamento e dimensionamento das edificações” (Ferreira & Moruzzi, s.d., p. 3). Embora a sua origem remonte à Mesopotâmia, o desenvolvimento moderno desses sistemas iniciou-se na Europa dos anos 70, com estudos de universidades como ETH Zurich, Universidade de Stuttgart e Universidade de Greenwich, destacando-se a Alemanha como pioneira nessa pesquisa.

Estes sistemas são cruciais para o tecido urbano, oferecendo benefícios como a mitigação das ilhas de calor e a “retenção de águas pluviais, contribuindo para a redução de enchentes e alagamentos” (Cologe & Pereira, 2008, p. 10). Além do valor estético, os telhados verdes melhoram a qualidade do ar e podem reduzir a temperatura ambiente em até 4°C, conforme relatado pela European Commission - EC (s.d.), o que é especialmente relevante para o desenvolvimento de casas bioclimáticas em áreas urbanas.

Em relação à drenagem das águas pluviais, “os telhados verdes são infraestruturas de infiltração ou de retenção das águas pluviais. Possibilitam a redução de áreas totalmente impermeáveis e, conseqüentemente, os efeitos negativos da urbanização.” (Nascimento, Carvalho, & David, 2010, p. 4). Estes sistemas também melhoram a qualidade da água, atuando como filtros naturais que capturam detritos e poluentes antes de a água entrar em reservatórios de acumulação, sendo especialmente eficazes em coberturas verdes de grandes dimensões, de acordo com Vasco (2016).

Do ponto de vista ecológico, a vegetação dos telhados verdes contribui para a redução das “ilhas de calor” urbanas, melhora a qualidade da água e promove a biodiversidade, criando novos habitats para aves em áreas densamente urbanizadas, segundo, Cologe & Pereira (2008). Além disso, conforme Oliveira

(2009), os telhados verdes podem ser utilizados para o cultivo de alimentos, aumentando o abastecimento em zonas urbanizadas.

Em termos estruturais as coberturas verdes são divididas em três tipologias:

- Cobertura verde extensiva;
- Cobertura verde intensiva;
- Cobertura verde semi-intensiva.

Segundo Nascimento, Carvalho e David (2010), os telhados verdes são compostos por várias camadas, cada uma desempenhando uma função específica. A base é uma camada impermeabilizante, sobre a qual pode ser aplicado um isolante térmico, dependendo da incidência solar à qual a cobertura está exposta. A camada drenante, feita de materiais como argila expandida, brita ou seixos, tem a função de escoar o excesso de água. Acima desta, a camada filtrante, frequentemente composta por geotêxtil, impede que as partículas do solo sejam arrastadas pela água das chuvas.

O substrato utilizado no telhado verde deve possuir boa drenagem e uma excelente composição mineral para suportar a vegetação, cuja escolha depende de fatores como o clima e o tipo de solo.

“Além do impacto visual de um extenso telhado verde, eles também fornecem um habitat natural e útil para pássaros ou insetos.” (Cologe & Pereira, 2008, p. 5)

É, no entanto, de apontar, que se queremos aproveitar as águas pluviais “o desenvolvimento dos telhados verdes no controle quantitativo do escoamento pluvial, está condicionada à adequada escolha dos materiais e composições dos substratos em pregados na sua construção” (Jobim, 2013, p. 37).

5.7.1. Cobertura Verde Extensiva

É uma cobertura mais leve, composta por um sistema de menor espessura e vegetação mais rasa como tapetizantes, suculentas (sedum), herbáceas, prados, com menores raízes e com menor manutenção, “plantas a maior parte

das vezes capazes de se manter por longos períodos secos, bem como suportar condições climáticas mais adversas”. (Nascimento, et.al., 2010, p. 4), resistentes a climas adversos, e ter uma grande capacidade regenerativa. Logo a cobertura extensiva tem o “propósito de acelerar o processo natural de colonização, usando vegetação autóctone de modo a estabelecer uma população duradoura, que funcione e forma autónoma e sustentável” (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019, p. 37).

Aplicadas em diferentes tipos de edifícios, incluindo garagens, essas coberturas possuem uma carga de, aproximadamente, 150 kg/m², de acordo com o guia técnico de coberturas verdes. Embora geralmente não requeiram irrigação, esta prática é recomendada em climas mediterrâneos e tropicais. A acessibilidade para manutenção depende do projeto, sendo que nem todas as coberturas são transitáveis.

O substrato utilizado em coberturas extensivas deve ser adequado, rico em minerais e matéria orgânica. Em Portugal, conforme Palha, Franca & Fogueiro (2019), essas coberturas são instaladas com uma camada de substrato entre 8 cm e 15 cm, suportando vegetação com altura máxima de 50 cm. Como se pode ver o detalhe na figura 55 e a sua legenda na figura 56.

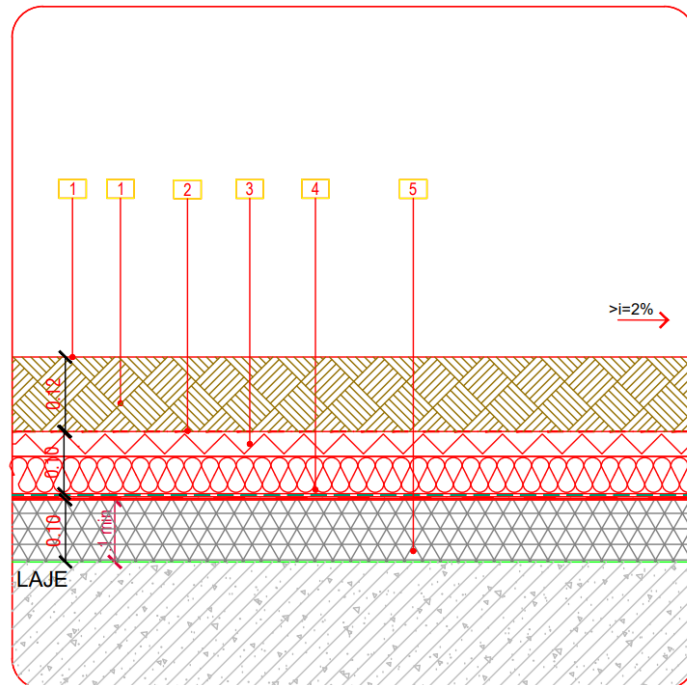
As coberturas extensivas podem ser construídas praticamente em “todos os tipos de coberturas (telhas, cerâmicas, de fibrocimento, coberturas de aço e lajes), enquanto a cobertura intensiva necessita de um estudo prévio devido suas características físicas.” (Jobim, 2013, p. 16). Como vemos na figura 57.

PORMENOR Cobertura Verde Extensiva

ÁREA VERDE TAPETE DE SEDUM
SOBRE LAJE (COBERTURA)



Planta



Corte

Figura 55: Corte, pormenor de construção, de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.

LEGENDA

- 3 Tapete de Sedum com 'Floradrain® FD 25-E' da Landlab ou equivalente, composto por Filtro Sistema SF, elemento de drenagem Floradrain® FD 25-E e manta de protecção e retenção SSM 45
- 1 Substrato vegetal do tipo 'SIRO ROOF' da SIRO, ou equivalente
*saturado = DAP 650/700kg/m³
- 2 Tela geotêxtil anti-ervas, 68 g/m², do tipo 'PLANTEX® PREMIUM' da Terramotriz ou similar
- 4 Isolamento térmico XPS 60mm, de acordo com o projecto da especialidade
- 5 Camada de formação de pendente e regularização, com espessura variável e Sistema de impermeabilização composto por Emulsão betuminosa aplicada como primário de impermeabilização, IMPERKOTE F; Membrana de impermeabilização em betume plastómero APP com 4 Kg/m² e armadura de poliéster, protegida a polietileno em ambas as faces, POLYSTER 40; *ver projecto de arquitectura

Figura 56: Legenda do Corte, pormenor de construção, de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.



Figura 57: Elementos integrantes das coberturas verdes extensivas. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019).

5.7.2. Cobertura Verde Intensiva

As coberturas verdes intensivas, também conhecidas como telhados verdes intensivos, são jardins de média a grande escala, projetados para uso pessoal ou público, com finalidades desportivas, recreativas e de lazer. Estas coberturas,

que integram vegetação herbácea, arbustiva e até arbórea, têm um peso médio de 250 kg/m². Logo, têm maior “exigência ao nível da espessura da camada do substrato, das camadas de solo de proteção e da capacidade de carga da estrutura” (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019, p. 94). A camada de substrato nestas coberturas pode ter uma espessura superior a 25 cm, podendo alcançar até 2 metros ou mais, dependendo do estudo de carga, o que lhes confere uma elevada capacidade de absorção e drenagem das águas pluviais. Como se observa nas figuras 58, 59 e 60.

Devido ao seu porte, estas coberturas requerem uma distribuição cuidadosa das cargas adicionais originadas pelo peso do solo, das plantas e da água, para garantir a estabilidade da edificação, como referem Cologe e Pereira (2008). Além disso, a manutenção de telhados verdes intensivos é similar à de jardins ou parques, necessitando de podas, fertilização e rega regular.

A construção de uma cobertura verde intensiva deve considerar uma capacidade de drenagem adequada para evitar problemas estruturais. É fundamental que o projeto inclua pendentes de 1 a 2% para garantir a eficiente drenagem das águas pluviais.

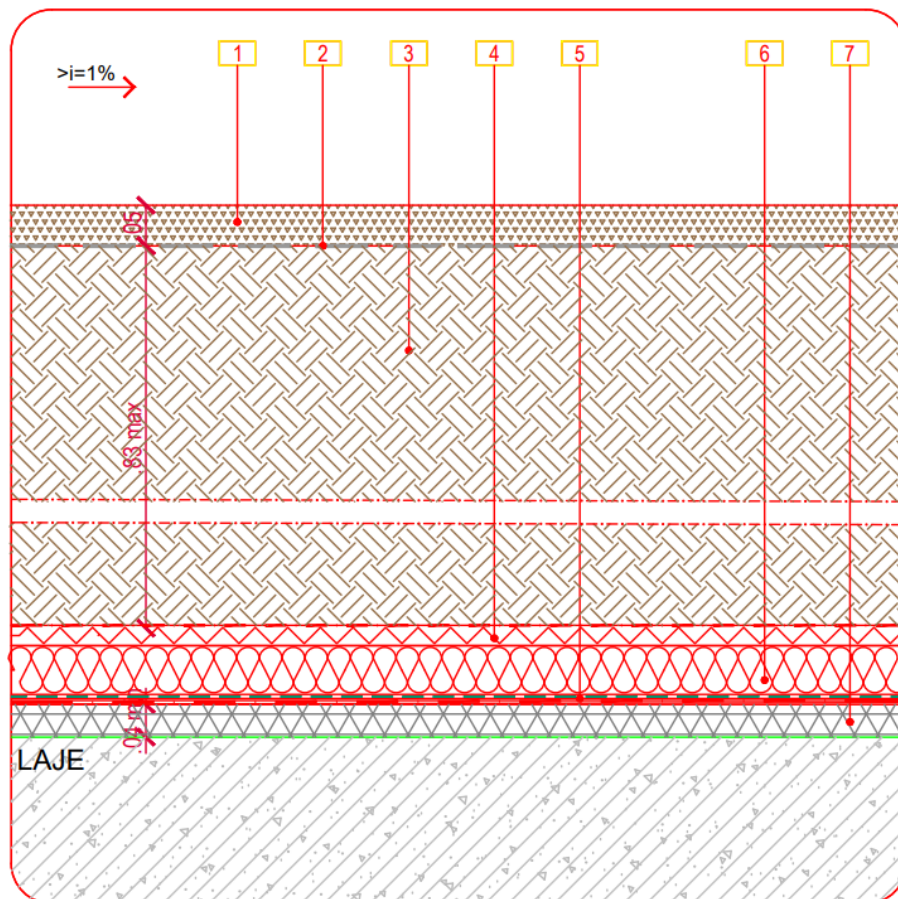
Conforme Jobim (2013), a implementação de coberturas intensivas requer um estudo prévio detalhado, considerando as características físicas específicas deste tipo de sistema. Este estudo deve avaliar a capacidade de carga da estrutura e assegurar que os materiais e as especificações técnicas sejam adequadas para garantir o desempenho e a segurança da cobertura verde intensiva.

PORMENOR Cobertura Verde Intensiva

ÁREA VERDE
SOBRE LAJE (COBERTURA)



Planta



Corte

Figura 58: Corte, pormenor de construção de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.

LEGENDA

- 1 Casca de pinheiro marítimo, triturada, tratada e calibrada, com textura fina, 20-40mm, e 50mm de espessura
- 2 Tela geotêxtil anti-ervas, 68 g/m², do tipo 'PLANTEX® PREMIUM' da Terramotriz ou similar
- 3 Substrato vegetal do tipo 'SIRO ROOF' da SIRO, ou equivalente
*saturado = DAP 650/700kg/m³
- 4 Sistema de drenagem para coberturas verdes tipo "Jardim na Cobertura com Floradrain® FD 60" da Landlab ou equivalente, constituído por Filtro Sistema SF, elemento de drenagem Floradrain® FD 60 neo com enchimento Zincolit Plus, Manta de protecção e retenção ISM 50
- 5 Membrana de impermeabilização em betume plastómero APP com aditivo anti raiz na massa betuminosa armada com armadura de poliéster, revestida a polietileno em ambas as faces, POLYSTER 40 GARDEN (4 kg/m²) alternada nas subidas aos muretes/platibandas por membrana em betume plastómero APP com aditivo anti raiz na massa betuminosa armada com armadura de poliéster, revestida a polietileno na face inferior e auto-protegida com granulado mineral na face superior, POLYXIS R 50 GARDEN
- 6 Isolamento térmico XPS 60mm, de acordo com o projecto da especialidade
- 7 Camada de formação de pente e regularização, com espessura variável e Sistema de impermeabilização composto por Emulsão betuminosa aplicada como primário de impermeabilização, IMPERKOTE F; Membrana de impermeabilização em betume plastómero APP com 4 Kg/m² e armadura de poliéster, protegida a polietileno em ambas as faces, POLYSTER 40; *ver projecto de arquitectura

Figura 59: Legenda do Corte, pormenor de construção de uma cobertura verde extensiva. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.



Figura 60: Elementos integrantes das coberturas verdes semi-intensivas. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019).

5.7.3. Cobertura Semi-Intensiva

As coberturas semi-intensivas, de acordo com Palha, Franca, & Fogueiro (2019), são sistemas que se posicionam entre as coberturas verdes extensivas e intensivas, combinando características de ambos os tipos. Este tipo de cobertura é projetado para suportar uma diversidade moderada de vegetação, que vai desde as plantas tapetizantes, herbáceas e pequenos arbustos, e plantas lenhosas, mas sem a complexidade e as exigências estruturais de uma cobertura intensiva completa. Requerem uma camada de substrato nas coberturas semi-intensivas que varia, geralmente, entre 15 e 25cm, oferecendo uma capacidade de retenção de água superior à das coberturas extensivas, mas inferior à das intensivas. Como se observa na figura 61.

Segundo Jobim (2013), as coberturas semi-intensivas requerem um estudo cuidadoso, similar ao das coberturas intensivas, para assegurar que a estrutura do edifício possa suportar as cargas adicionais provenientes do solo, plantas e água. No entanto, devido ao peso reduzido em comparação com as coberturas intensivas, as exigências estruturais são mais flexíveis. É crucial garantir uma boa drenagem e a escolha adequada da vegetação, que deve ser resistente às condições de exposição e capaz de prosperar com manutenção moderada periódica.

Os telhados semi-intensivos, “encontram-se em posição intermediária, tendo por característica necessitar de irrigação intermitente.” (Cologe & Pereira, 2008, p. 6)

As coberturas semi-intensivas são particularmente indicadas para projetos que visam criar espaços verdes acessíveis e esteticamente agradáveis, sem sobrecarregar a infraestrutura do edifício. A implementação de tais coberturas deve considerar, não apenas os aspetos técnicos, mas também as implicações ecológicas, a fim de promover a sustentabilidade e a integração harmoniosa com o ambiente urbano.



Figura 61: Elementos integrantes das coberturas verdes semi-intensivas. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019)

5.7.4. A diferença entre coberturas verdes e Coberturas Invertidas

As coberturas verdes invertidas, ver figura 62, representam uma abordagem alternativa na instalação de telhados verdes, na qual o isolamento térmico é colocado sobre a camada de impermeabilização, em vez de sobre a mesma, como ocorre no método tradicional, como é referido por Palha, Franca & Fogueiro (2019).

De acordo com Guerreiro et al. (2019), os elementos essenciais para uma cobertura verde incluem a camada de proteção da impermeabilização, camada drenante, camada de retenção de água, camada filtrante, camada de enraizamento (solo ou substrato), camada de vegetação e sistema de rega.

Nas coberturas verdes invertidas, a camada de substrato e as plantas são posicionadas abaixo da membrana impermeável. Este sistema é particularmente vantajoso para edifícios com limitações de carga ou que já possuam uma membrana impermeável instalada. Além disso, a proteção oferecida pela camada impermeável acima das plantas e do substrato pode reduzir a

probabilidade de vazamentos e diminuir a necessidade de manutenção frequente.

Apesar das suas vantagens, as coberturas verdes invertidas também enfrentam desafios específicos, como a necessidade de garantir uma drenagem eficaz e a seleção de plantas que consigam adaptar-se ao ambiente confinado sob a camada impermeável. Além disso, a manutenção dessas coberturas requer cuidados rigorosos e o cumprimento de regras de segurança estritas.

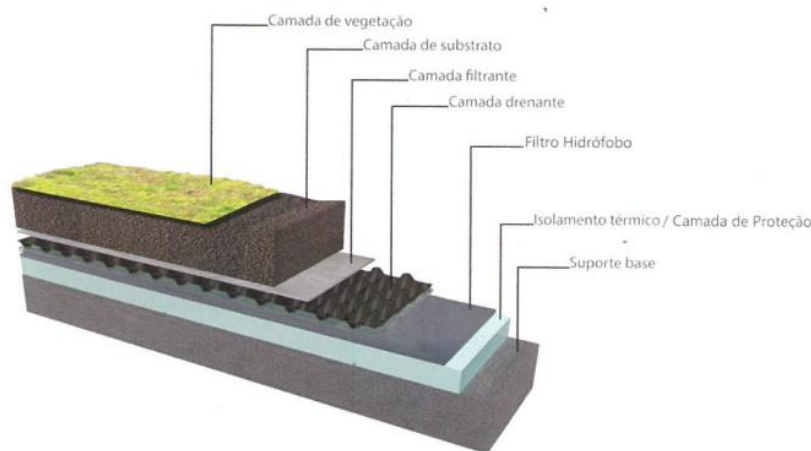


Figura 62: Camadas obrigatórias gerais, para uma cobertura verde invertida. Fonte: (Palha, Franca, & Fogueiro, 2019).

5.8. Aproveitamento das águas pluviais dos telhados em Barris

O uso de barris (“Rain Barrels”), ver figura 63, constitui uma solução económica, que se vê aplicada, acima de tudo, no Alentejo. Trata-se de um reservatório de águas pluviais, posteriormente utilizadas para uso animal ou rega. A água armazenada pode ser utilizada nos períodos de seca.



Figura 63: Esquema e imagem explicativa de soluções de origem "Rain Barrels". Fonte: (Gonçalves, 2016).

6. Pavimentos

6.1. A controvérsia do conceito de pavimento permeável/poroso

A eficácia dos pavimentos permeáveis tem sido um tema controverso no contexto da gestão das águas pluviais. Em Portugal a definição de pavimentos permeáveis é crucial, especialmente para arquitetos paisagistas que frequentemente os especificam em projetos nacionais. No entanto, observa-se uma crescente reavaliação por parte de algumas Câmaras Municipais. Um exemplo notável é o pavimento em terra batida, que, embora anteriormente considerado permeável, agora é reconhecido como impermeável.

A experiência profissional adquirida pela autora, revela que, muitos pavimentos, apesar de inicialmente apresentarem características de permeabilidade, mostram eficácia limitada na drenagem das águas superficiais, após um período de uso e compactação. Na verdade, com o tempo, estes pavimentos tendem a perder a sua capacidade de infiltração devido à compactação e desgaste. Por esta razão, nesta tese, opta-se por referir estes pavimentos como porosos, para refletir mais precisamente a sua condição após uso.

Pavimentos pedonais porosos, como os de gravilha, resinas, brita em paralelo, embora inicialmente eficazes, apresentam uma eficácia reduzida na drenagem das águas após 3 a 5 anos de utilização, dependendo da intensidade da mesma.

Para pavimentos rodoviários, a situação é similar: muitos destes pavimentos tornam-se praticamente impermeáveis logo após a sua instalação. Embora proporcionem maior segurança em períodos de chuva, ao reduzir o risco de aquaplanagem e melhorar a visibilidade e o conforto ambiental, é necessário implementar grelhas ou valas para drenar eficazmente as águas pluviais acumuladas nas bermas desses pavimentos, o que deverá ser tido em conta por quem optar pela sua implementação. Além disso, na sua construção, é essencial considerar o tipo de drenagem e a inclinação dos pavimentos permeáveis e porosos (ver Anexo 5).

Os que aqui vão mencionados, são os que, hoje-em-dia, se consideram permeáveis ou porosos. Mas, mesmo estes, têm de ser revistos e melhorados, ou substituídos por novas formas de pavimento que possamos considerar efetivamente permeáveis.

Esta tese propõe, neste tópico, uma revisão sucinta destes conceitos e dos autores que têm analisado este dilema. Contudo, após uma revisão bibliográfica abrangente, observa-se que a maioria dos autores ainda considera estes pavimentos como permeáveis, um ponto que será criticamente avaliado no decorrer deste trabalho.

6.1. Pavimento permeável/poroso

Os pavimentos impermeáveis, amplamente utilizados em áreas urbanas densas, como estradas e estacionamento, são uma das principais causas de cheias e erosão dos solos. Para mitigar esses problemas, os pavimentos permeáveis e porosos surgem como alternativa na gestão das águas pluviais. Estes tipos de pavimentos podem ser aplicados em passeios, vias de circulação, áreas desportivas e jardins.

Na opinião de Vasco (2016), o pavimento pode-se dividir entre: pavimentos permeáveis, o que se costuma referir a pavimentos onde a infiltração ocorre principalmente através dos espaços entre os materiais, e pavimentos porosos,

estes, geralmente, implicam que a sua própria superfície seja altamente porosa, permitindo a passagem direta da água.

Segundo Ballard et al. (2007, cit. por Lourenço, 2014), os pavimentos permeáveis são porosos, por estes, permitirem a drenagem das águas pluviais através da superfície para as camadas subjacentes, onde a água é armazenada temporariamente até se infiltrar no solo, ser reutilizada ou ser encaminhada para outro componente de drenagem ou para uma linha de água.

Os pavimentos porosos são todos os pavimentos em que a superfície é construída com materiais porosos. A infiltração da água processa-se por meio dos vazios da camada superficial, porque são usados materiais filtrantes que permitem de que as águas das chuvas se infiltrem naturalmente no solo. Esta solução deve ser usada, segundo Lourenço (2014), em zonas em que o armazenamento por unidade de área de infiltração seja reduzido, sendo adequada para substituição das faixas de rodagem convencionais, parques de estacionamento, faixas de serviço e passeios pedonais.

Porém, em conformidade com Agostinho & Poletto (2012), os solos permeáveis deveriam ser denominados de semipermeáveis, que vêm como os solos compactados, blocos de concreto, paralelepípedos e blocos permeáveis. Estes autores, não deixam, porém, em síntese, após estudos práticos, de verificar que existe uma taxa de infiltração da água pluvial, assim, comprovando a eficiência desses tipos de pavimentos na redução do escoamento superficial, mas sempre realçando que é necessária uma boa e grande manutenção. Sendo o seu custo de implementação e manutenção, como referido por Lourenço (2014), consiste na limpeza dos poros, (ex. concreto poroso) com jatos de água e máquinas de aspiração de sedimentos, resultando em despesas extra, muitas vezes consideráveis.

Conforme Araújo, et al. (2000),

A utilização dos pavimentos permeáveis, em um contexto geral, pode proporcionar uma redução dos volumes escoados e do tempo de resposta da bacia para condições similares ou até mesmo, dependendo das características do subsolo, condições melhores que as de pré desenvolvimento, desde que seja utilizado racionalmente, respeitando seus

limites físicos, e desde que seja conservado periodicamente. (Araújo, et al., 2000, p. 22),

As principais limitações, segundo Araújo, et al. (2000) dos pavimentos revelam-se quando existe falta de controlo na construção e manutenção, que podem entupir os dispositivos, tornando-os ineficientes. Se existir baixa permeabilidade do solo, se existir uma camada que não permite a infiltração, ocorrem inundações. Tal como refere Jácome (2010), as restrições existentes para o uso de pavimento permeável são: a impossibilidade de infiltração da água devido à baixa permeabilidade do solo, a existência de uma camada impermeável ou, quando se dê o caso de o nível do lençol freático ser demasiado alto.

Existem algumas publicações e estudos acerca desta realidade, feitos na Califórnia e no Brasil, nos quais se verifica que o solo inicial e o clima também são fatores a ter em consideração, como no estudo de Castro, Goldenfum, Silveira, & Marques (2013), que refere que:

para os dezassete eventos estudados (...) os resultados da análise quantitativa mostram que, somente o pavimento com revestimento de blocos vazados continua fazendo o controle adequado do volume de escoamento superficial, embora com valores de escoamento um pouco superiores aos encontrados no passado, no mesmo dispositivo experimental. Os valores de coeficiente de escoamento superficial encontrados nesta segunda etapa do monitoramento demonstram serem maiores que na primeira etapa, principalmente no revestimento de asfalto poroso. (Castro, Goldenfum, Silveira, & Marques, 2013, p. 263)

Neste trabalho não se afirmará perentoriamente que os pavimentos em betão poroso não realizam escoamento. Mas podemos dizer que, realmente, os pedonais de resina ou brita, devido ao material, à sua composição e à menor carga, conseguem realizar melhor escoamento que aos pavimentos porosos para veículos. E que, dentro destes, existem variáveis.

Neste momento, estas parecem-nos as melhores alternativas aos ditos convencionais, pois contribuem mais para a mitigação de problemas como inundação, erosão e poluição, apesar de não serem, ainda, as ideais.

De um ponto vista geral, deve existir um sistema de drenagem com tubos perfurados espaçados, caixas e grelhas drenantes, em todos os pavimentos sustentáveis, para completar os pavimentos, de forma a possibilitar uma drenagem excelente. Sempre com contratos de manutenção específicos para cada tipo de pavimento que se irá implementar.

No caso dos espaços verdes, a utilização de pavimentos porosos na rede de caminhos e zonas de estadia, permite, ainda, que as plantas mais próximas aproveitem ao máximo a água da chuva.

6.3. Pormenores de construção de pavimentos drenantes (porosos)

6.3.1. Pavimento em betuminoso poroso

O pavimento em betuminoso poroso, também conhecido como pavimento asfáltico drenante, é uma solução técnica para melhorar a gestão das águas pluviais em áreas urbanas. Este tipo de pavimento é produzido com uma mistura de betume, que pode ser normal ou modificado com polímero, e agregados com granulometria específica, como o calcário de 11mm de tamanho máximo. Segundo a normativa da União Europeia, a mistura deve ser aplicada a temperaturas não inferiores a 8°C, envolvendo etapas rigorosas de marcação de níveis, espalhamento da mistura, compactação e execução de juntas transversais e longitudinais até que a camada esteja devidamente compactada e com a densidade adequada. Como podemos observar a sua composição na figura 64.

De acordo com a norma europeia NP EN 13108-20, que regula as misturas betuminosas drenantes, estas devem ser produzidas a quente e utilizadas com materiais registados pela União Europeia. A combinação de agregados e ligantes betuminosos é aquecida a temperaturas superiores às ambientais, para facilitar a sua construção e compactação.

Em Portugal, este pavimento é designado por Betão Betuminoso Drenante (BBD). Caracteriza-se pela sua capacidade de drenagem e por proporcionar um bom comportamento em termos de segurança e conforto durante a condução, especialmente em períodos de precipitação, devido à elevada aderência que confere aos pneus, segundo Lourenço (2014). Os pavimentos betuminosos porosos são utilizados em acessos privados, parques de estacionamento, estradas com tráfego moderado e portos. Como vemos no exemplo da figura 65. A sua eficácia em termos de drenagem contribui para a redução de alagamentos e melhora a segurança rodoviária em condições de chuva, tornando-os uma escolha valiosa para a gestão sustentável das águas pluviais, como referido por, Vasco (2016).

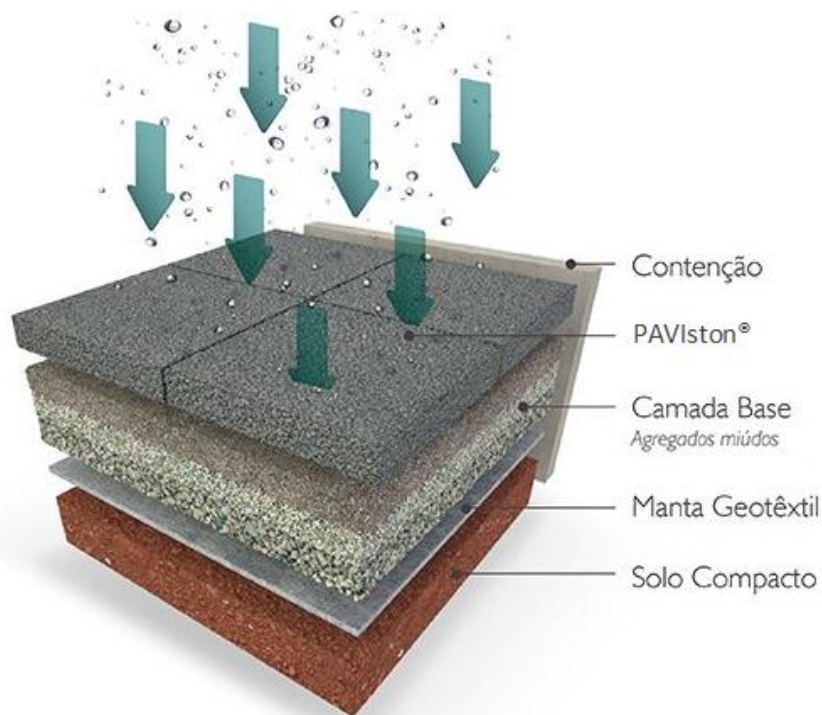


Figura 64: Corte de um pavimento poroso da PAVIston. (ver ficha técnica). Fonte: (Construção., s.d.).



Figura 65: Pavimento em betão poroso. Fonte: (Creations, 2019).

6.3.2. Pavimento em betão poroso

O pavimento em betão poroso destaca-se pela sua elevada permeabilidade, obtida pela ausência de partículas finas na mistura. Esta tipologia de betão é composta por uma pasta “cimentícia” que envolve agregados, apresentando um baixo teor de finos ou nenhum, como refere Albino (2013). A sua estrutura porosa permite à água fluir através do pavimento e alcançar o solo, o que é especialmente benéfico para a gestão das águas pluviais durante chuvas intensas, prevenindo inundações e contribuindo para a irrigação de áreas verdes. Como se pode observar na figura 66.

O betão poroso é eficaz na redução de aquaplanagem em vias de trânsito, melhorando a segurança em condições de chuva. De acordo com Lourenço (2014), as argamassas utilizadas foram inicialmente projetadas para remover poluentes das águas pluviais e demonstraram ser eficazes no controle do volume de escoamento, particularmente em situações de cheias menos intensas.

No entanto, este tipo de pavimento não é ideal para áreas de tráfego intenso ou cargas pesadas, ver figura 67. É mais adequado para ciclovias, passeios, tráfego leve a médio, como base para pavimentos de concreto convencional e valetas de drenagem para baixo volume de água. Em comparação com o asfalto poroso, o betão poroso é considerado mais eficiente, mantendo a sua porosidade mesmo em climas quentes, como referido por Lourenço (2014).

É crucial garantir uma manutenção e limpeza adequadas para evitar a colmatção dos poros, assegurando a continuidade da sua eficácia e durabilidade.

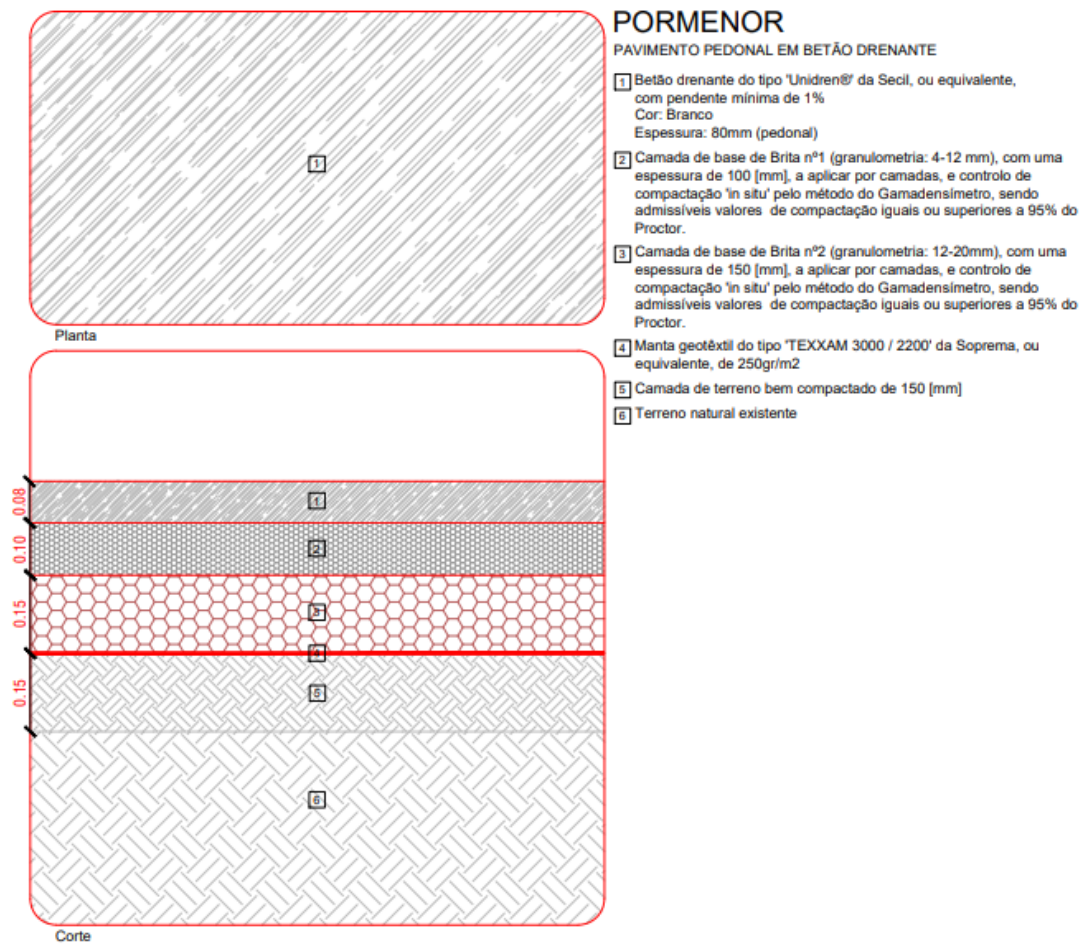


Figura 66: Corte de um pormenor de construção de betão porosos drenante. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.



Figura 67: Pavimento em betão poroso. Fonte: (Creations, 2019).

6.3.3. Pavimento em blocos, paralelo de granito

Os pavimentos em blocos, frequentemente fabricados em concreto ou materiais permeáveis, são instalados sobre uma base de cascalho ou brita, permitindo a passagem de água através da superfície, segundo INTERPAVE (2010). Estes blocos podem variar em geometria e espessura, oferecendo diferentes arranjos e efeitos visuais, e alguns incorporam espaçadores para ajustar as juntas e acomodar possíveis alterações das peças, em concordância com Lourenço (2014).

Os pavimentos em blocos de betão permitem a infiltração de 11 a 45% da precipitação útil durante eventos chuvosos. Esta capacidade de infiltração depende do tipo de blocos e do espaçamento entre estes, que facilita o escoamento das águas, segundo, INTERPAVE (2010). Esses pavimentos são utilizados em diversos contextos, como passeios, áreas ao redor de piscinas, exteriores de habitações e parques de estacionamento.

Os pavimentos em blocos de concreto são geralmente constituídos por duas camadas: a camada de rolamento, composta pelos blocos, e a base, que suporta

os blocos e evita que afundem no solo natural. A ausência de uma base adequada pode comprometer a qualidade e durabilidade do pavimento, como refere, Santos (2017). Ver figura 68 e 69.

Esses pavimentos são valorizados pela sua capacidade de drenagem e adaptabilidade a diferentes aplicações, embora a eficácia do escoamento possa variar conforme o tipo de bloco e o cuidado na instalação.

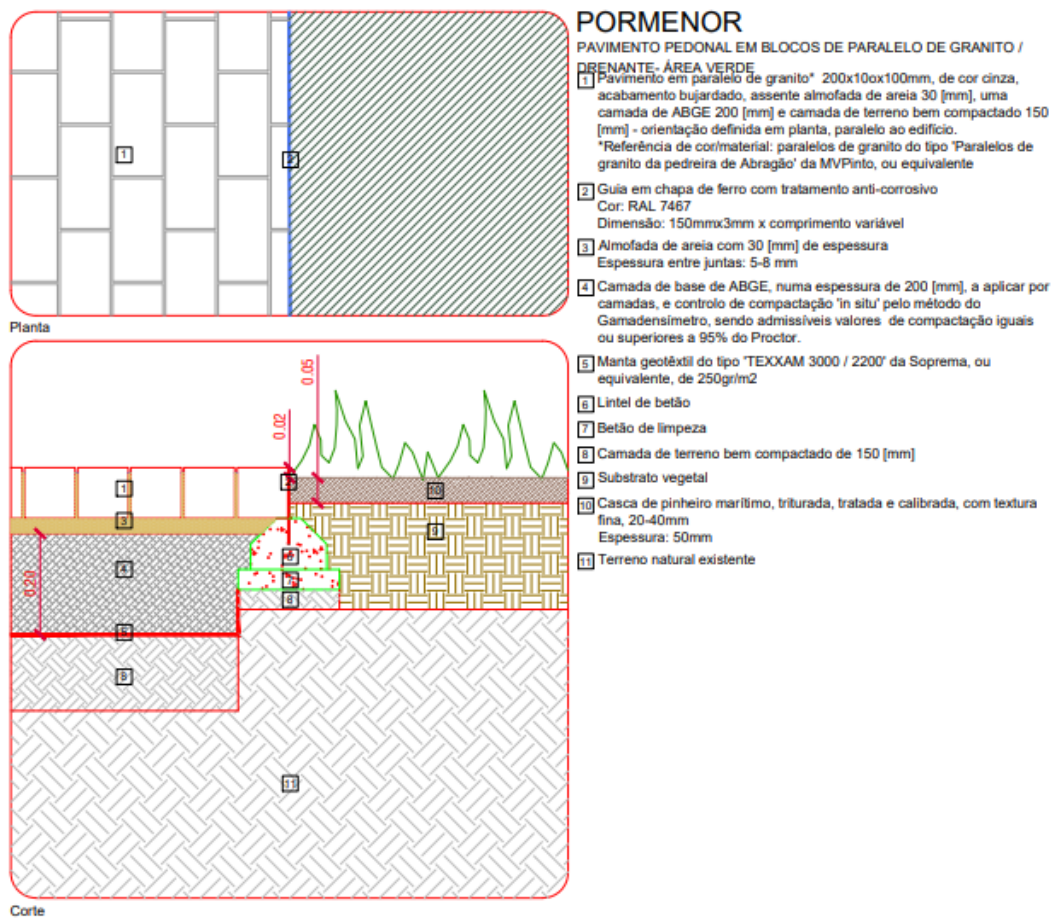


Figura 68: Corte de um pormenor de construção, de um pavimento e blocos de granito. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.



Figura 69: Pavimento em cubo de granito. Fonte: (Intertravado, s.d.).

6.3.4. Pavimento em gravilha

Os pavimentos em gravilha são soluções versáteis e sustentáveis, frequentemente utilizados em caminhos pedonais, jardins, canteiros e outras áreas de paisagismo. Estes pavimentos consistem na colocação de gravilha sobre uma tela permeável, que serve como base para criar uma superfície porosa capaz de permitir a infiltração da água. Esta configuração não só contribui para a gestão das águas pluviais, minimizando o escoamento superficial e promovendo a recarga dos aquíferos, como também auxilia na prevenção de erosão do solo. Ver pormenor de construção ilustrado na figura 70.

Além da gravilha, ver figura 71, outros materiais como pedras naturais e agregados podem ser utilizados em pavimentos permeáveis. Exemplos incluem lajes de arenito e pedra-pomes, que, quando dispostas de maneira a permitir a passagem da água, também funcionam como superfícies permeáveis. Estes materiais são particularmente adequados para áreas onde se pretende manter um caráter natural e esteticamente agradável, ao mesmo tempo que se promove a sustentabilidade e a gestão eficiente das águas pluviais.

Em projetos de arquitetura paisagista, a escolha do material para pavimentos em gravilha deve considerar, não apenas a funcionalidade e a permeabilidade, mas também o impacto visual e a integração com o ambiente circundante. A utilização de telas permeáveis como base é essencial para garantir a estabilidade do pavimento, evitando que a gravilha se desloque e mantendo a eficácia na infiltração da água ao longo do tempo.

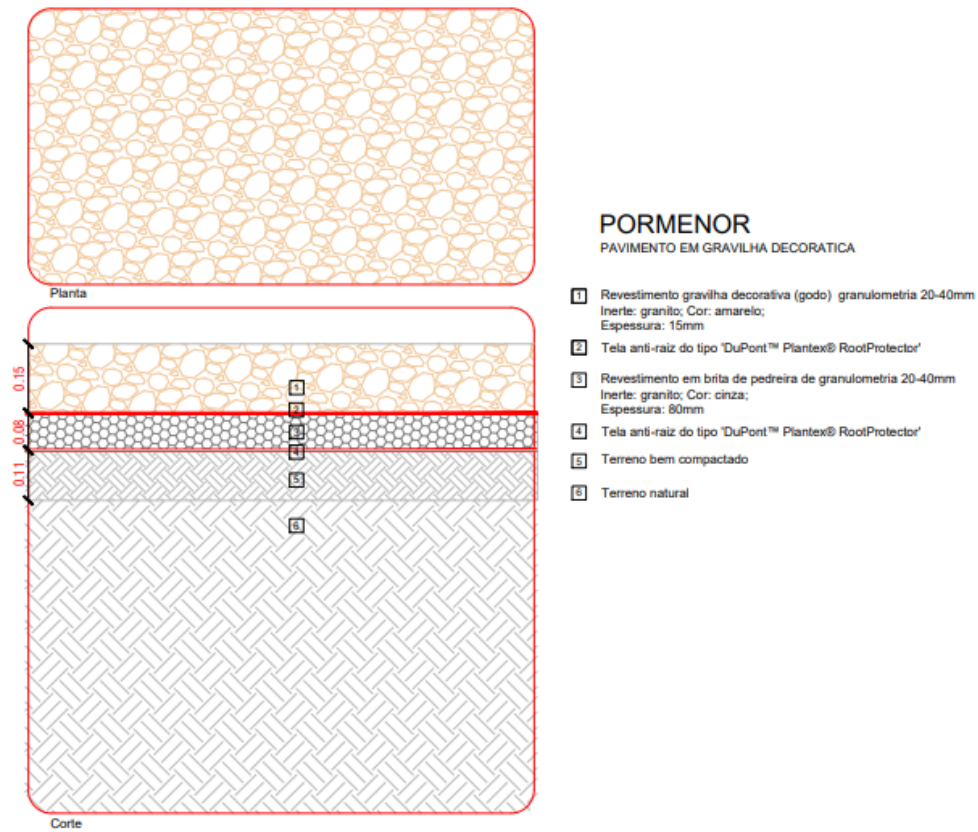


Figura 70: Corte, pormenor de construção de um pavimento em gravilha. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.



Figura 71: Imagem de um pavimento em gravilha amarelo limão. Fonte: (Pedra, s.d.).

6.3.5. Pavimento em Grelha de Enrelvamento com geodreno

Os pavimentos em grelha de enrelvamento, como vemos no corte de construção ilustrado na figura 72, são sistemas onde o relvado cresce entre as aberturas do pavimento, permitindo a infiltração da água da chuva. São usados em acessos privados de automóveis; Parques de estacionamento de veículos ligeiros; Acessos automóveis de emergência ou com utilizações ocasionais, em concordância com, Vasco (2016). Ver figura 73.

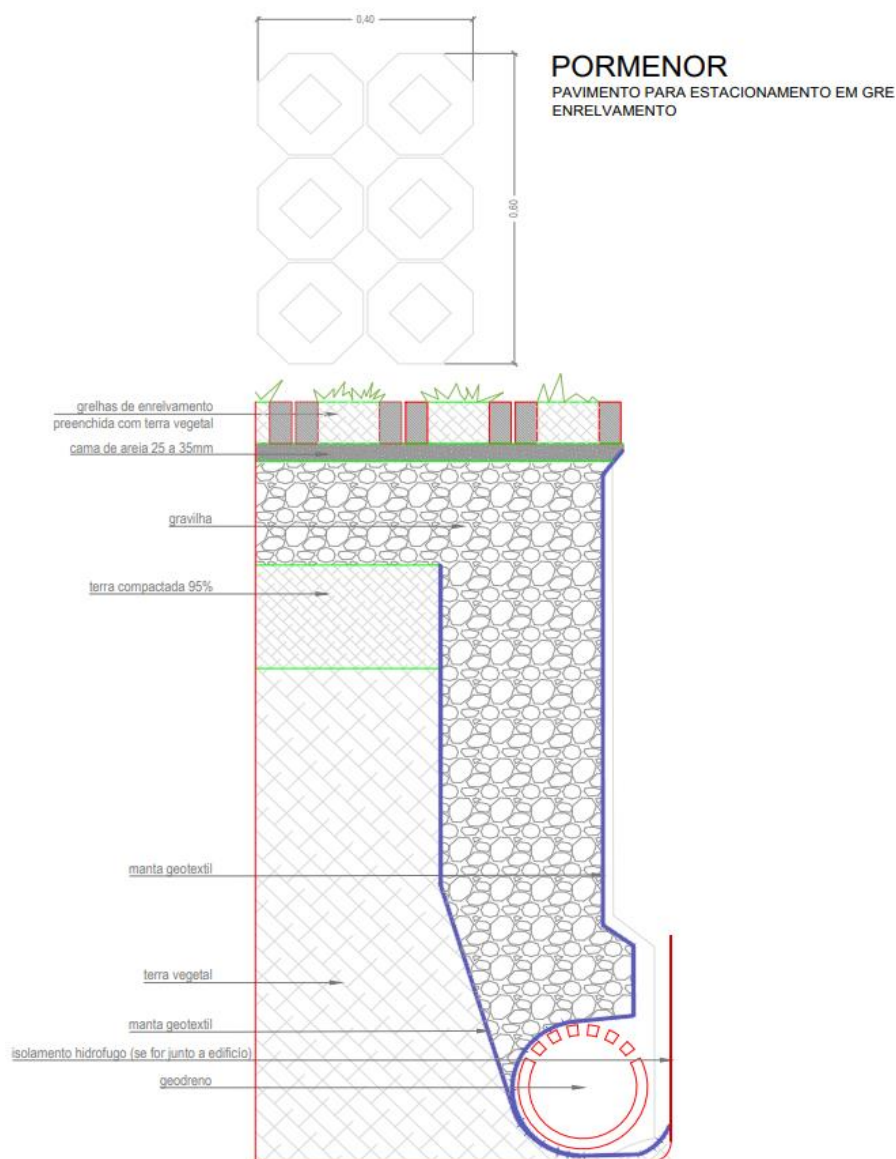


Figura 72: Corte de um pavimento em grelha de enrelvamento, em betão, com geodreno. Fonte: Arquiteta Ana Perdigão Antunes. A3 Academia de Arquitetura.



Figura 73: Pavimento em grelha de enrelvamento em betão. Fonte: Parque de estacionamento, Rua da Misericórdia, Matosinhos, da autora.

6.3.5.1 Pavimento em Grelha de enrelvamento sem geodreno

O pavimento em grelha de enrelvamento sem geodreno está aqui ilustrado nas figuras 74, 75 e 76.

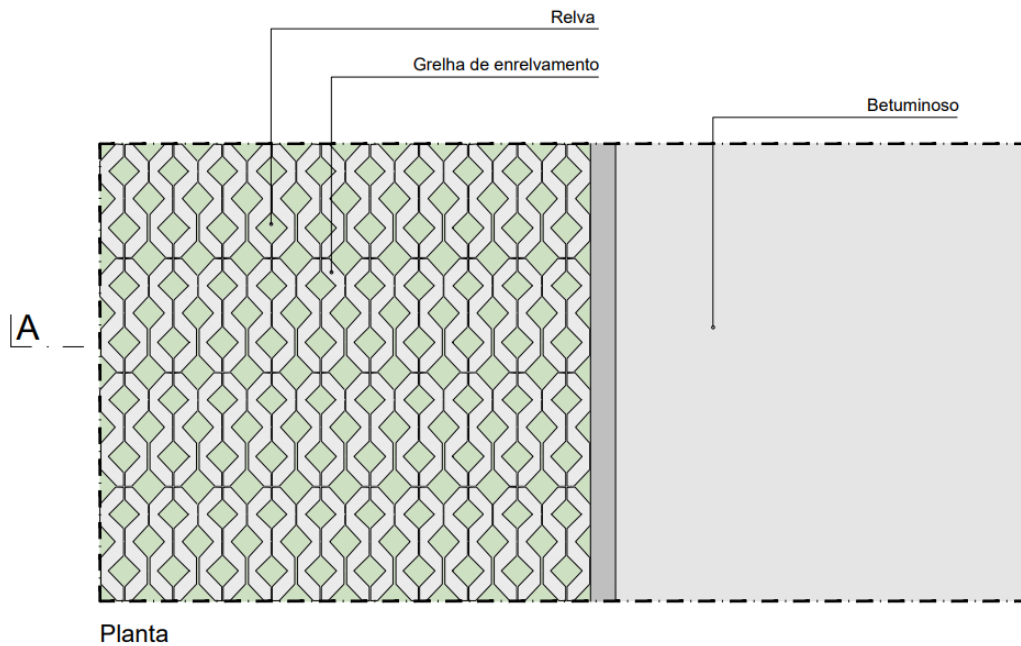


Figura 74: Planta de um pavimento em grelha de enrelvamento. Fonte: (Acioli, 2005).

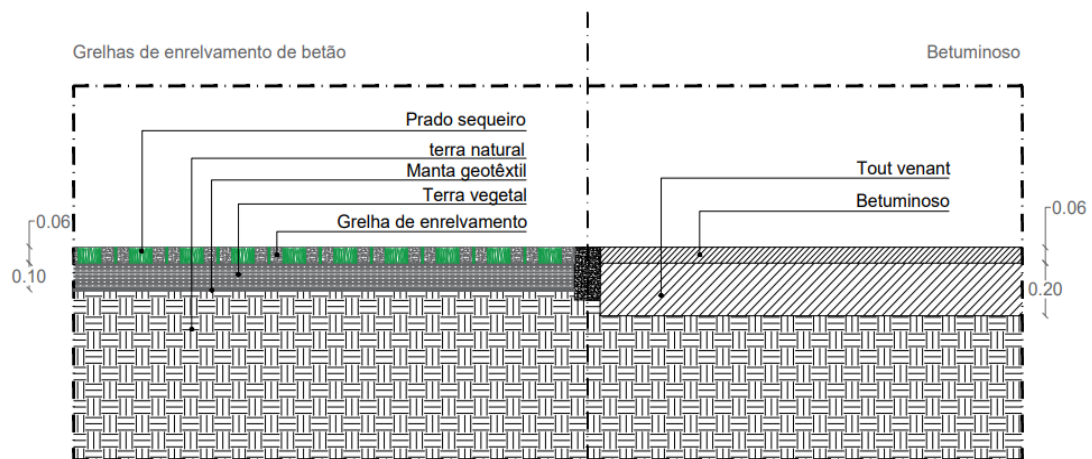


Figura 75: Corte de um pavimento em grelha de enrelvamento em betão em oposição a um betuminoso. Fonte: (Acioli, 2005).



Figura 76: Cortes e pormenores de construção de um pavimento de enrelvamento. Fonte: (Pinterest, s.d.).

6.3.6. Pavimento em Resina

O pavimento em resina é uma solução que utiliza uma mistura de resinas sintéticas e agregados para criar uma superfície durável e porosa. Como se pode observar na figura 77. Estes pavimentos destacam-se pela sua alta porosidade, que facilita a infiltração da água, resultando numa superfície durável e personalizável em cor e textura.

Segundo Lourenço (2014), os pavimentos em resina são frequentemente aplicados em áreas de tráfego pedonal leve a moderado, como passeios, áreas de estacionamento e espaços de lazer. A resina proporciona uma camada de revestimento resistente e fácil de limpar. No entanto, para garantir sua eficácia e longevidade, é essencial realizar uma manutenção regular, pois a obstrução por detritos pode comprometer sua capacidade de drenagem.

A instalação de pavimentos em resina requer uma base sólida e bem preparada, e a sua aplicação deve ser realizada sob condições controladas, para assegurar a aderência e a durabilidade do material como refere Vasco (2016). Estes pavimentos oferecem uma alternativa eficaz aos pavimentos tradicionais,

contribuindo para a gestão sustentável das águas pluviais e melhorando a qualidade estética dos espaços urbanos. Ver exemplo na figura 78.

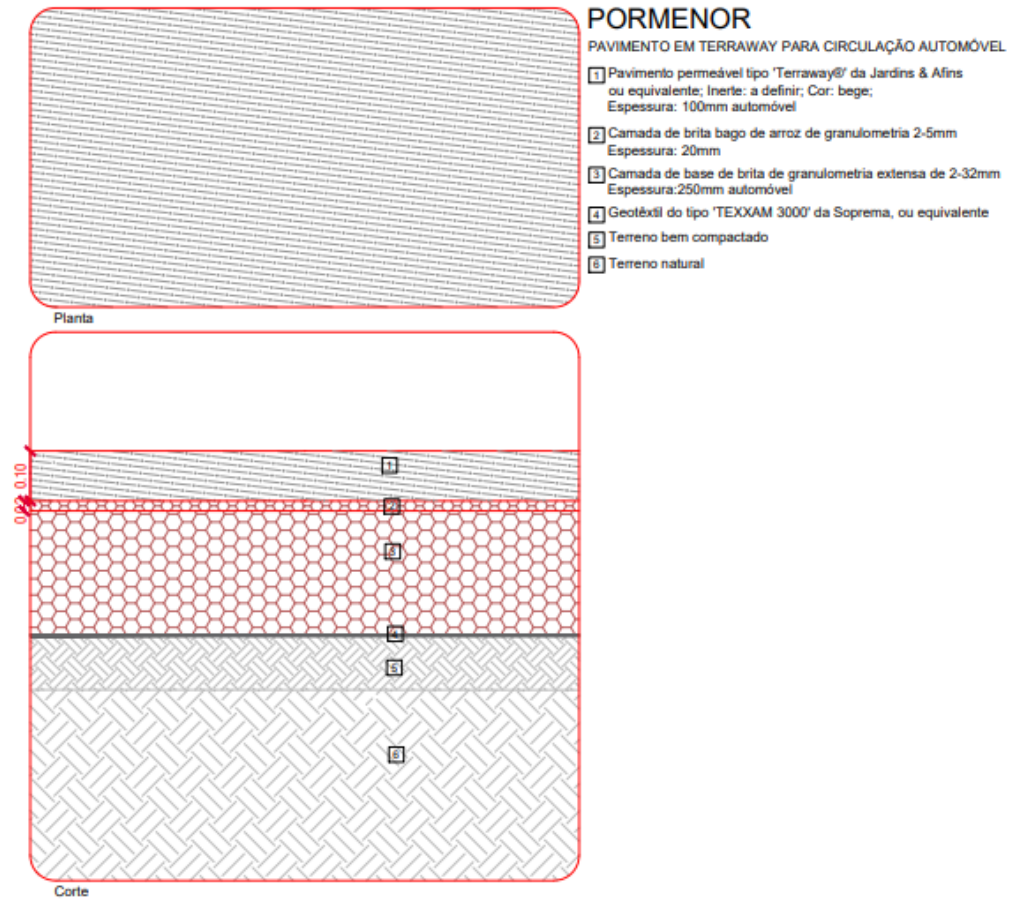


Figura 77: Corte, pormenor de construção de um pavimento em resina permeável. Fonte: LG – Group. Empresa de arquitetura paisagista.



Figura 78: Pavimento em resina permeável. Jardim público da Alameda de São Dâmaso, em Guimarães.

Conclusão

Com a presente dissertação, “Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Da Economia Circular Ao Desenho De Pormenor”, propusemo-nos a demonstrar o valor do conhecimento dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis (SUDS), no âmbito da Economia Circular, na prática dos arquitetos paisagistas.

Consideramos que este objetivo geral foi atingido ao longo das várias secções apresentadas, por sua vez organizadas em torno dos objetivos específicos enunciados.

No nosso entender, esta pesquisa proporciona uma análise aprofundada e detalhada sobre a importância e a implementação de técnicas de drenagem sustentável em contextos urbanos.

Como ficou demonstrado, a gestão das águas pluviais é um aspeto crítico para a sustentabilidade das cidades modernas. Com o crescimento acelerado das áreas urbanas e as mudanças climáticas em curso, a pressão sobre os sistemas tradicionais de drenagem tem aumentado exponencialmente, reforçando o nosso axioma de que os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) são essenciais para enfrentar esses desafios. Ao contrário dos sistemas

convencionais, que frequentemente resultam em problemas como inundações e poluição das águas, os SUDS oferecem uma abordagem mais holística e integrada, promovendo a eficiência no manejo das águas pluviais e a proteção ambiental.

A contextualização dos pressupostos aqui apresentados, a partir da perspectiva da economia circular na gestão das águas pluviais é um dos pontos centrais deste texto. A reutilização e reciclagem das águas pluviais, bem como a redução dos desperdícios, são abordagens que não só minimizam o impacto ambiental, mas também oferecem benefícios econômicos e sociais significativos. Como tivemos oportunidade de verificar, o conceito de economia circular aplicado aos SUDS permite uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, reduzindo os custos operacionais e de manutenção a longo prazo, promovendo um ambiente urbano mais saudável e sustentável.

Outro dos objetivos específicos a que nos propusemos, e que constitui, na nossa perspectiva, uma das originalidades desta dissertação, prendeu-se com a elaboração de desenhos de pormenor que apoiam a prática sustentável dos arquitetos paisagistas. Estes desenhos fornecem orientações práticas para a implementação dos SUDS, garantindo que as soluções propostas sejam aplicadas de maneira eficiente e adaptada às condições locais. Ficou assim demonstrado que, ao incorporar técnicas de drenagem sustentável desde a fase de projeto, é possível criar ambientes urbanos que não só lidam com o escoamento das águas pluviais de maneira mais eficaz, como, também, melhoram a qualidade do espaço urbano e ambiental e a qualidade de vida dos seus habitantes. A adoção e promoção dos SUDS são, portanto, vitais para a construção de cidades mais adaptáveis, resilientes e ambientalmente responsáveis.

“Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Da Economia Circular aos desenhos de pormenor, de apoio da prática sustentável dos Arquitetos Paisagistas” contribui assim, ainda que de forma modesta, para o enriquecimento do campo da arquitetura paisagista e da gestão de águas pluviais ao fornecer uma base teórica sólida e aplicações práticas sobre os SUDS aos Arquitetos Paisagistas. O foco na economia circular, aliado ao

desenvolvimento de soluções práticas e detalhadas, oferece um caminho claro para a implementação de práticas sustentáveis na gestão das águas pluviais. Este trabalho não apenas fortalece o conhecimento existente sobre drenagem sustentável, mas também serve como um guia valioso para arquitetos paisagistas e outros profissionais envolvidos na criação de ambientes urbanos resilientes e sustentáveis.

Como arquitetos paisagistas devemos trabalhar em grupo multidisciplinar, mas é necessário termos conhecimentos base das abordagens sustentáveis das águas pluviais para, em conjunto, começarmos a desenvolver espaços urbanos com maior preocupação ecológica e com maior resiliência às alterações provocadas pelos excessos de urbanização.

Em jeito de conclusão, podemos então afirmar que estas técnicas, se bem implementadas, são mais eficazes do que as soluções tradicionais. Mas, para que tal aconteça, é necessária a intervenção de especialistas em hidrologia e hidráulica urbana ao nível dos estudos de planeamento e do desenho urbano de pormenor.

Referências Bibliográficas

- Acioi, L. A. (Março de 2005). *Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte*. (T. d. Mestrado., Ed.) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Agostinho, M. d., & Poleto, C. (2012). Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos. (2.-P. I.-8. v.12n.2, Ed.) *Environment, Holos*, p. 11.
- Albino, C. I. (2013). *Sistemas Urbanos de Drenagem de Águas Residuais e Pluviais; Contributo para Análise da Problemática da Interferência dos Dois Tipos de Sistemas- Caso de Estudo de Olhão* (Relatório para a obtenção de Grau de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente). Universidade do Algarve.
- Araújo, P. R., Tucci, C. E., & Goldenfum, J. A. (2000). *Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial*. (Vols. 5 n.º 3, 21-29). Instituto de pesquisas Hidráulicas da UFRGS- Porto Alegre- RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos.
- Avilez-Valente, P. (2020). *Métodos de Redução de Caudais Pluviais*. (Vols. 2020 Textos pedagógicos, desenvolvidos no âmbito da Unidade Curricular de Hidrologia e Recursos Hídricos). Feup, Faculdade de Engenharia do Porto.
- Bachmann, G. (dezembro de 2008). Água e Desenvolvimento Sustentável: Saragoça 2008- A exposição Internacional da água. p. 11.
- Ballard, B. W., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., & R Bray, P. S. (2015). *The Suds manual* (Vol. Ciria C753). Ciria. Department for Environment Food & Rural Affairs.
- Bichançã, M. F. (Dezembro de 2006). *Bacias De Retenção em Zonas Urbanas Como Contributo Para a Resolução de situações Extremas: Cheias e Secas* (Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação). FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Boogaard, F., Bruins, G., & Wentink, R. (2006). *Recomendações para projetos, gestão e manutenção de valas de infiltração.com base em 6 anos de pesquisa das valas de infiltração em Enchede, combinados com outras experiências nacionais e internaciona*. Obtido de <https://urbangreenbluegrids.com/measures/bioswales/>: Consultado em: 22 de março de 2024
- Botica, A. P. (outubro de 2012). *Redes de Drenagem de Águas Residuais em Edifícios* (Mestrado em Engenharia Militar). Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Branco, J. H. (junho de 2022). *Redes de Drenagem de Águas Pluviais- Bacias de Retenção- Modelação de um Caso de Estudo* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil- Especialização em Hidráulica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Brandão, D. T. (outubro de 2015). *Gestão de afluências indevidas em Redes de Águas Residuais urbanas* (Mestrado Engenharia Civil- Gestão da Construção). ISEP- Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Brundtland, G. H. (1998). *Nosso Futuro* (2ª edição, 1991 ed.). Editora da Fundação Getulio Vargas Rio de Janeiro.
- Campos, A. R. (setembro de 2014). *Soluções de Reabilitação de Sistemas de Drenagem de Águas Residuais* (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Hidráulica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. FEUP.

- Castro, A. S., Goldenfum, J. A., Silveira, A. L., & Marques, D. d. (2013). RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Voln.º 18 - jan/marc . 263-273.
- Circular, I. (s.d.). *Ideia Circular*. Obtido de <https://ideiacircular.com/economia-circular/>: Consultado em: 8 de maio d 2024
- Cologe, B. A., & Pereira, M. C. (2008). Telhado Verde: Alternativas par Gestão de Águas Pluviais. p. 12.
- Commitee, P. f. (1999). Urban Stormwater. Best Praticce Environmental. Management Guidelines.
- Construção., G. P. (s.d.). <https://globalpav.pt/produtos/paviston-betao-poroso/>. Obtido de Consultado em 6 de junho de 2024
- Consultants, C. C. (s.d.). Obtido de <https://cms-collaborative.com/project/tanner-springs-park/>: Consultado em 10 de maio de 2024
- Creations, P. f. (2019). <http://www.pavipul.net/categoria/pavimento-poroso>. Obtido de Consultado em: 10 de julho de 2024
- Decreto- Lei nº 23/95 de 1 de agosto. Diário da República n.º 194/95- I série B. (23 de agosto de 1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de água e de Drenagem de águas Residuais*. Lisboa: Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações.
- Dinis, J., China, E. H., Reis, F. C., & Ribeiro, V. (2020). *Águas Residuais; de Resíduos a Recurso*. s.n.
- Drenagem, N. r. (s.d.). *NE*. Obtido de <https://www.novaeradrenagem.com.br/caixas-pre-moldadas/>: Consultado em 11 de novembro de 2023
- Ecodepur. (s.d.). *Ecodepur 20- Tecnologia de proteção ambiental*. Obtido de <https://www.ecodepur.pt/empresa/economia-circular/ecodepur-contribui-para-a-criacao-de-uma-economia-circular>: Consultado a 21 de novembro de 2023
- Engenheiros, O. d. (s.d.). *Ordem dos Engenheiros 360*. Obtido de <https://engenharia360.com/cursos-online-com-certificado-de-graca/>: Consultado em 14 de julho de 2024
- Epal. (s.d.). *Epal- Grupo de Águas de Portugal*. Obtido de <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/ciclo-da-%C3%A1gua>: Consultado em 5 de março de 2024
- Ferreira, C. A., & Moruzzi, R. B. (s.d.). *Considerações Sobre a Aplicação do Telhado Verde para a Captação de Água de Chuva em Consideração sobre a Aplicação do Telhado Verde para Captação de Águas de Chuva em Sistemas de Aproveitamento para Fins Não Potáveis*. s.n.
- Foundation, E. M. (2014). *Towards a Circular Economy*. Obtido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. Ellen MacArthur Foundation: Consultado em 25 de janeiro de 2024
- Gonçalves, M. d. (Setembro de 2016). *Análise de soluções na origem como medida de compensação dos efeitos das alterações climáticas em sistemas de drenagem urbanos. Caso de estudo da Av. almirante eis; Mestrado Engenharia Civil* (Mestrado Engenharia Civil; Técnico Lisboa). Técnico Lisboa.
- Intertravado, P. (s.d.). <https://www.tecnosilbr.com.br/pavimento-intertravado-por-que-ele-pode-ser-uma-otima-solucao-para-a-sua-construcao/>. Obtido de Consultado em: 15 de abril de 2024
- Jácome, M. d. (2010). *A Água e a Sustentabilidade em Espaços Verdes- O jardimj Botânico de Coimbra*. (Dissertação de mestrado em Arquitetura Paisagista). Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

- Jobim, A. L. (2013). *Diferentes Tipos de Telhados Verdes no Controle Quantitativo da Água Pluvial* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Santa Maria Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Kajwara, A. d. (s.d.). Obtido de <https://kajiwara.ind.br/boca-de-lobo-ou-bueiro/>: Consultado a 19 de janeiro de 2024
- Lírio, M. A. (2022). *Bacias de Retenção em Redes de Drenagem Urbanas. Funcionament Hidráulico*. (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização Hidráulica.). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Lourenço, R. (dezembro de 2014). *Sistemas Urbanos de drenagem Sustentáveis* (Mestrado em Engenharia Civil- Especialização em Construção Urbana). Instituto Politécnico de Coimbra. Instituto Superior de Coimbra.
- Machado, F. M. (2013). *Modulação Hidráulica de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável* (Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente). FCTUC, Faculdade de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Coimbra. Departamento de Engenharia Civil.
- Machado, J. C., Quadrado, F., Rebelo, A., & Franco, A. (2019). *Apa, guia para a reutilização de águas, usos não potáveis*. Obtido de <https://www.igamaot.gov.pt/>: Consultado em: 6 de fevereiro de 2024
- Marques, P. F., Lameiras, J. M., & Luís Guedes de Carvalho, G. A. (2014). Fcup- Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Matias, M. G. (Março de 2006). *Bacias de Retenção- Estudo de Métodos de Dimensionamento* (Mestrado em Engenharia Civil, Especialidade Vias de Comunicação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. FEUP.
- Melo, T. d., Coutinho, A. P., Cabral, J. J., Antonino, A. C., & Cirilo, J. A. (2014). *Jardim de chuva: Sistema de biorretenção para uso das águas pluviais urbanas*. Obtido de <https://www.scielo.br/j/ac/a/3mKRyFjSkPdBkhdyvVGZZLL/>: Consultado em: 23 de junho de 2024
- Município de Guimarães- Balcão Virtual, S. P. (s.d.). Obtido de <https://www.cm-guimaraes.pt/conhecer/noticia/bacia-de-retencao-de-agua-comeca-a-ser-construida-a-partir-de-2-feira>: Consultado em 27 de janeiro de 2024
- Nascimento, C., Carvalho, R. F., & David, L. M. (2010). *Estudo Económico da Aplicação de Componentes SUDS a Um Caso de Estudo*. 14 ENaBS, SILUBENA. Encontro Nacional de Saneamento Básico. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Neves, A. A., & Francisco Costa, A. B. (2007). *Mãe d'água, Centenário do abastecimento público de Guimarães* (Vol. 1.º). Vimágua, Empresa de Água e Saneamento de Guimarães.
- ONU. (22 de março de 2023). *ONU News. Perspectiva Global Reportagens Humanas. Nações Unidas*. Obtido de <https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712>: Consultado em: 7 de abril de 2024
- Padrão, V. M. (janeiro de 2016). *Redes de Drenagem de Águas Pluviais* (Mestre em Engenharia Civil- Especialização em Hidráulica). FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Palha, P., Franca, J. V., & Fogueiro, J. (2019). *Coberturas Verdes. Guia Técnico; Guia técnico para projeto, construção e manutenção de coberturas verdes*. (Vol. 1.º edição). Porto: ANCV- Associação Nacional de Coberturas Verdes.
- Patussi, C. A. (2023). *Estudo da Implementação de Economia Circular em Espaços de Comercialização de Alimentos* (Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia de Produção e

- Transportes). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia e Produção e Transportes.
- Pedra, B. (s.d.). *Bris Pedra- Pedras decorativas- Gravelha Mármore Amarela*. Obtido de <https://www.brispedra.com/produto/copy/>: Consultado em 15 de julho de 2024
- Pinterest. (s.d.). Obtido de <https://www.pinterest.com/pin/556476097696714822/>: Consultado em: 17 de julho de 2024
- Pirari, A., Zhai, P., Roberts, D., Portner, H.-O., Skukla, P. R., Delmatte, V. M., & al., e. (6 de Outubro de 2018). *IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Aquecimento global de 1,5 C. Sumário para Formuladores de Políticas*. WNO; UNEP.
- Pires, T. L. (Outubro de 2022). *Estratégias de Planeamento Territorial para Mitigação e Adaptação aos efeitos das alterações Climáticas- Ciclo da vida da água* (Dissertação de Mestrado em Planeamento e Projeto Urbano). FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Preberam. (s.d.). *Dicionários*. Obtido de <https://dicionario.priberam.org/sarjeta>: Consultado em 22 de junho de 2024
- Preços, G. d. (s.d.). *Espaços urbanos. Portugal*. Obtido de https://www.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/Instalacoes/Urbanas/Redes_e_sistemas_de_drenagem/Valeta_pre-fabricada.html: Consultado em: 15 de maio de 2024
- Projetista. (s.d.). *Materiais de Construção em Portugal*. Obtido de <https://projectista.pt/products/betao-poroso>: Consultado em: 6 de junho 2024
- ResearchGate. (s.d.). *ResearchGate. Detalhe de Poço de Infiltração*. Obtido de ResearchGate. (s.d.). https://www.researchgate.net/figure/Detalhe-da-placa-desenvolvida-para-o-Poco-e-Plano-de-Infiltracao_fig6_346727385: Consultado em: 12 de março de 2024
- Rino, E. J. (Outubro de 2011). *Sistemas Prediais de Drenagens de Águas Pluviais e Freáticas* (Mestrado em Engenharia Civil no ISI). Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Rodrigues, J. C. (junho de 2010). *Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais, Dimensionamento e Aspectos construtivos* (Mestrado em Engenharia Civil- Especialização em Hidráulica). FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Santos, J. P. (2010). *Gestão de águas Pluviais Urbanas: Mudança do Paradigma nos Sistmas Públicos de Drenagem: Um Caso Apliocado à Cidade do Porto* (Mestrado em Engenharia do Ambiente). FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em Dezembro de 2022
- Santos, S. L. (2017). *Pavimentos Permeáveis no Controle de Cheias Urbanas* (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás- Campus Aparecida de Goiânia- Departamento de Áreas Acadêmicas.
- Silva, D. M., Segundo, J. B., & Lucena, J. K. (2018). *Diagnóstico do Sistema Urbano de Drenagem da Cidade de Cajazeiras-PB. Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* (Vol. 6: Congestas). Arrais do Congresso Brasileiro.
- Stahel, W. R. (2008). *The Performance Economy: Business Models for the Functional Service Economy*. pp. Chapter: pp 127-138.
- Strategies, M. W. (Nov, Dec. 2021). Obtido de https://issuu.com/waterstrategies/docs/mwl_november_december_2021/s/13712852: Consultado em 19 de agosto de 2024
- Swales, I. t. (2015). *Source: European Natural Water Retention Measures Platform, 2015* (<http://nwrm.eu/measure/infiltration-trenches>); *European Natural Water Retention Measures Platform, 2015* (<http://nwrm.eu/measure/swales>). Obtido de

https://tool.urbanproof.eu/urbanproof/uploads/help/floods/infiltration_trenches_and_swales.php?lang=: Consultado em 12 de setembro de 2024

- Thahir, S., Steichan, T., & Schouler, M. (2019). *Water and Circular Economy. A Whitepaper* (Vol. version 1.2). ARUP; anteagroup; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION.
- Tucci, C. E. (2008). *Águas Urbanas* (Vol. n.º22 (63)). s.n.
- Tucci, C. E. (2012). *Gestão da Drenagem urbana* (Vols. 48, L.274). Nações Unidas. IPEA. Cepal.
- Unidas, N. (s.d.). *Nações Unidas, Oms, ONU News, perspective Global Repotagens humanas*. Obtido de <https://news.un.org/pt/story/2022/12/1806727>: Consultado em 9 de abril de 2024
- Urban Green, B. G. (s.d.). *Biowales*. Obtido de <https://urbangreenbluegrids.com/measures/bioswales/>: Consultado em 5 de setembro de 2024
- Vasco, J. R. (Dezembro de 2016). *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável* (Mestrado em Engenharia Civil na área de Especialização de Hidráulica). ISEL, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Área de Departamento de Engenharia Civil .
- Venâncio, S. M. (junho de 2015). *Building Information Modeling (BMI) e o Projeto de Redes de Abastecimento de Águas e de Drenagem de águas Residuais de Edifícios* (Civil, Dissertação de Mestrado em Engenharia, especialização em Construções). FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Anexos

Os anexos incluídos na presente dissertação são elementos fundamentais para enriquecer a compreensão dos temas abordados ao longo do trabalho. A autora decidiu incluir estes anexos com o objetivo de proporcionar uma visão mais clara e detalhada sobre os conceitos e exemplos de projetos discutidos, permitindo uma análise mais aprofundada e contextualizada. Através destes anexos, busca-se facilitar a compreensão específica do tema, oferecendo ao leitor uma base de apoio visual e documental que complementa o conteúdo principal da dissertação. Assim, os anexos não apenas reforçam os argumentos apresentados, mas também servem como uma ferramenta didática que contribui para uma melhor assimilação das informações, garantindo que a dissertação seja acessível e compreensível para um público mais amplo, sem perder a profundidade e o rigor acadêmicos necessários.

Anexo 1: Conceitos a reter

Águas Pluviais— as águas pluviais referem-se à água proveniente das precipitações atmosféricas, o “termo precipitação engloba todas as águas meteorológicas que caem sobre a terra, quer no estado líquido – chuva – quer no estado sólido – neve, granizo, geada.” (Padrão, 2016),

As águas pluviais podem ser coletadas e direcionadas para sistemas de drenagem urbana ou para o solo, onde são absorvidas ou infiltradas. Elas desempenham um papel crucial no ciclo hidrológico, contribuindo para o abastecimento de água e a irrigação natural da vegetação. Parte da água precipitada escoar pela superfície ou infiltra-se no solo, alimentando rios, lagos e lençóis freáticos. Uma gestão adequada das águas pluviais é essencial para prevenir inundações, erosão do solo e contaminação da água, sendo que os sistemas de drenagem urbana são projetados para controlar esse processo, reduzindo os riscos de danos causados pelas chuvas intensas.

Bacia Hidrográfica – Uma bacia hidrográfica é a área que contribui para a alimentação de um curso de água, coletando a precipitação que nela ocorre. As bacias hidrográficas são separadas de bacias vizinhas por linhas de cumeada,

que formam a divisória de águas, direcionando o escoamento superficial para o caudal de um determinado curso de água, de acordo com, Padrão (2016).

Ciclo Hidrológico: O ciclo hidrológico é o movimento contínuo e circular da água na natureza, essencial para a renovação dos recursos hídricos e da biodiversidade. Impulsionado pela energia solar, o ciclo envolve a evaporação da água dos oceanos, rios e solos, a condensação do vapor na atmosfera para formar nuvens, e a precipitação de volta à superfície terrestre. Esse processo alimenta rios, lagos e aquíferos subterrâneos, sendo influenciado por fatores climáticos, geológicos e pelo uso do solo. A distribuição da chuva é desigual, tanto espacialmente quanto ao longo do ano, mas o ciclo hidrológico é vital para a vida na Terra, segundo Padrão (2016); e Epal (s.d.).

É através do Ciclo Hidrológico que ocorrem a variação climática, a criação de condições para a vida do Homem, das plantas e dos outros animais.

Escoamento Subterrâneo – A água que se infiltra nos solos e aumenta os níveis freáticos. Pode contribuir para as linhas de água, mas também pode ressurgir à superfície, sob a forma de nascentes, ou alimentar linhas de água, rios, oceanos. Este é um fenómeno de grande importância nas épocas de estiagem.

Escoamento Superficial – O escoamento de águas pluviais em áreas urbanas, caracterizado pelo escoamento superficial e pela acumulação de águas, ocorre quando os solos estão saturados e não conseguem absorver a uma precipitação superior à taxa de infiltração do solo.

Fator De Ponta ou Caudal De Ponta – Refere-se ao valor máximo de fluxo de água que ocorre num sistema de drenagem ou numa rede de abastecimento de água durante um curto período de tempo, geralmente como resposta a um evento específico, como uma precipitação intensa. Este fator é influenciado por diversos elementos, incluindo o consumo de água, o número de ligações no sistema, e o grau de impermeabilização da superfície do solo.

Em áreas impermeabilizadas, onde o solo não consegue absorver a água eficientemente, há um aumento do tempo de concentração das águas, o que resulta num escoamento mais rápido e num caudal de ponta elevado. Em contraste, em áreas permeáveis, a água infiltra-se mais facilmente no solo, o que pode retardar o escoamento e reduzir o caudal de ponta. “O tempo de reação a uma precipitação pode durar algumas horas ou até mesmo dias, dependendo do estado hídrico do solo, das condições geológicas locais e, também, das características da precipitação”. (Brandão, 2015).

O caudal de ponta é crucial para o dimensionamento de infraestruturas de drenagem e estações de tratamento de águas, uma vez que estas devem ser capazes de lidar com os fluxos máximos durante eventos extremos para evitar inundações e sobrecargas no sistema.

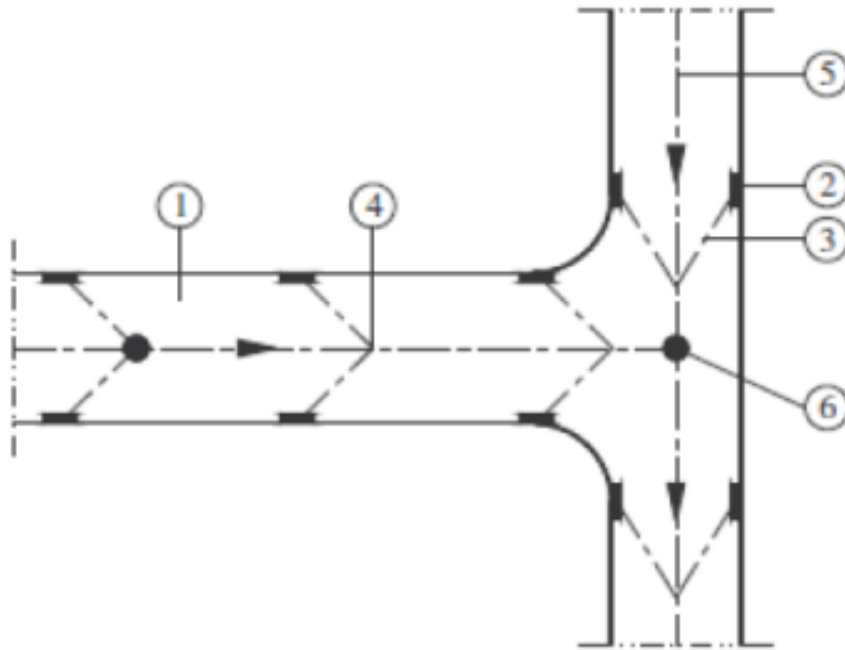
Lençóis Freáticos – O lençol freático é uma camada de água subterrânea que preenche os espaços entre as partículas de solo e rochas permeáveis. Também chamado de nível freático ou lençol de água, situa-se abaixo da superfície terrestre e é principalmente alimentado pela infiltração da água da chuva. Ele representa a interface entre a água proveniente do escoamento superficial e a água subterrânea, e tem origem em formações geológicas permeáveis conhecidas como aquíferos, que podem escoar para o mar ou para cursos de água, contribuindo assim para o escoamento superficial.

Sistema de Drenagem Urbana - Um sistema de drenagem urbana é uma infraestrutura projetada para gerir o escoamento das águas pluviais em áreas urbanas, de forma a minimizar inundações, erosão dos solos, garantir a segurança pública e proteger o meio ambiente.

Anexo 2: Componentes dos Sistemas de Rede Pluvial Pública

2.1. Sistemas de Drenagem

Como vemos na imagem, e de acordo com, Padrão (2016): Os sistemas de drenagem de águas pluviais são constituídos por elementos que conduzem e captam o escoamento superficial, valetas (1) e sarjetas ou sumidouros (2), pela rede de coletores principais, coletores (5) e caixas de visita (6), e pelos componentes de ligação entre órgãos de captação do escoamento superficial e a rede de coletores principal, os coletores (3) e caixas de ligação (4). Como podemos ver na figura abaixo.



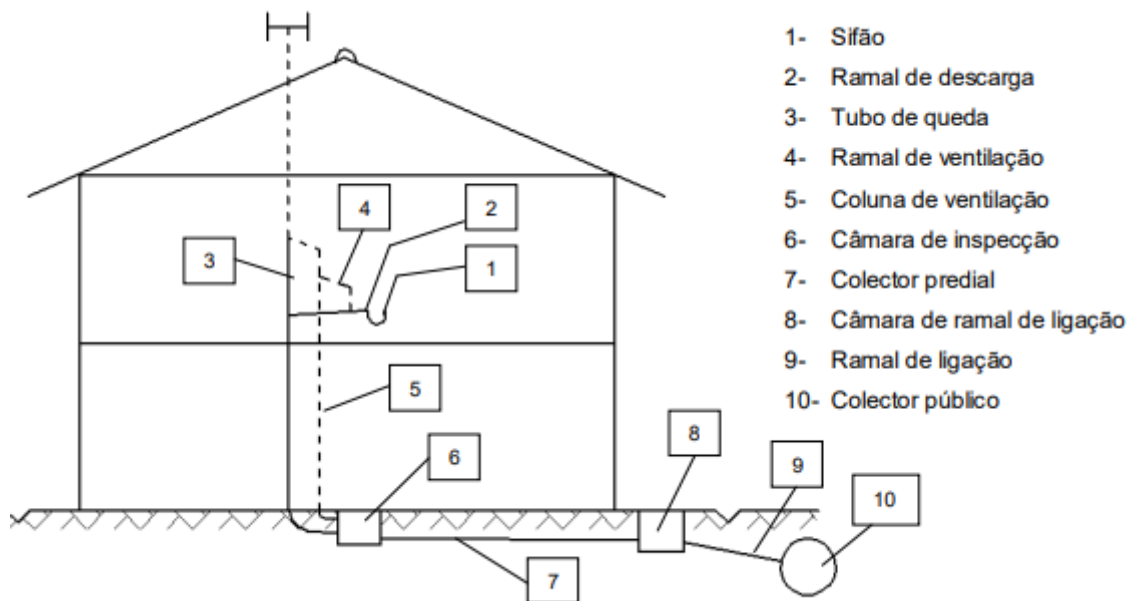
Planta da rede de drenagem pluvial. Fonte: (Padrão V. M., 2016).

Rede interiores dos edifícios	Comum	É a que faz o transporte de águas residuais e pluviais para o exterior da edificação. Ex: Caldeiras e Algerozes: Conduitas de pequena inclinação instaladas nas coberturas com a finalidade de recolha e condução das águas pluviais para os ramais de descarga ou tubos de queda. Na presente dissertação designam-se por algerozes as caleiras exteriores instaladas nos beirais. De acordo com Rino (2011).
Rede de Drenagem	Comum	“Recolha das águas residuais do aglomerado ou conjunto de aglomerados – apresenta serviço de percurso.” (Campos, 2014)
Ramais de ligação à rede de drenagem pública	Comum	“Promover a ligação ou descarga de águas residuais (domésticas, comerciais, industriais e pluviais) para a rede de drenagem.” (Campos, 2014)

Ramais de descarga	Comum- dispositivos de descarga - acessórios	“Canalizações que têm por finalidade a condução das águas pluviais provenientes dos dispositivos de recolha até aos tubos de queda, quando estes existem, ou para os coletores prediais, poços absorventes, valetas ou áreas de receção apropriadas.” (Rino, 2011)
Tubos de queda	Comum- dispositivos de descarga - acessórios	As Canalizações que são para “a recolha e consequente transporte das descargas provenientes dos ramais de descarga até aos coletores prediais ou valetas.” (Rino, 2011)
Coletores de ligação prediais. Ramais e caixas de ligação	Comum	Canalizações destinadas à recolha de águas provenientes de tubos de queda ou de ramais de descarga, caso os primeiros não existam, e à condução destas para o ramal de ligação. “Os coletores de ligação estabelecem a ligação entre os dispositivos de entrada, sarjetas ou sumidouros e a rede de coletores principais. Em concordância com, Padrão (2016)

Quadro com os componentes de um sistema de drenagem pluvial e as funções dos diferentes órgãos de drenagem.

Fonte: (Campos, 2014).



Elementos constituintes de um sistema predial de drenagem de águas domésticas. Fonte: (Rino, 2011).

2.2. Dispositivos de Entrada

Os dispositivos de entrada garantem a captação das águas pluviais, existem vários tipos, como:

Valetas ou Valas: São desenhadas sempre a um nível mais baixo que os pavimentos, de forma a captar as águas e a evitar acumulações de águas nas vias públicas. Podem ser em linhas de drenagem superficial, que são as valas. Muito comuns em arruamentos de grandes dimensões. Ou valetas triangulares, trapezoidais, circular ou parabólica. Os arruamentos devem ser desenhados de forma a que as águas das valetas, sejam encaminhadas para os sumidouros e sarjetas.



Figura de uma valeta trapezoidal. Fonte: (Preços, s.d.).

Sarjetas – são os dispositivos essenciais para o escoamento de águas, tal como os sumidouros, normalmente localizados no passeio da via pública, num lancil de passeio permitindo a entrada lateral de água na rede de drenagem.



Sarjeta. Fonte: (Preberam, s.d.).

Sumidouros para pavimentos – são dispositivos normalmente de exterior colocados no pavimento da via pública, cuja entrada da água de escorrência é feita pela parte superior. Tem várias tipologias dependendo da sua função, mas devem ter uma grade, para escoar águas sem deixar passar resíduos sólidos. São colocados nos níveis mais baixos da via pública e cruzamentos, de forma a afastar o escoamento das ruas e a realizar com melhor eficiência a drenagem urbana, de modo a garantir melhor saúde pública e mobilidade urbana

Os sumidouros e as sarjetas devem ser projetados num número desejado, dependendo da localização das vias públicas, da necessidade de vedação hidráulica e da retenção de material sólido, de forma a drenar a água necessária, no local desejado.

As Sarjetas e os sumidouros podem dispor ou não de sifões e de câmara de retenção de sólidos, segundo o Art.º 164.º Decreto-Lei n.º 23/95

(RGSPPDADAR). Estes tipos realizam-se em rede unitárias onde existem muitos materiais sólidos.



Sumidouro com sarjeta. Fonte: (Kajwara, s.d.)

De acordo com, Padrão (2016), as caixas ou câmaras de visita, têm como objetivo possibilitar operações de manutenção nos coletores, de forma a realizar limpezas, desobstrução e verificar as condições de escoamento e qualidade da água; podem ser retangulares ou circulares, com cobertura plana. Geralmente em betão simples ou armado, com soleira, tampa e corpo.



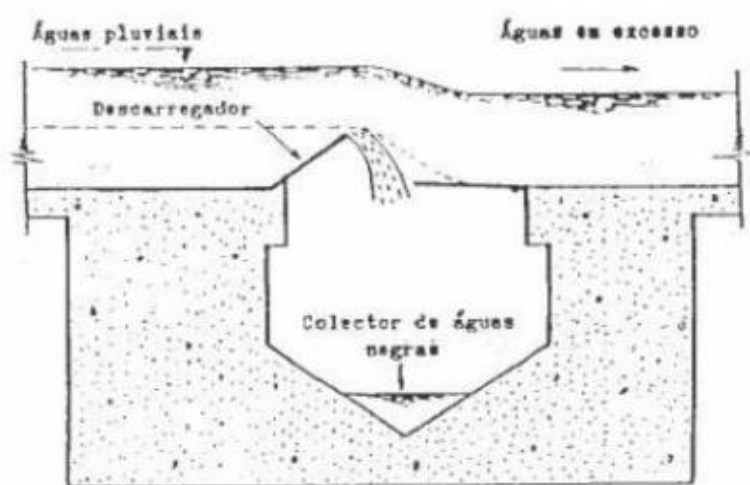
Caixas ou Câmaras de visita, pré-fabricada. Fonte: (Drenagem, s.d.).

2.3. Órgãos ou Elementos Complementares

Muitas vezes, devido à complexidade de uma rede de drenagem de águas pluviais, ou da topografia do terreno, para o uso de drenagem gravítica, é necessário usar o que se denomina de elementos ou órgãos acessórios, para

conseguir que as águas pluviais sejam conduzidas para o destino final. Sendo estes:

- Descarregadores – que são classificados como descarregadores de tempestade, servem para regular e repartir o escoamento, para que não haja sobrecarga nas estações de tratamento, de forma a desviar caudais excedentes para um coletor menos sobrecarregado, como uma bacia de retenção, quando estão a montante das estações de tratamento ou de uma estação elevatória. Existem descarregadores de superfície, laterais ou frontais.



Descarregador frontal com alçapão. Fonte: (Padrão V. M., 2016).

- Sifões invertidos – segundo Padrão (2016) é um troço gravítico de coletor localizado sob a linha de energia do escoamento, por onde a circulação da água se processa sob pressão. Este órgão é, normalmente, concebido para transpor obstáculos, como linhas de água ou vias de comunicação, sem perda significativa de energia, quando o poder de transporte do escoamento for insuficiente para garantir autolimpeza.

“Os sifões podem ser incorporados nos aparelhos sanitários ou inseridos nos ramais de descarga com a finalidade de impedir a transmissão de gases para o interior das edificações.” (Botica, 2012).

Tipo	Tipologia	Utilização
	Tipo S	Sifão de equipamento individual
	Tipo P	
	Garrafa	
	Caixa de pavimento	Sifão para equipamentos individuais ou colectivos

Tipos de sifões. Fonte: (Botica, 2012)

- As Estações Elevatórias são órgãos utilizados na rede de drenagem, principalmente em zonas planas e de grande dimensão. Estas, são utilizadas “quando a drenagem gravítica não permite conduzir as águas pluviais ao destino final” (Padrão V. M., 2016).

Para elevar as águas residuais pluviais usa-se os sistemas elevatórios nas caves dos edifícios. De acordo com, Botica (2012). os sistemas elevatórios estão associados a poços de bombagem com uma ou duas câmaras de recolha de águas residuais pluviais e uma instalação mecânica para elevação dessas águas. Existem dois tipos de sistemas de bombagem mais utilizados para a drenagem de águas pluviais, os quais diferem na posição da bomba em relação ao caudal a drenar:

- Bombas submersíveis: sistema em que poço de bombagem possui apenas uma câmara onde coabitam a bomba e o caudal a escoar;

- Bombas instaladas em câmara seca: sistema em que o “poço de bombagem possui duas câmaras distintas destinadas, respetivamente, a receber a bomba e as águas pluviais.” (Rino, 2011)

Como referido por Padrão (2016), estas só devem ser utilizadas quando não existem outras alternativas, visto que, um dos seus maiores problemas é a variabilidade dos caudais afluentes ao longo do dia e a qualidade da água, que, muitas vezes, contém material em suspensão.

As instalações elevatórias devem ser implantadas em locais que permitam uma fácil inspeção e manutenção e minimizem os efeitos de eventuais ruídos, vibrações ou cheiros. Segundo o Art.º 262.º Decreto-Lei n.º 23/95 (RGSPDADAR).

- Bacias de Retenção ou Amortecimento: São estruturas destinadas a regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o seu valor com limites previamente fixados. Art.º 176.º decreto-Lei n.º 23/95 (RGSPDADAR). Segundo Lourenço (2014) podem também contribuir para melhorar a qualidade da água e o comportamento de drenagem geral, quando existe excesso de água por precipitação, sendo zonas de retenção de água que, tanto podem servir para interesse recreativo ou turístico, como para rega ou combate de incêndios. As bacias podem ser de vários géneros.

- Câmaras de Retenção: As câmaras de retenção têm como finalidade, a retenção no seu interior de matérias que ponham em causa o correto desempenho dos sistemas prediais de drenagem de águas pluviais, evitando assim obstruções, incrustações ou outros danos nas canalizações.

Anexo 3: Projeto Aldi

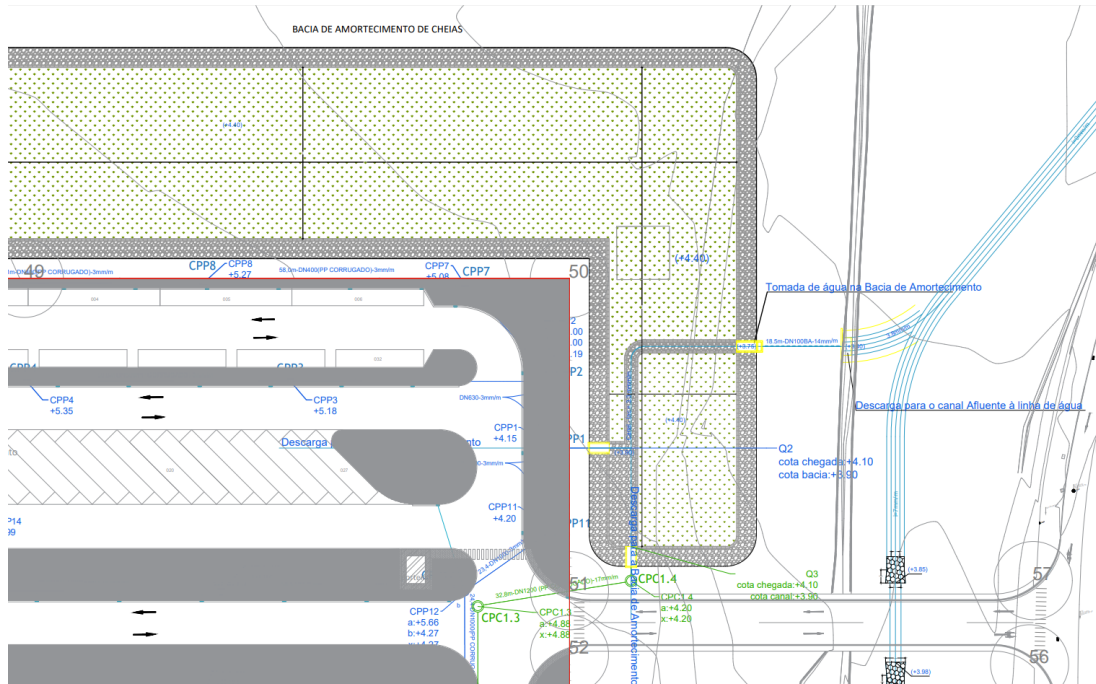
3.1. Implementação de uma bacia de retenção/amortecimento

O projeto do supermercado Aldi, realizada pela empresa Projegui, sediada em Guimarães, foi projetado de forma a conter, uma bacia de retenção seca para captar as águas pluviais. Porque se encontra numa zona bastante húmida, e de grandes precipitações.

O presente projeto propõe a implementação de uma bacia de amortecimento de cheias como parte integrante de um plano de gestão de águas pluviais. De forma a mitigar os efeitos adversos de grandes precipitações, proporcionando um local para o armazenamento temporário de água pluvial durante períodos de precipitação intensa. Reduzir o risco de inundações e danos associados e melhorar a qualidade da água por meio da filtração natural durante o armazenamento.

A bacia foi dimensionada e construída com materiais adequados e projetada para resistir a cargas hidráulicas e ambientais

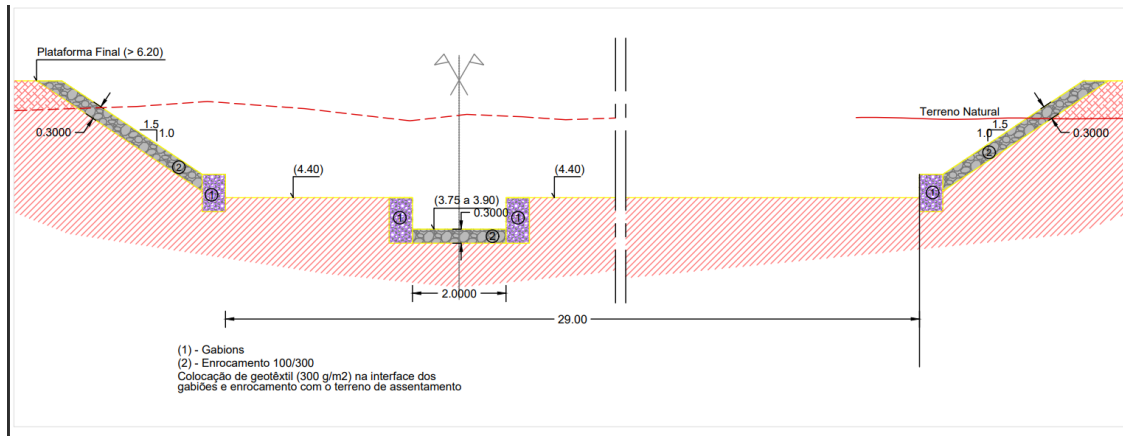
Este projeto busca atender às necessidades locais e contribuir para um ambiente urbano mais seguro, sustentável e habitável.



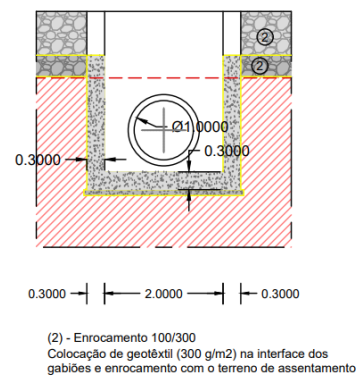
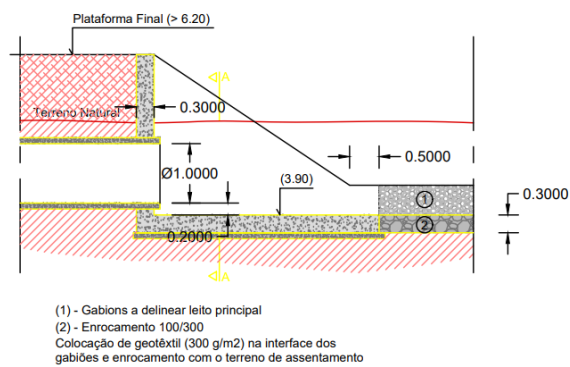
Plano Geral do projeto Aldi, da bacia de amortecimento de cheias. Fonte, Projegui.

LEGENDA:	
REDE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	
	REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROPOSTA (PP CORRUGADO SN8)
	REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROPOSTA (PP CORRUGADO SN8)
	REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS - DESCARREGAMENTO BACIA (BETÃO ARMADO)
	RAMAL DE SARIETA (PP CORRUGADO SN8 - DN160)
	CAIXA DE VISITA PROPOSTA (TAMPA FFD CLASSE D400)
	CAIXA DE VISITA PROPOSTA (TAMPA FFD CLASSE D400)
	CAIXA DE DESCOMPRESSÃO
	SARIETA (GRELHA FFD CLASSE D400)
	COTA DE ENTRADA DO TUBO NA CAIXA
	COTA DE SAIDA DO TUBO DA CAIXA

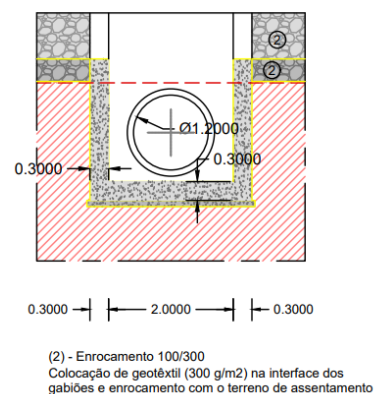
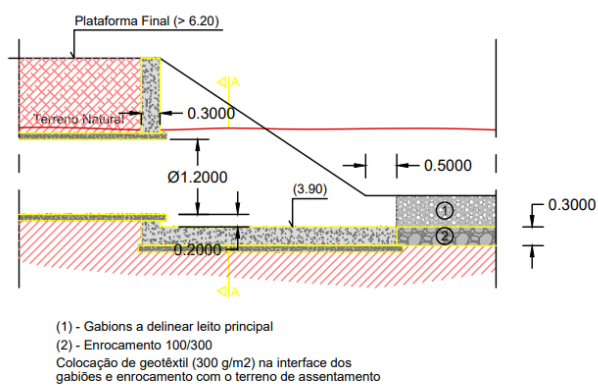
Legenda do plano geral da bacia de amortecimento de cheia. Fonte, Projegui.



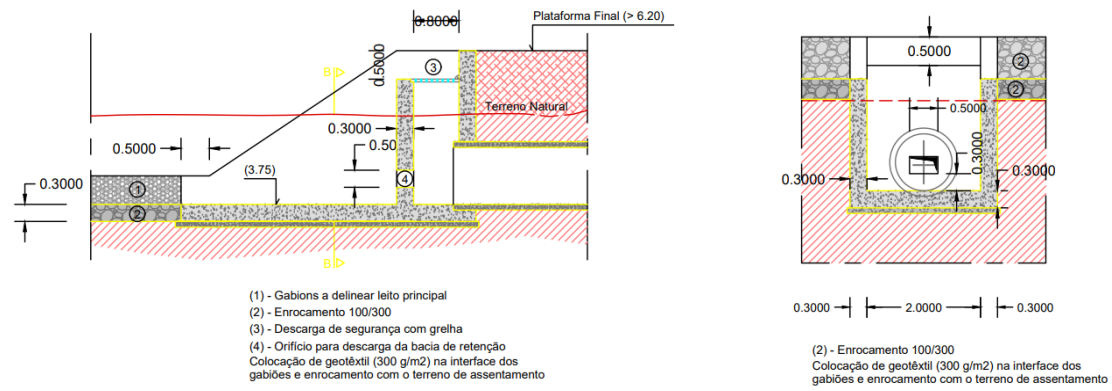
Bacia de amortecimento. Corte transversal. Fonte, Projegui.



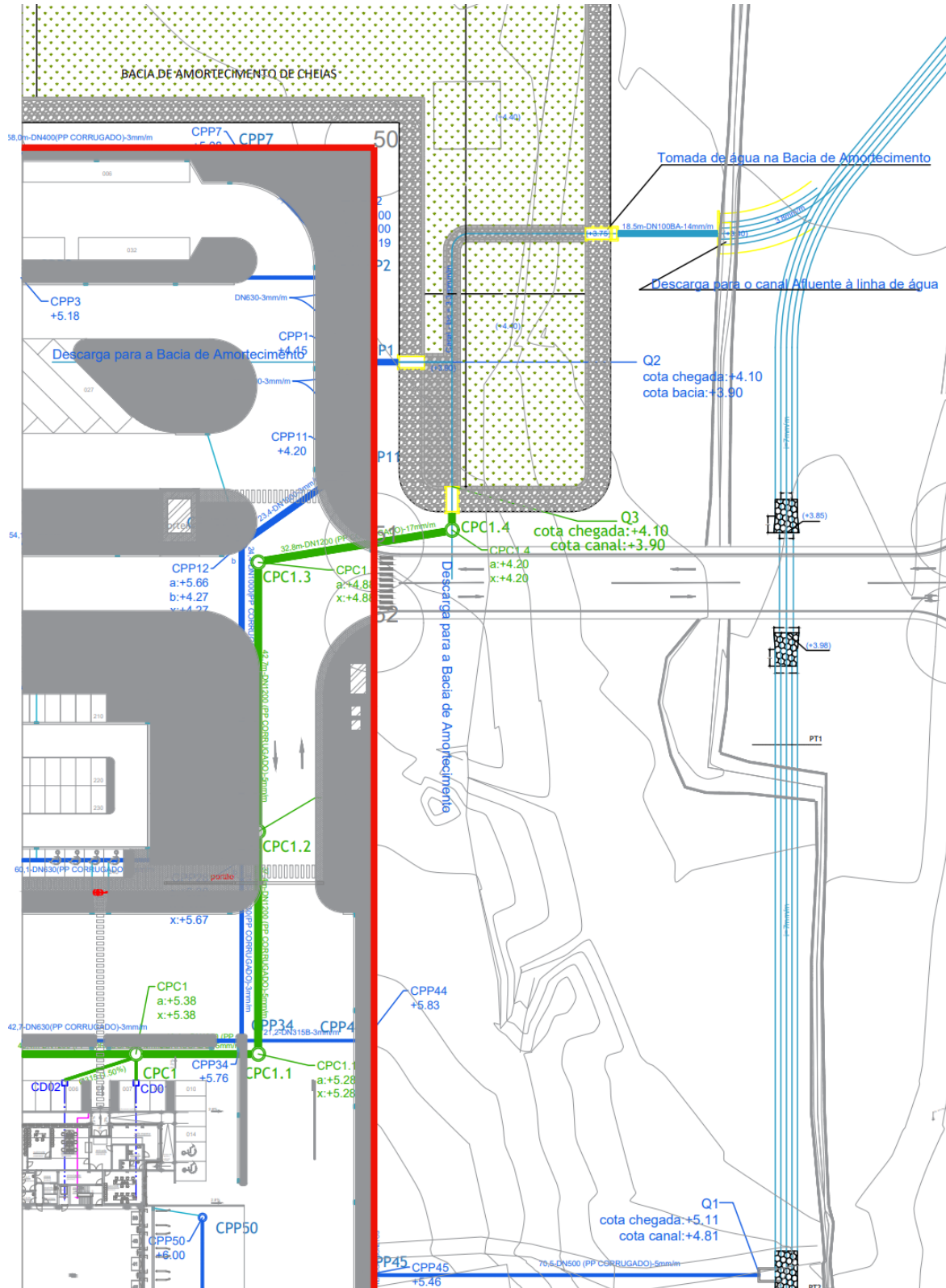
Pormenor de descarga de águas pluviais na bacia de amortecimento. Q2. Fonte, Projegui.



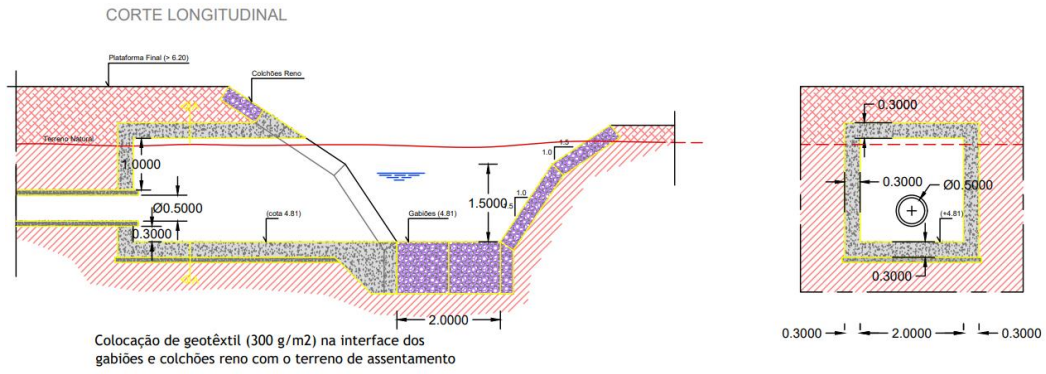
Pormenor da descarga de águas pluviais na bacia de amortecimento. Q3. Fonte, Projegui.



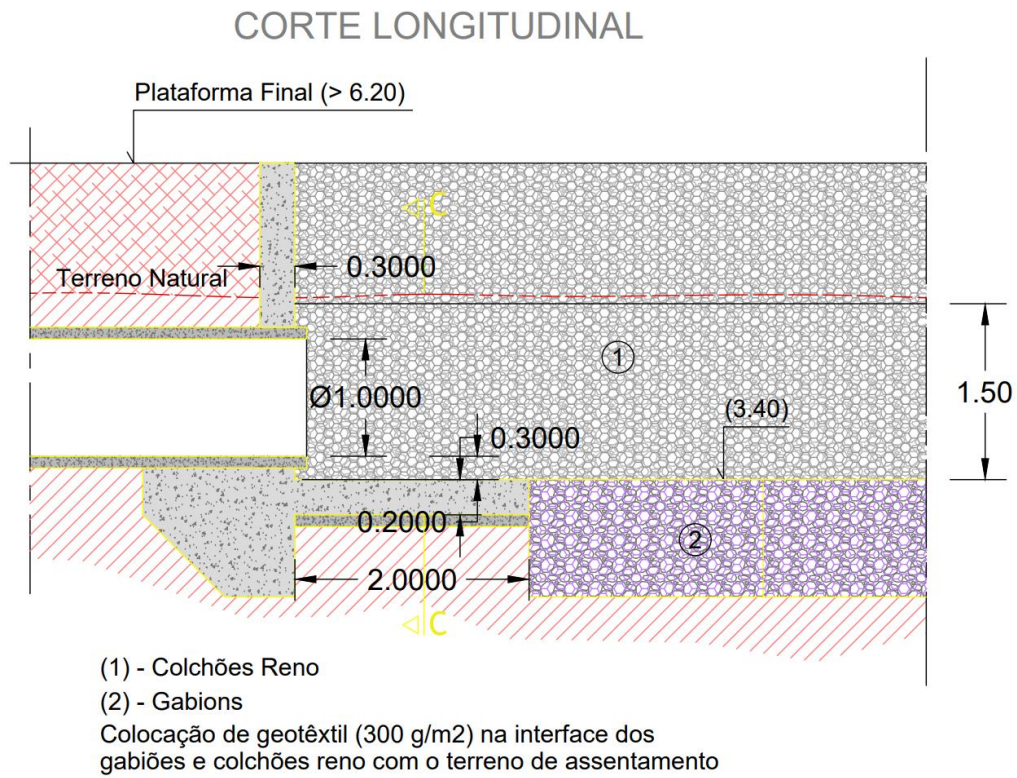
Pormenor de tomada de água da bacia de amortecimento. Fonte, Projegui.



Descargas no Canal. Q1 e Bacia de Amortecimento. Fonte, Projegui.

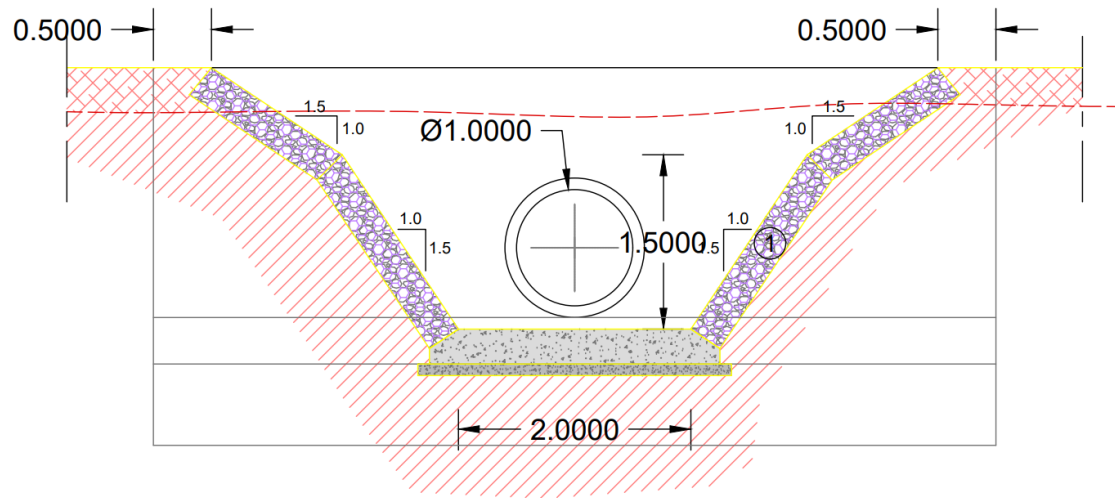


Pormenor de Descarga no canal. Q1. Fonte Projegui.



Pormenor de Descarga da bacia de amortecimento no Canal Afluente. Corte Longitudinal. Fonte, Projegui.

CORTE TRANSVERSAL C-C



(1) - Colchões Reno
Colocação de geotêxtil (300 g/m²) na interface dos colchões reno com o terreno de assentamento

Pormenor de Descarga da bacia de amortecimento co Canal Afluente. Corte Transversal, C-C. Fonte, Projegui.



Supermercado Aldi, Moita, Setúbal.

Anexo 4: Parque do Campus Universitário da Asprela. Universidade do Porto: Projeto de Arquitetura Paisagista

Este trabalho foi realizado pelos arquitetos paisagistas da Universidade do Porto. Realizado pelos autores, arquitetos paisagistas: Paulo Farinha Marques; (coordenador) José Miguel Lameiras; Luís Guedes de Carvalho e Gonçalo Andrade. Com uma equipa formada por mais seis arquitetos paisagistas; cinco engenheiros, e quatro engenheiros especialistas em hidráulica.

O “Parque do Campus da Asprela” é um projeto com aproximadamente 3 hectares, situado entre a Faculdade de Engenharias do Porto (FEUP) e de Economia do Porto, (FEUP).

Uma zona composta por campus universitário, fragmentado espacialmente, e também de edifícios rurais, espaços abandonados/expectantes, espaços cultivados, e uma ribeira encanada, uma parte bastante degradada, como o próprio trabalho refere.



Plano Geral de Intervenção I. Fonte: (Marques, et al., 2014)

Estes terrenos, na sua maioria da propriedade da Universidade do Porto, necessitaram de uma intervenção a nível paisagístico, mas também de engenharia e hidráulica. Existiu uma necessidade urgente de realizar um local

com unidade e congruência espacial. Realizou-se espaços de lazer e recreio ao ar livre, ligações de circulação pedonal, automóvel e estacionamento público e privado; um local com qualidade ambiental e humana.

Este projeto focou-se em unir diversos espaços verdes num só. Através da implementação de estruturas físicas e verdes, como orlas e pequenos bosques, espaços amplos como clareiras, “alinhamentos e pontuações arbóreas em crescimento livre. “(Marques, et al., 2014, p. 5). Sendo a estrutura verde o elemento organizador. Com um estrato arbóreo nativo perdominante, somente com pontuações de árvores ornamentais, não invasoras. O estrato arbóreo, arbiutivo e prados em crescimento livre.



Pormenor da clareira. Plano geral. Fonte: (Marques, et al., 2014)

O projeto tem também como uma das suas prioridades, a implementação de uma bacia de retenção seca, para retenção das águas pluviais. Sendo um local com ponto declive (menos de 5%), realizou-se a uma “micro-modelação do terreno para ajudar ao estacionamento, circulação lenta e infiltração da água de escorrência superficial”. (Marques, et al., 2014, p. 8). Na zona do rio de Asprela, aberta, realizou-se um projeto de forma a que esta zona tenha um comportamento semelhante a uma mini- albufeira. De modo a reunir as águas. Estes cortes e pormenores e vegetação envolvente, são de grande importância paisagista, como de engeharia e hidráulica.

Todo este projeto, os planos e memória descritiva, encontra-se disponível no repositória da universidade do Porto, através do link: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/146721>.

Anexo 5: Tipos de Infiltração nos Pavimentos

5.1. Os 3 tipos de Infiltração

O pavimento poroso tem dois destinos, segundo Lourenço (2014), eles podem:

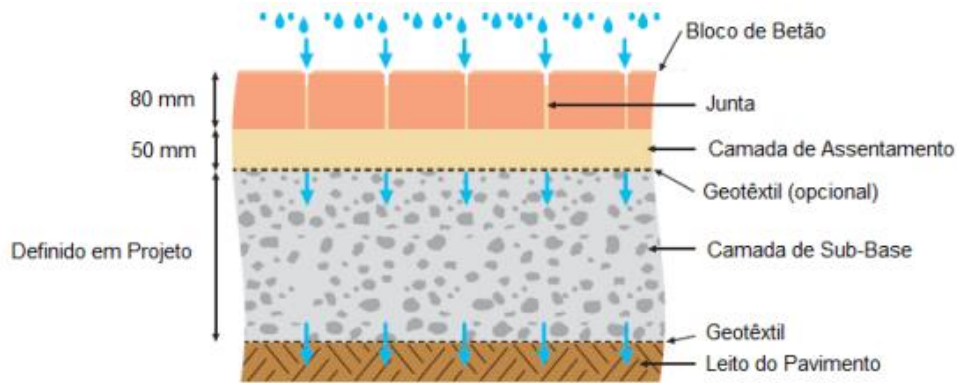
- Infiltrar no solo natural por meio das camadas porosas.
- Descarregar num sistema de drenagem pluvial ou noutro componente de SUDS.

Após infiltrar no pavimento, a água é descarregada no sistema de drenagem pluvial ou noutro componente SUDS (descarga direta); A camada de base do pavimento possui características (elevada porosidade) para funcionar como um reservatório (ou bacia de retenção) e descarrega a água lentamente para o sistema de drenagem ou outro componente de SUDS.” (Lourenço, 2014)

Dependendo da construção dos pavimentos, das suas camadas granulares e da capacidade de infiltração do solo de fundação. A drenagem da base de um pavimento poroso, considera três abordagens:

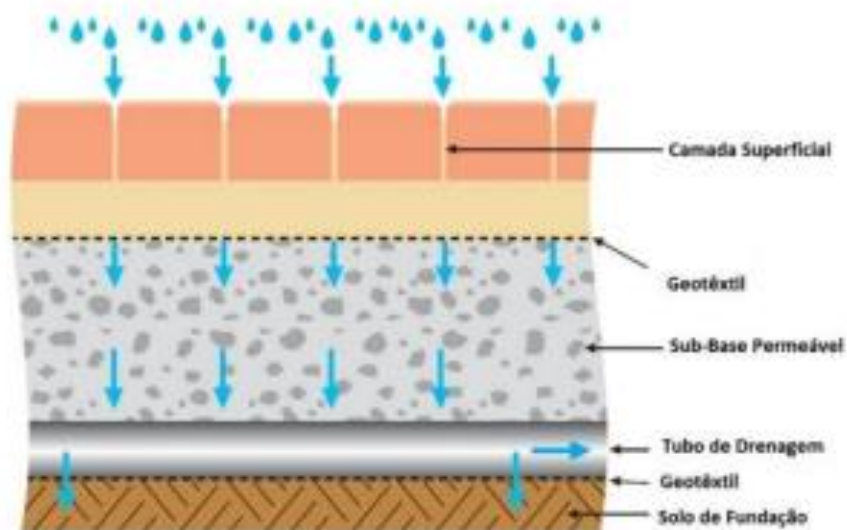
1. Infiltração total – este é o caso em que as águas pluviais passam pelo pavimento poroso e retêm-se na camada de sub-base, até se infiltrarem totalmente no solo. Neste sistema onde a água percola por todas as superfícies, através das juntas (como nos blocos ou no betão poroso) ou dos vazios (grelhas de enrelvamento). Todas as camadas devem ser dimensionadas para dimensionar e armazenar tendo em conta precipitação do local e do projeto. Se existirem eventos de elevada precipitação, acima do projetado, “deve ser considerada uma descarga, ou há que prever um bypass no pavimento permeável ou uma descarga de superfície. “Para a implantação do sistema o

nível freático deve estar pelo menos a 1,20 m abaixo da superfície do pavimento”, (Lourenço, 2014) casos contrários irão verificar-se falhas no funcionamento e o objetivo para o qual foi concebido não será alcançado. Na figura abaixo, podem ver as camadas e a forma de infiltração.



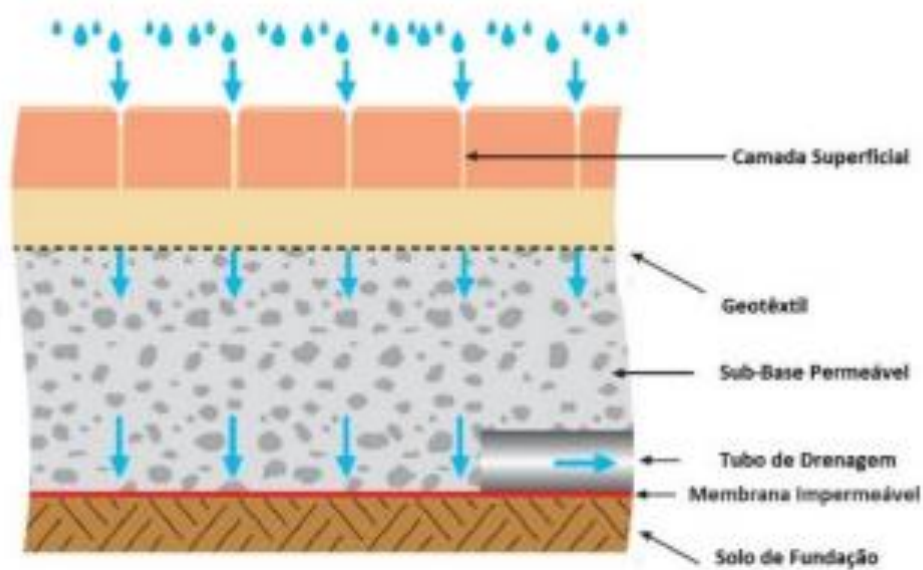
Pavimento permeável com infiltração total. Fonte: (Lourenço, 2014).

2. Infiltração parcial- funciona com a infiltração total, mas insere-se nos casos em que o solo não tem a capacidade suficiente de infiltrar a água. Logo tem de se inserir uma drenagem subterrânea com tubos perfurados. "Equipado com descarga de excesso de água através de drenos ou mantas geotêxtis dispostas horizontalmente entre a sub-base e a camada estrutural ou verticalmente junto das extremidades do pavimento." (Vasco, 2016). Podendo-se encaminhar estas águas para uma saída, como reservatório.



Sistema de infiltração parcial. Fonte: (Lourenço, 2014).

3. Sem Infiltração – neste sistema não existe qualquer tipo de infiltração, assim a água tem de ser captada através de uma membrana, sendo a sua base drenada através de drenos. Este tipo de sistema sem infiltração, pode ser implementado em situações onde o solo de fundação possui baixa capacidade de carga e reduzida permeabilidade, podendo ser danificado pela acumulação de água. Este tipo de sistemas também “são utilizados em zonas contaminadas com vista a prevenir a infiltração dos agentes poluentes para os aquíferos. Uma outra vantagem deste sistema passa também pela retenção/detenção das águas para fins diversos, tais como irrigação, lavagem, ou águas sanitárias.” (Lourenço, 2014)



Sistema sem infiltração. Fonte: (Lourenço, 2014).

Anexo 6: Inclinação dos pavimentos

A inclinação dos pavimentos porosos desempenha um papel crucial na gestão eficaz das águas pluviais. É essencial que esses pavimentos sejam construídos com a inclinação projetada especificamente para o local, de modo a combater os excessos de água pluvial, direcionando-a para os sistemas de drenagem ou permitindo a sua infiltração nos solos, recarregando assim os lençóis freáticos.

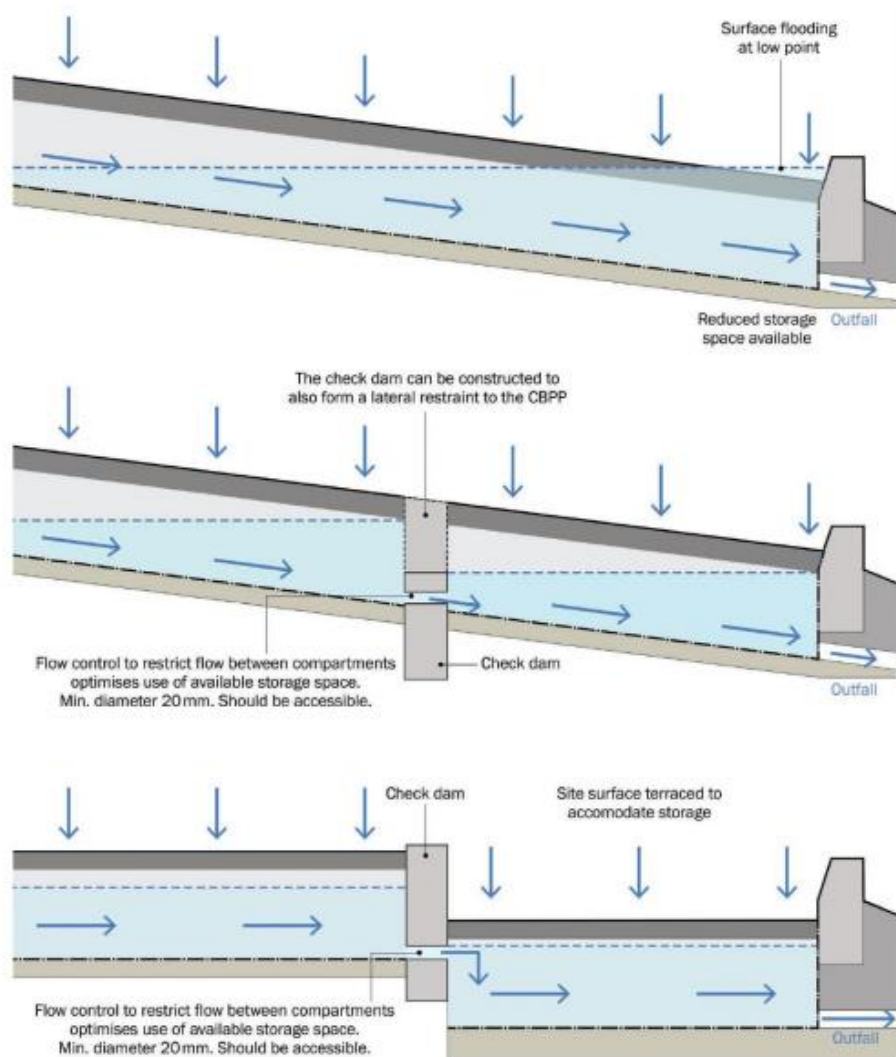
Um projeto bem elaborado, com inclinações adequadas, previne a acumulação de água e a formação de poças, evitando que as superfícies se tornem escorregadias. Além disso, promove uma distribuição uniforme da água e reduz a erosão das superfícies, garantindo uma infiltração equilibrada e contribuindo para a durabilidade dos pavimentos porosos. Uma inclinação apropriada também pode direcionar a água para áreas de tratamento, como zonas de vegetação, onde a água pode ser filtrada e a sua qualidade melhorada.

A inclinação ideal varia conforme o tipo de pavimento, o clima local e os objetivos do projeto. Por isso, a conceção e a instalação devem ser realizadas por profissionais qualificados, especialmente por engenheiros hidráulicos, que considerem esses fatores, para garantir o desempenho eficaz do pavimento na gestão das águas pluviais.

Em áreas com declives, é necessário considerar uma maior capacidade de armazenamento. A altura da base do pavimento deve ser projetada de acordo com a intensidade de precipitação prevista no projeto, os condicionantes de descarga e as áreas impermeáveis a drenar para o pavimento poroso. "O valor correto para garantir o armazenamento do volume de água necessário para o funcionamento do sistema deve ser calculado da mesma forma que no dimensionamento de reservatórios de retenção de caudais". (Vasco, 2016).

Quando se enfrentam declives mais acentuados, é essencial adotar práticas construtivas que garantam a drenagem adequada. A utilização de barreiras de contenção, como bordas, pode evitar que a água flua para áreas indesejadas, direcionando-a para zonas de infiltração ou para sistemas de drenagem.

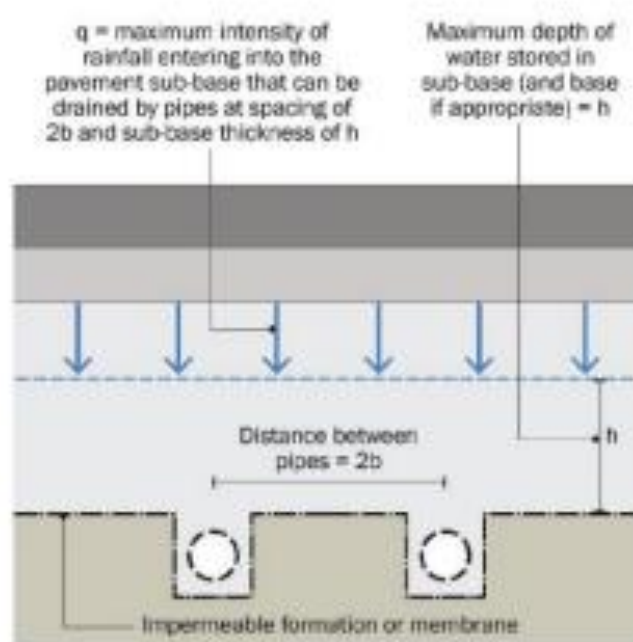
Tem de ponderar quando o pavimento tem inclinação acentuada porque a sua “capacidade de armazenamento de água na sub-base será reduzida; nestes casos, aconselha-se a construção de barreiras ou a criação de pavimentos em patamares, de modo a proporcionar vários níveis de armazenamento de água e, consequentemente, aumentar a capacidade de retenção”. (Vasco, 2016).



Controlo de volumes no interior dos pavimentos com inclinações elevadas. Fonte: (Ballard, et al., 2015)

Para a realização de um Pavimento Poroso, tem de se considerar, de acordo com Ballard, Kellagher, Martin, Jefferies, & R Bray (2015) e Vasco (2016):

- A camada de base deve ser projetada para acomodar o fluxo de água e permitir a infiltração no solo subjacente, sendo permeável e bem compactada.
- O espaçamento entre pedras e blocos deve ser dimensionado para permitir uma boa infiltração, especialmente em zonas com declive. "O volume disponível na base do pavimento é determinado pela percentagem de vazios do material utilizado; sempre que for indicada uma percentagem de vazios superior a 30%, recomenda-se a realização de testes em obra". (Vasco, 2016).
- A introdução de drenos ou canais de drenagem em torno das áreas pavimentadas é ainda mais importante em zonas com declive, para coletar rapidamente a água da chuva e direcioná-la adequadamente. Para garantir o bom funcionamento do pavimento, deve-se dimensionar corretamente a instalação de drenos, quando necessário, para a descarga das águas. "Na avaliação global do sistema, dependendo das necessidades de controlo, poderá ser necessária a utilização de dispositivos de controlo de caudais. Os drenos também têm função de recolha de água na sub-base e encaminhamento para um sistema de aproveitamento de água pluvial." (Vasco, 2016).



Espaçamento entre drenos. Fonte: (Ballard, et al., 2015).

- Usar vegetação essencialmente nativa nas zonas declivosas, para reter a erosão dos solos e absorver a água das chuvas, ajudando a melhorar a qualidade da água e a reduzir o escoamento.
- Manter a limpeza e remoção de detritos de forma regular é fundamental para garantir que os pavimentos e os sistemas de drenagem funcionem adequadamente, especialmente em áreas com declives.

O sucesso de um pavimento sustentável em áreas inclinadas, depende de um projeto cuidadoso e da implementação adequada das práticas construtivas. É aconselhável consultar engenheiros ou arquitetos especializados em pavimentos permeáveis ao enfrentar declives.