



INSTITUTO  
UNIVERSITÁRIO  
DE LISBOA

---

Fechar o ciclo: A água como componente arquitetónica

Ana Catarina Costa Rodrigues

Mestrado Integrado em Arquitetura

Orientadores:

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2020

Fechar o ciclo: A água como componente arquitetónica

Ana Catarina Costa Rodrigues

Mestrado Integrado em Arquitetura

Orientadores:

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Associado  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Doutor Pedro da Luz Pinto, Professor Auxiliar  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Novembro, 2020

## **Agradecimentos**

Aos meus pais e ao Chiquinho, que sempre acreditaram nas minhas capacidades e que sempre estiveram disponíveis para me ajudar na concretização de mais uma etapa da minha vida.

Aos meus avós, Aida e Costa, que apesar de longe sempre tiveram uma palavra a dizer e prontos para me apoiar.

Ao Alexandre, que aturou as minhas oscilações de humor, principalmente ao longo deste ano, mas que sempre acreditou em mim

À minha amiga Soraia, que apesar de longe sempre me apoiou incondicionalmente, e à Ana que acreditou que em mim, e teve de aceitar as minhas rejeições para cafezinhos e afins.

Ao professor Vasco Rato e ao professor Pedro Pinto por todo o empenho que tiveram ao longo deste ano atípico.

## Resumo

Se durante séculos a água foi o principal fator que ajudou a moldar cidades, na atualidade os centros urbanos enfrentam desafios considerados focos de preocupação globais como: o crescimento populacional que promove o fenômeno de rápida urbanização; alterações climáticas que originam fenômenos de precipitação extrema em oposição a secas severas; e infraestruturas de água precárias e antigas.

Para a mitigação da problemática da água nas cidades, as soluções devem garantir a disponibilidade de recursos hídricos, a gestão integral do ciclo hidrológico natural, bem como a adoção de medidas holísticas, inclusivas e resilientes que transformem as cidades em comunidades seguras e sustentáveis promovendo uma prosperidade social, ambiental e econômica.

Assim, uma cidade sensível à água deve incluir fontes de água alternativas para diversos usos a várias escalas e sistemas descentralizados, onde a captação, armazenamento e o tratamento da água são realizados “in situ”. Sendo a água um dos fatores essenciais para a paisagem urbana, devem ser projetadas infraestruturas que permitam à cidade e à comunidade adaptar-se e co-habitar com as oscilações da presença da água.

Neste ensaio teórico-prático são exploradas e integradas em projeto urbano e arquitetônico estratégias holísticas e sistemas de recolha, armazenamento e reaproveitamento de água que contribuem para a mitigação das alterações climáticas, de modo a projetar um complexo autossuficiente a nível hídrico.

Palavras-chave: Cidade sensível à água, Ciclo hidrológico, Arquitetura regenerativa, Resiliência, Eficiência hídrica.

## **Abstract**

During centuries, water has been the main factor that helped shaping cities, nowadays, urban centers face challenges that are considered to be the focus of global concerns like: populational growth that promotes rapid urbanization; climate change that brings forth extreme precipitation in opposition to severe drought; and old and precarious water infrastructures.

For mitigating the water problem in cities, solutions should ensure the availability of water resources and the integral management of the natural water cycle, as well as being able to take holistic, inclusive and resilient actions that transform cities into safe and sustainable communities, promoting social, environmental and economic prosperity.

Therefore, a water sensitive city should include alternative water sources for various uses applied to different scales and decentralized systems, where the water harvesting, storing and treatment are accomplished “in situ”. With water being one of the key factors for urban landscaping, infrastructures that allow the adaptation and cohabitation of the community and the city itself according with the fluctuation of water presence should be designed.

In this theoretical-practical essay, holistic strategies and gathering, storing and reusing water systems that contribute to the mitigation of climate changes are explored and integrated in urban and architectural project, as to design a waterwise self-sufficient complex.

Keywords: Water sensitive city, Water cycle, Regenerative architecture, Resilience, Water efficiency.

## Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract .....	iii
Parte I.....	1
1 Introdução .....	1
1.1 Os desafios da água no ambiente construído .....	1
1.2 Objetivos e estrutura do ensaio .....	8
2 Pegada hídrica.....	9
2.1 Conceito e objetivos da pegada hídrica.....	9
2.2 Dados quantitativos da pegada hídrica.....	12
2.3 Pegada hídrica de um edifício .....	14
2.3.1 Água incorporada nos edifícios .....	18
2.3.2 Consumo doméstico .....	20
3 “ <i>Water Sensitive City</i> ” .....	23
3.1 As transformações da água em meio urbano.....	23
3.2 O conceito de “ <i>Water sensitive city</i> ” .....	27
3.2.1 Cidades como bacias hidrográficas .....	29
3.2.1.1 “ <i>Net-Zero Water</i> ” .....	30
3.2.2 Cidades que prestam serviços ecossistémicos.....	35
3.2.2.1 “ <i>Water Sensitive Urban Design</i> ” .....	36
3.2.3 Cidades que compreendem comunidades sensíveis à água.....	40
4 Sistemas para a gestão de água à escala urbana e do edificado.....	44
4.1 Bacias de retenção e detenção.....	44
4.2 Sistemas de bio retenção .....	47
4.3 Sistemas de infiltração .....	50
4.4 Zonas húmidas .....	52
4.5 Valas revestidas com coberto vegetal .....	54
4.6 Pavimentos permeáveis.....	55
4.7 Coberturas verdes.....	58

4.8	Sistemas de captação de água de fontes alternativas e sistemas de reutilização e reciclagem.....	60
4.8.1	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais.....	60
4.8.2	Sistemas de captação de água atmosférica .....	64
4.8.3	Sistemas de dessalinização .....	72
4.8.4	Sistemas de reutilização e reciclagem de águas residuais .....	73
5	Aplicações práticas de estratégias sustentáveis e resilientes .....	75
5.1	Swenson Civil Engineering Building.....	75
5.2	McLaren Production Center .....	77
5.3	Waterpleine .....	79
5.4	Fog Catcher .....	84
5.5	The Soul of Norrebro .....	87
5.6	Chulalongkorn University Centenary Park .....	91
5.7	O caminho da água.....	96
5.8	Kendeda Building.....	99
	Parte II.....	103
6	Solução de projeto .....	103
6.1	O local: Cidade Universitária.....	103
6.1.1	Contextualização histórica.....	106
6.1.2	Área de intervenção.....	110
6.1.3	O clima .....	111
6.2	O <i>Masterplan</i> .....	113
6.3	Residência de estudantes e Centro de estudos .....	117
6.3.1	Água: captação, armazenamento, tratamento e uso.....	118
6.4	Análise crítica da solução arquitetônica integrada.....	135
7	Workshop de PFA.....	136
7.1	“ <i>The thickness of the limit</i> ” .....	136
	Conclusão.....	141
	Referências bibliográficas.....	143
	Anexos .....	150
	Cálculos.....	150

## Índice de figuras

Figura 1: Distribuição de água no planeta .....	1
Figura 2 Distribuição de água por continente com a percentagem de população e de recursos hídricos .....	2
Figura 3 Esquema da evolução do ciclo hidrológico (BROWN D. C., 2011) .....	4
Figura 4 Esquema conceptual da Pegada Hídrica (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011) .....	11
Figura 5 Esquema do ciclo de vida de um edifício e a relação com a água direta e indireta .....	16
Figura 6 Esquema do cálculo da pegada hídrica para edifícios (SINDUSCON-SP, 2019) .....	17
Figura 7 Consumo de água por setor em Portugal (PEDROSO, 2009) .....	21
Figura 8 Consumo de água no setor urbano (PEDROSO, 2009) .....	21
Figura 9 Esquema da transição da água em meio urbano (BROWN, KEATH, & WONG, 2009) .....	27
Figura 10 Limites dos ciclos hidrológico em função do objeto construído (JOUSTRA & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014) .....	31
Figura 11 Esquema conceptual “net-zero water” .....	34
Figura 12 Ciclo hidrológico natural, ciclo hidrológico urbano convencional e ciclo hidrológico urbano sustentável .....	35
Figura 13 Esquema do conceito do WSUD .....	38
Figura 14 Esquema conceptual relativo ao modelo de transição desenvolvido por Brown num estudo sobre a cidade de Melbourne para progredir para uma cidade sensível á água .....	43
Figura 15 Exemplo de uma bacia de detenção (susdrain, s.d.) .....	45
Figura 16 Perfil tipo de uma bacia de detenção (susdrain, s.d.) .....	45
Figura 17 Bacia de retenção para a mitigação do risco de inundação em Guimarães (CMG, s.d.) .....	46
Figura 18 Secção transversal esquemática de um sistema de bio retenção na paisagem urbana (Water by Design, 2014) .....	48
Figura 19 Perfis com a tipologia de drenagem de sistemas de bio retenção (Water by Design, 2014) .....	50
Figura 20 Representação esquemática de um poço de infiltração (RODRIGUES J. , 2017) .....	51
Figura 21 Secção transversal de uma trincheira de infiltração (ROSSI & GONÇALVES, 2012) .....	52
Figura 22 Seção longitudinal esquemática de um sistema de pântano contruído (Melbourne Water, 2005) .....	53
Figura 23 Esquema de uma vala com coberto vegetal .....	55
Figura 24 Pavimento que permite a infiltração (BALLARD, et al., 2015) .....	56

Figura 25 Pavimento que permite o armazenamento de água e encaminhar a mesma para um sistema de tratamento secundário na cadeia de tratamentos (BALLARD, et al., 2015) .....	57
Figura 26 Tipologia das coberturas verdes (RAPOSO, 2013).....	60
Figura 27 Esquema de um sistema SAAP (SOUSA, 2015).....	64
Figura 28 Exemplo de um condensador de orvalho (OPUR, s.d.).....	66
Figura 29 Coletor de nevoeiro (AQUALONIS, 2019).....	67
Figura 30 Países que utilizam o sistema de captação de água do nevoeiro e quantidade de litros conseguesm captar por ano.....	68
Figura 31 Percurso desde o local de captação nos Montes Boutmezguida até ao local de abastecimento (AQUALONIS, 2019) .....	69
Figura 32 Pormenor dos microfilamentos da rede .....	70
Figura 33 Reação do material exposto a diferentes temperaturas, quando a temperatura é mais alta as fibras retraem, quando a temperatura é mais baixa as fibras expandem (YANG, et al., 2013).....	71
Figura 34 Aplicação da malha junto à base de videiras para irrigação das mesmas (SPONSH, 2018).....	71
Figura 35 Enquadramento dos "embornais" no conjunto.....	76
Figura 36 Funcionamento dos "embornais" num dia de chuva.....	77
Figura 37 Esquema do circuito das águas pluviais .....	77
Figura 38 McLaren Production Center .....	78
Figura 39 Corte esquemático do funcionamento do sistema das águas no edifício, desde a captação, utilização, tratamento natural e recarga da linha de água adjacente .....	79
Figura 40 A praça (De Urbanisten, s.d.) .....	80
Figura 41 A bacia média após um evento de precipitação (De Urbanisten, s.d.) ..	81
Figura 42 Elementos que conduzem a água e enfatizam a sua presença através do som (De Urbanisten, s.d.) .....	82
Figura 43 A utilização das bacias como espaço recreativo (De Urbanisten, s.d.)..	83
Figura 44 Sistema de tratamento e condução da água (De Urbanisten, s.d.).....	84
Figura 45 Estratégias de sustentabilidade adotadas no projeto (LITTLE, s.d.). ....	85
Figura 46 Pormenor construtivo dos painéis da fachada que captam o nevoeiro (LITTLE, s.d.).....	86
Figura 47 Integração e interação entre o ciclo a água, o ciclo social e o ciclo biológico (SLA, s.d.).....	88
Figura 48 Comparação do Parque <i>Hans Tavsens</i> antes e depois de um fenómeno de precipitação extrema (SLA, s.d.) .....	90
Figura 49 Representação esquemática das bacias ao longo do percurso (SLA, s.d.) .....	90
Figura 50 Capacidade de retenção do parque com eventos de precipitação diária (em cima), para um período de 10 anos (ao centro), e para 100 anos (em baixo) (SLA, s.d.).....	91
Figura 51 Planta e corte do parque, onde se percebe as variações de cotas desenhadas (N7A, s.d.) .....	92
Figura 52 Estratégias aplicadas no desenho do parque (N7A, s.d.).....	93

Figura 53 Anfiteatro (N7A, s.d.).....	94
Figura 54 Bacia de detenção que alberga também o programa do parque infantil (N7A, s.d.).....	95
Figura 55 Bacia de retenção, com bicicletas aquáticas que permite os utilizadores participarem no processo de movimentação das águas paradas (N7A, s.d.).....	95
Figura 56 Axonometria da nova Praça de Espanha (NPK, s.d.) .....	97
Figura 57 Clareira grande, com a função de bacia de detenção (NPK, s.d.).....	98
Figura 58 Vista poente sobre o lago para a praça da água (NPK, s.d.).....	99
Figura 59 Localização dos sistemas adotados (Georgia Tech, s.d.).....	100
Figura 60 Vista sobre os pântanos construídos (Georgia Tech, s.d.).....	101
Figura 61 Circuito fechado da água no edifício (Georgia Tech, s.d.).....	102
Figura 62 Ortofotomapa de localização, limites da Cidade Universitária .....	103
Figura 63 Vulnerabilidade a risco de inundações .....	105
Figura 64 Áreas verdes .....	105
Figura 65 Cheios e vazios .....	106
Figura 66 Transportes .....	106
Figura 67 Planta da área de estudo de Silva Pinto, de 1911, onde se observam as quintas e os palacetes da época .....	107
Figura 68 Proposta da Cidade Universitária de Lisboa, de Carlos Ramos, 1930 (PEDROSA, 2009).....	108
Figura 69 Projeto Integral de Caeiro da Mata,1930 (PEDROSA, 2009) .....	108
Figura 70 Planta de Urbanização dos Terrenos da Palma para os Edifícios Universitários e o Hospital Escolar, CANEU, 1935-36 (PEDROSA, 2009).....	109
Figura 71 Planta de Urbanização dos Terrenos a Oeste do Campo 28 de Maio para Edifícios Universitários e Hospital Escolar, CANEU, 1937 (PEDROSA, 2009). 109	
Figura 72 Escola Secundária da Cidade Universitária, 2003 .....	111
Figura 73 Ortofotomapa do terreno a intervir .....	111
Figura 74 Temperatura média da Área Metropolitana de Lisboa para o período de 1971-2000 (IPMA, s.d.).....	111
Figura 75 Precipitação média para a Área Metropolitana de Lisboa no período de 1971-2000 (IPMA, s.d.).....	112
Figura 76 Humidade relativa para a Área Metropolitana de Lisboa no período de 1971-2000 (IPMA, s.d.).....	113
Figura 77 Planta da proposta do masterplan .....	116
Figura 78 Axonometria esquemática da proposta.....	116
Figura 79 Precipitação média anual em Lisboa, no período dos últimos 10 anos (PORDATA, s.d.) .....	120
Figura 80 Esquema conceptual do circuito da água no projeto .....	121
Figura 81 Planta à cota 86.....	123
Figura 82 Planta à cota 90.....	124
Figura 83 Planta à cota 94.....	125
Figura 84 Planta à cota 97.....	126
Figura 85 Planta à cota 100.....	127
Figura 86 Planta de cobertura .....	128
Figura 87 Alçado Poente.....	129

Figura 88 Alçado Nascente .....	129
Figura 89 Alçado Norte .....	130
Figura 90 Corte pela tipologia de quartos individuais e alçado sul no centro de estudo .....	130
Figura 91 Planta do núcleo tipo .....	131
Figura 92 Tipologia de quarto individual .....	131
Figura 93 Tipologia de quarto duplo.....	131
Figura 94 Corte pela área comum do núcleo .....	132
Figura 95 Corte pela galeria.....	132
Figura 96 Corte transversal pela tipologia de quarto duplo .....	133
Figura 97 Corte transversal pelo centro de estudo.....	134
Figura 98 Torres do Alto da Eira .....	136
Figura 99 Representação crítica da falta de estrutura para assumir o nome de torre .....	138
Figura 100 Representação crítica, de como se o bairro operário assumisse o centro da torre .....	138
Figura 101 Processo crítico projetual.....	139
Figura 102 Maquete conceptual da proposta .....	140

## Índice de quadros

Tabela 1 Ph Mundial giga metro cubico por ano (Ó, SILVA, MORGADO, & BARATA, 2011).....	13
Tabela 2 PH em Portugal hm <sup>3</sup> /ano .....	14
Tabela 3 Comparação dos valores da água incorporada em diversos materiais de construção e autores. ....	20
Tabela 4 Consumos nos vários tipos de edificios .....	22
Tabela 5 Vários consumos nos edificios habitacionais.....	22
Tabela 6 Síntese da evolução dos sistemas de drenagem, adaptado de (TUCCI, 2008).....	26
Tabela 7 Síntese entre sistema centralizado e descentralizado, adaptado de (DOMÈNECH, 2011) .....	30
Tabela 8 Atributos dos vários elementos da cadeia tratamento (WSUDG, 2017) (BALLARD, et al., 2015) .....	40
Tabela 9 Síntese das diferenças entre os sistemas de gestão de água atualmente implementados e os sistemas de gestão para uma cidade sensível à água, adaptado de (KEATH & BROWN, 2009).....	41
Tabela 10 Síntese das características dos diferentes tipos de coberturas verdes (RAPOSO, 2013) .....	60
Tabela 11 Síntese dos volumes de água a aproveitar.....	121

## Parte I

### 1 Introdução

#### 1.1 Os desafios da água no ambiente construído

A água é um recurso natural, indispensável à vida no planeta e fundamental para a sobrevivência do Homem bem como de todos os ecossistemas.

A água ocupa 70% da superfície do planeta Terra, onde apenas 2,5% dessa água é doce, ou seja, consumível. Ainda assim, somente 0,3% dessa fração mínima é acessível, que se encontra em rios, lagos e aquíferos subterrâneos. A restante encontra-se sob a forma de glaciares, em permafrost<sup>1</sup> ou lençóis freáticos sendo de difícil acesso e impossibilitando a sua extração.

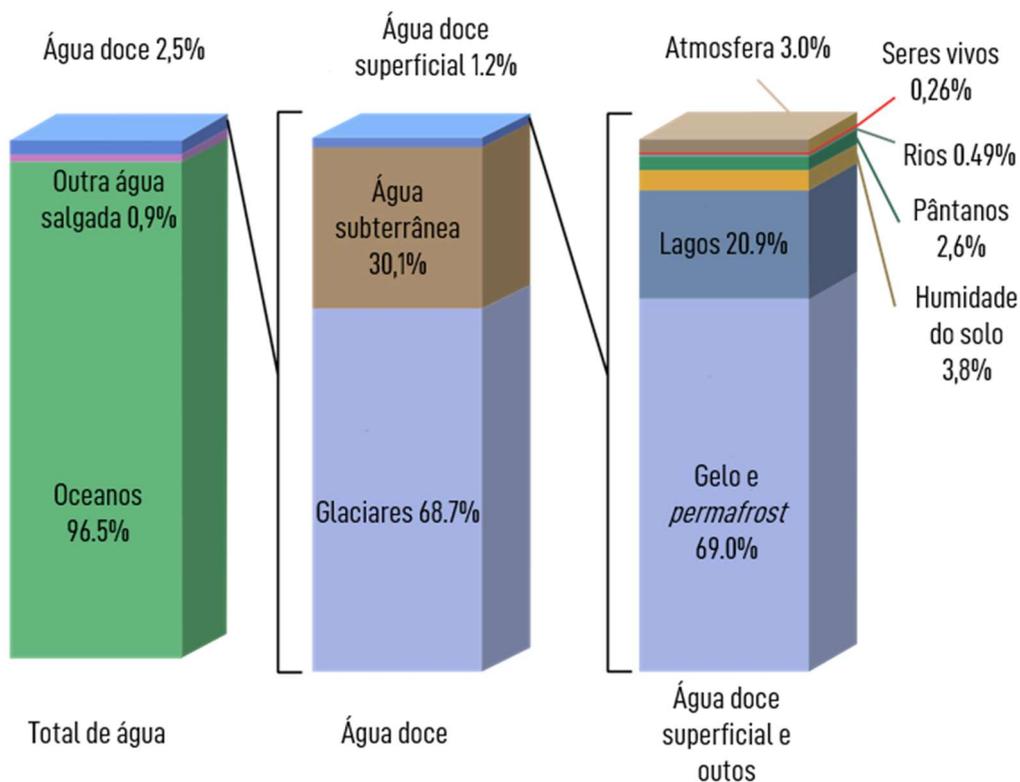


Figura 1: Distribuição de água no planeta

<sup>1</sup> Tipo de solo, que se encontra nas regiões polares que está permanentemente congelado por pelo menos dois anos consecutivos.

Devido a condições geográficas e climáticas a distribuição de recursos hídricos não é uniforme, o que origina uma desigualdade, onde existem países em que a necessidade e a procura são superiores à quantidade existente deste recurso.

Mais de metade da água doce disponível concentra-se na Ásia (cerca de 36%) e na América do Sul (cerca de 26%). Pelo facto de existir uma maior concentração de água, não quer dizer que seja abundante; por exemplo, no caso do continente Asiático se se analisar a correlação entre a população e a quantidade de recursos hídricos, existe uma maior procura do que oferta, tal como acontece na Europa. No caso do continente Americano a percentagem de água é superior à da sua população, existindo uma oferta maior (BARROSO, 2010).



Figura 2 Distribuição de água por continente com a percentagem de população e de recursos hídricos

Consegue-se compreender que a água é um recurso finito, pelo que é fundamental perceber todo o seu ciclo natural e a sua mudança com a intervenção do Homem. Primordialmente, o ciclo hidrológico criou um processo de filtração natural e contínuo, onde a chuva caía na superfície terrestre e era encaminhada para os rios e por conseguinte para os oceanos; com o auxílio do calor do sol permitia que a água voltasse às nuvens sob o estado de vapor de água onde o ciclo recomeçava de novo (BROWN D. C., 2011).

Desde o início da história da civilização humana, que os primeiros assentamentos eram feitos junto aos rios. Estas zonas eram propícias para a

produção de alimentos e proporcionavam a expansão urbana, onde a água se tornava também um meio de transporte e de trocas comerciais. Assim, ao longo dos tempos o Homem aprendeu a manipular a natureza, como controlar os cursos de água doce, pois a sua relação com este recurso não é meramente fisiológica, mas também sustenta todo o estilo de vida.

A primeira civilização a controlar os fluxos de água através do leito de cheia foram os egípcios (há cerca de 5000 anos), que habitavam as margens do Rio Nilo, desenvolveram sistemas de irrigação para a produção agrícola nas zonas áridas como o Crescente Fértil<sup>2</sup>. Com o seu conhecimento da natureza e o evoluir da ciência, os gregos criaram os primeiros sistemas hidráulicos urbanos, como poços, rodas de água, cisternas, casas de banho públicas e fontes, aumentando as condições de salubridade nas cidades. Posteriormente, os romanos deram continuidade a esses sistemas com as suas práticas de engenharia e arquitetura, implementando aquedutos que transportavam a água às cidades, recolhida pelo povo nos grandes fontanários. Mas, com a queda do império romano, houve um declínio a nível do saneamento devido à junção das águas residuais com a água potável que levaram à propagação de epidemias pela Europa. Surgiu assim, no séc. XIX, a necessidade de implementar um sistema que separasse as águas sujas das águas para abastecimento da população (BROWN D. C., 2011).

Durante a Revolução Industrial e o grande crescimento demográfico dos séc. XIX e XX, a procura por água potável aumentou de forma abrupta. O motor a vapor; veio permitir novos sistemas de abastecimento, nomeadamente o processo de bombeamento de água, que permitia uma rápida captação de rios, lagos e poços, juntamente com a criação de reservatórios nas áreas mais urbanizadas, de modo a responder às necessidades da sociedade.

Esta evolução, até aos dias de hoje, permitiu um aumento no consumo de água para além dos recursos existentes. Onde as “modernas estações de tratamento

---

<sup>2</sup> Nome atribuído a uma região de terras férteis, situada entre os vales do rio Nilo, Tigre e Eufrates. Marca o início da civilização, quando o Homem deixa de ser nómada para se fixar num lugar (Homem sedentário) com as condições para os seus meios de subsistência, nomeadamente a agricultura.

substituíram o ciclo natural da água por um ciclo hidrológico mecanizado de captação, filtragem e sedimentação”<sup>3</sup> (MOORE, 1994), substituindo-o completamente por um ciclo mais rápido<sup>4</sup>, causando grandes desequilíbrios na hidrosfera e em todos os ecossistemas.

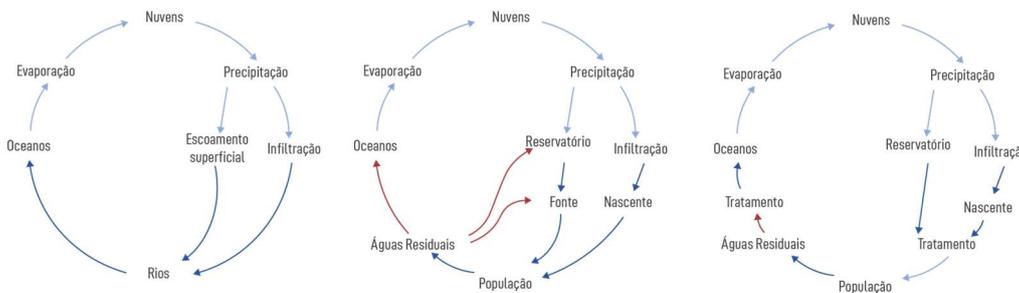


Figura 3 Esquema da evolução do ciclo hidrológico (BROWN D. C., 2011)

Se durante séculos a água foi o principal fator que ajudou a moldar cidades, na atualidade a proximidade à água continua a ser um fator importante, sendo um recurso indispensável à agricultura, à manufatura e à energia o que origina uma migração para os centros urbanos onde o acesso a esse recurso é maior.

A urbanização é uma das tendências mais significativas do séc. XXI, sendo que atualmente mais de metade da população vive em cidades e estima-se que esse valor aumente para dois terços até 2050 (UNESCO World Water Assessment Programme, 2019). O crescimento repentino nos centros urbanos afeta o desenvolvimento económico e social, sendo que à medida que as cidades crescem, a água necessária para o abastecimento das mesmas também aumenta.

Estima-se que as grandes cidades movimentam cerca de 504 mil milhões de litros por dia, sendo que 3% provém de fontes superficiais que se encontram

<sup>3</sup> Traduzido pela autora do original: “Modern treatment plants have replaced the natural water cycle with a mechanized hydrologic cycle of collection, filtration, and sedimentation.”

<sup>4</sup> O ciclo hidrológico de qualquer ambiente construído define-se pelo percurso da água para consumo humano desde o momento em que é captada até ao seu retorno ao meio natural. Este percurso é composto por três fases com várias etapas, a fase de tratamento e distribuição de água, a fase de utilização da água em edifícios e por fim a fase de tratamento de águas residuais. Tem como objetivo principal o abastecimento público de água, em termos de quantidade e qualidade e após este processo a restituição da água à natureza.

sobretudo fora do perímetro urbano. Deste modo são necessárias infraestruturas que conduzam a água a longas distâncias, mas na maioria das vezes não se reconhece as fontes de abastecimento nem os impactos que têm no ciclo hidrológico global (MCDONALD, et al., 2014).

Assim, a sobrecarga das infraestruturas hídricas, maioritariamente antigas e degradadas, resulta no aumento da procura, na incapacidade de resposta das infraestruturas de abastecimento e tratamento de água e na falta de salubridade das cidades que coloca em causa a saúde pública devido à quantidade de águas residuais poluídas (ARCADIS, 2016). Cerca de 700 milhões de pessoas residem em meios urbanos sem condições de saneamento e 156 milhões vivem sem fontes de água de qualidade (UNESCO World Water Assessment Programme, 2019).

Juntamente à agravante da crescente urbanização, as mudanças dos padrões climáticos que se têm sentido nas últimas décadas condicionam também um desenvolvimento urbano próspero.

Importa fazer uma breve análise cronológica e salientar que o clima está sempre em mudança, tal como existiu um longo período quente durante o Império Romano (entre 200 a.C. e 400 d.C.) e até mesmo a Pequena Idade do Gelo já na Era Moderna (entre 1300 e 1850). Estas oscilações ocorreram em períodos de milhares de anos, permitindo uma adaptação dos seres vivos a essas mutações (BARBOSA, 2019). Tal como no Médio Oriente, o aquecimento com verões longos e secos (há cerca de 12000 anos), beneficiou o cultivo de cereais e grãos que podiam ser armazenados por longos períodos, proporcionando condições para um crescimento e desenvolvimento de assentamentos permanentes (GRANT, 2016).

Mas o problema é que os ciclos naturais do planeta estão cada vez mais acelerados, curtos e de extremos onde o principal fator dessas oscilações resulta de ações antrópicas. Desde a exploração intensiva dos recursos naturais, ao uso descontrolado de combustíveis fósseis e da produção agropecuária massiva, as libertações de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases com efeito de estufa (GEE)<sup>5</sup> aumentaram significativamente na atmosfera, contribuindo para um aquecimento

---

<sup>5</sup> Os principais gases com efeito de estufa são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o Metano (CH<sub>4</sub>) e o Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O).

global repentino. O mesmo fez-se sentir principalmente a partir da Revolução Industrial (finais do séc. XVIII), que marcou uma evolução tecnológica com ideologias de progresso no setor económico e proporcionou uma expansão demográfica e urbana, mas, também o início de uma decadência no setor ambiental.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), houve um aumento de 0,85°C e prevê que em 2100 a temperatura média global esteja entre 3°C e 5.5°C acima dos valores pré-industriais. De modo a limitar os riscos, têm de ser tomadas medidas mitigadoras e de mudança como reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para que o aumento da temperatura média global não exceda os 2°C, limite estabelecido pelo IPCC (IPCC, 2014).

Com estas mudanças verificam-se efeitos mais significativos no ciclo da água, cujos processos naturais dependem significativamente da temperatura. Ou seja, com um aumento das temperaturas, a evaporação é um processo mais rápido aumentando a acumulação de água na atmosfera (vapor de água), o que origina fenómenos de precipitação extrema mais concentrados e solos áridos e incapazes de infiltrar água aumentando a concentração de escoamento superficial (The Climate Reality Project, 2016).

Por consequência, “cerca de 90% de todos os desastres são relacionados à água. Nos períodos de 1995-2015, as inundações foram responsáveis por 43% de todos os desastres naturais documentados, afetaram 2,3 mil milhões de pessoas, mataram 157 mil e causaram cerca de 600 mil milhões de euros em danos materiais”<sup>6</sup> (UNISDR; CRED, 2015).

Várias áreas enfrentam inundações devido a chuvas torrenciais e à subida do nível das águas do mar nas zonas costeiras, levando à destruição de edifícios, de infraestruturas de abastecimento, saneamento e tratamento de água, colocando em causa a quantidade de recursos hídricos disponíveis bem como a qualidade da água potável. Adicionando o fator de urbanização, as cidades tornam-se mais impermeáveis e compactas para responder à afluência de pessoas à procura de

---

<sup>6</sup> Traduzido pela autora do original: “About 90% of all natural disasters are water-related. Over the period 1995–2015, floods accounted for 43% of all documented natural disasters, affecting 2.3 billion people, killing 157,000 and causing US\$662 billion in damage.”

melhores condições de vida, entre elas migrantes afetados pelas alterações climáticas; assim, a ocorrência destes fenómenos é um fator que contribui significativamente para o risco de cheias em meio urbano, incapacitando os sistemas de drenagem pluviais.

Em oposição, outras áreas enfrentam secas severas levando a uma escassez de recursos hídricos. A escassez de água está sobretudo relacionada com a falta de disponibilidade de fontes de água seguras e facilmente acessíveis afetando negativamente a saúde pública, bem como alguns modos de subsistência, principalmente agrícolas. Estima-se que cerca de 2 mil milhões de pessoas já estejam a viver em condições permanentes de escassez e cerca de dois terços da população mundial sintam esses impactos pelo menos um mês por ano (UNESCO World Water Assessment Programme, 2019).

Deste modo, as cidades enfrentam novos desafios que são considerados focos de preocupação globais. Importa salientar que o acesso à água potável e ao saneamento básico foi reconhecido como Direito Humano pelas Nações Unidas (ONU), em 2010, com a finalidade de erradicar as desigualdades sociais e proporcionar um desenvolvimento sustentável nos países mais pobres.

Com as pressões hídricas derivadas das alterações climáticas e de um crescimento populacional em massa, este direito encontra-se cada vez mais distante do seu propósito. Como resposta à problemática, a Agenda 2030, com a colaboração e a implementação de metas em 190 países pertencentes às Nações Unidas, promovem 17 objetivos para um desenvolvimento sustentável (ODS). Entre eles o objetivo número 6: água potável e saneamento para todos, e o objetivo número 11: cidades e comunidades sustentáveis (UNRIC, s.d.).

O cumprimento destes objetivos é um contributo essencial para a mitigação da problemática da água nas cidades. Garantindo a disponibilidade e uma gestão sustentável dos recursos hídricos, bem como a adoção de medidas inclusivas e resilientes, assim as cidades tornam-se comunidades seguras e sustentáveis promovendo uma prosperidade social, ambiental e económica.

## 1.2 Objetivos e estrutura do ensaio

Este ensaio teórico-prático tem como objetivo analisar estratégias de sustentabilidade aplicada a um programa arquitetónico em resposta à problemática acima descrita.

Pretende-se assim com a investigação:

- i. Projeto urbano e arquitetónico que conduza à autossuficiência do ponto de vista da água, incluindo a água incorporada nos materiais;
- ii. Identificação e desenvolvimento projetual de soluções que contribuam para o aumento da resiliência urbana às alterações climáticas; e
- iii. Desenvolver sistemas que permitem a autossuficiência como elementos de composição arquitetónica e urbana.

Como tal, divide-se em duas partes e em seis capítulos:

O Capítulo 1 destina-se à introdução, onde são abordados os problemas existentes. O capítulo 2 tem como objetivo compreender o impacto que o ambiente contruído tem sobre os recursos hídricos, como tal é realizada uma abordagem a dados quantitativos do consumo de água nos edifícios. No capítulo 3 é abordado o conceito de “*Water Sensitive City*”, de forma a compreender as estratégias holísticas para uma gestão sustentável dos recursos hídricos nas cidades. No capítulo 4 são apresentados os sistemas e as técnicas que compõem o desenho urbano sensível à água e estratégias de aproveitamento de água de fontes alternativas. No capítulo 5 são compilados cronologicamente intervenções práticas em diversos países para mitigar os efeitos das alterações climáticas no ciclo hidrológico, bem como a implementação da gestão da água em ciclo fechado nos edifícios. Por fim, no capítulo 6 é abordada a vertente prática deste ensaio, nomeadamente um projeto arquitetónico que integra a investigação teórica.

## 2 Pegada hídrica

De modo a compreender o impacto que o ambiente contruído tem sobre os recursos hídricos, neste capítulo é realizada uma abordagem a dados quantitativos do consumo de água no ciclo de vida de um edifício.

### 2.1 Conceito e objetivos da pegada hídrica

A problemática da água costuma estar sobretudo interligada com a estrutura económica global, sendo que os meios urbanos dependem cada vez mais da importação de vários bens e serviços como alimentos, energia e água, de modo a corresponder às necessidades dos seus habitantes, o que contribui significativamente para o aumento do consumo de recursos hídricos e para uma conservação insustentável dos mesmos.

É fundamental pensar não só na água que se consome diretamente, ou seja, aquela que é visível como a que bebemos todos os dias, mas também na água utilizada indiretamente, ou seja, a que é incorporada ao longo da cadeia de produção de todos os bens, produtos e equipamentos, que promovem entre vários países fluxos de exportação e importação de água, denominados de água virtual<sup>7</sup>. O conceito de Pegada Hídrica (PH) surge como um indicador que considera o consumo total de água doce direto e indireto nas várias etapas da cadeia produtiva de vários bens e serviços, ou até mesmo de uma bacia hidrográfica, cidade ou país (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011).

A PH é expressa em volume de água consumida por ano, incluindo nesses valores os volumes de consumo de água por fonte (superficial ou subterrânea) e a quantidade de água poluída. Todos os componentes deste indicador são especificados geograficamente e temporalmente, que avalia os usos e as consequências dos mesmos, tornando-se assim um indicador analítico mais

---

<sup>7</sup> O conceito de Água Virtual (AV) foi introduzido por John Anthony Allan em 1993, como uma resposta à desigualdade da distribuição de água e à escassez da mesma. Define-se como a água que é incorporada e utilizada durante toda a cadeia de produção de qualquer bem ou serviço, de forma a compreender os fluxos de água além-fronteiras, permitindo que os países que sofrem de escassez importem água através do comércio de *commodities*.

abrangente e específico que a tradicional medida de captação de água<sup>8</sup>. Assim, como um indicador do uso de água, diferencia-se da medida de captação de água em três parâmetros: não considera o volume de água captado, mas sim o que não retorna à fonte inicial; não se refere apenas ao consumo de água, mas também contabiliza os volumes que foram incorporados pelos produtos, inclusive os que são poluídos durante a cadeia produtiva; por fim, não se restringe ao uso direto mas também inclui o uso indireto (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011).

A PH divide-se em três tipologias de acordo com a origem dos recursos hídricos, a pegada hídrica azul, verde e cinza.

A pegada hídrica azul (PHA) refere-se ao consumo de água doce superficial e subterrânea, resultante da produção de um bem ou serviço. Neste caso, por consumo entende-se toda a água que evapora, a água incorporada nos produtos, a água que não retorna à mesma fonte inicial (como por exemplo vai para outra bacia hidrográfica) e a água que é captada num determinado período restituindo-se num período diferente (como por exemplo a água retirada num período seco e retornada num período húmido) (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011).

A pegada hídrica verde (PHV) está associada à água da chuva utilizada durante o processo de produção, com relevância em produções agrícolas. Ou seja, a água precipitada que se concentra no solo, que é evaporada/transpirada pelas plantas e a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011).

A pegada hídrica cinza (PHC) associa-se à água poluída durante toda a fase de produção e distribuição de um produto. Ou seja, refere-se ao volume necessário

---

<sup>8</sup> A medida de captação de água é definida como o volume total de água doce captada de fontes superficiais ou subterrâneas, sendo que uma parte da mesma retorna a uma fonte inicial. Esta medida subdivide-se em três tipos de captação: a captação agrícola (inclui irrigação, pecuária e aquicultura), a captação industrial (inclui torres de refrigeração) e a captação urbana (inclui usos domésticos), contribuindo para uma avaliação da procura de água dos diversos setores, sendo expressa em m<sup>3</sup> *per capita*. Assim, o consumo de água corresponde à parcela da captação de água que não é devolvida à fonte de água original, ou seja, ocorre quando a água é perdida na atmosfera por evaporação, evapotranspirada pelas plantas ou ingerida pelos animais e pessoas.

de água doce para diluir a poluição, retornando ao sistema sob a forma de efluentes, de modo a assegurar padrões de qualidade necessários da água (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011).

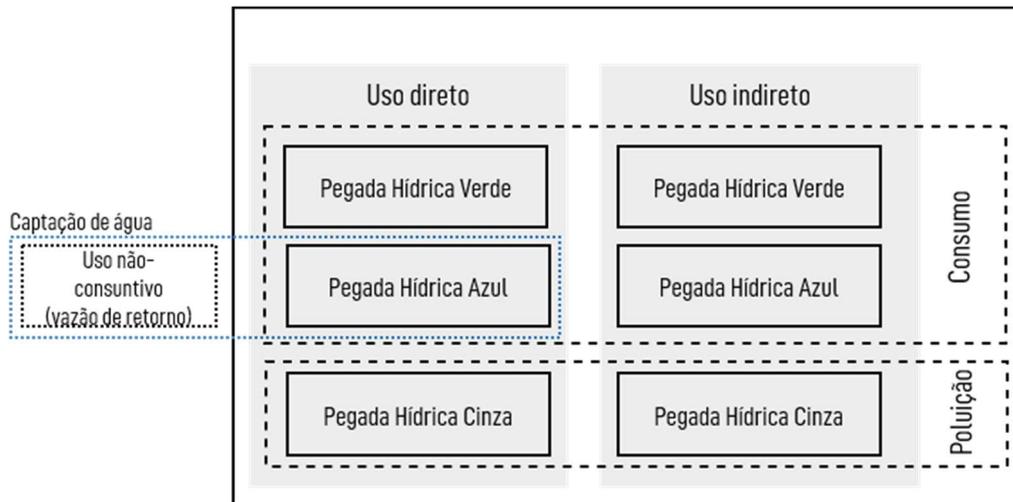


Figura 4 Esquema conceitual da Pegada Hídrica (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011)

O impacto ambiental local da poluição e do consumo de água depende da fragilidade do sistema desse local, do número de consumidores e da quantidade de poluição. Assim, a pegada hídrica não mede a gravidade do impacto ambiental. Tem como objetivo analisar e compreender a relação entre as atividades do homem ou de determinados produtos com as problemáticas da escassez e poluição da água. Ou seja, entender o que pode ser feito para que estas atividades ou produtos contribuam de forma sustentável do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos.

Para tal, é necessário estabelecer quatro etapas analíticas para avaliar uma pegada hídrica. Primordialmente devem-se estabelecer os objetivos e os limites do sistema, como a(s) fase(s) do ciclo de vida um produto; produtor(es) ou processo(s); a(s) tipologia(s) de pegada hídrica a considerar e a dimensão espaço-temporal. Em segundo, deve ser calculada a pegada hídrica com o objetivo de quantificar os recursos hídricos utilizados, permitindo a compreensão da relação entre a quantidade e a qualidade de água doce disponível com a necessidade por parte da sociedade. Numa terceira fase, avalia-se a sustentabilidade ambiental e socioeconómica da mesma, com o intuito de perceber a relação da pegada hídrica

com o território envolvente; assim, são contabilizadas as características geográficas e temporais, como fenômenos climáticos extremos, pluviosidade local, a capacidade da bacia hidrográfica local entre outros, de acordo com o objeto de estudo. Por último, são formuladas estratégias para a redução da utilização dos recursos hídricos (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2011).

## **2.2 Dados quantitativos da pegada hídrica**

Os dados quantitativos podem formar uma base importante para uma avaliação adicional territorial de como os produtos e os consumidores contribuem para a problemática do aumento da apropriação de água doce num contexto de recursos hídricos limitados, captação e exploração excessiva de fontes superficiais e subterrâneas, deterioração dos corpos de água e conflitos sociais pela água (HOEKSTRA & MEKONNEN, 2012).

A pegada hídrica de um país é o volume total de água utilizado não só para consumo direto, mas também para a produção de bens e serviços consumidos pelos seus habitantes, que depende de vários fatores, como a dimensão do território, a quantidade de recursos hídricos disponíveis, o número da população e dos hábitos de consumo dos habitantes. A mesma apresenta ainda duas dimensões: a pegada hídrica interna, que corresponde à água necessária para a produção de bens consumidos dentro do país; e a pegada hídrica externa, que resulta do consumo de bens importados (HOEKSTRA & MEKONNEN, 2012). Ou seja, o mesmo produto produzido em diferentes países apresenta valores de PH distintos, bem como os países com grandes populações têm tendência a possuir uma PH maior (RODRIGUES C. A., 2015).

A nível mundial, a produção agrícola é o setor que detém a pegada hídrica maior, correspondendo a 92%. O setor industrial representa 4,4% e o urbano 3,6%. A água virtual é a parte de recursos hídricos utilizados na cadeia de produção de produtos agrícolas e industriais que são exportados para outros países. No caso do setor agrícola, 19% da PH foi exportada, tal como 41% da PH relativa à produção industrial, deste modo a água virtual da pegada hídrica mundial equivale a 19%.

Cerca de 38% da pegada hídrica da produção global concentra-se na China, na Índia e nos Estados Unidos, com um total de 1207, 1182 e 1053 Gm<sup>3</sup>/ano. No que diz respeito aos fluxos de água virtual, os países que mais exportam localizam-se na América do Norte e Sul (Estados Unidos, Canadá, Brasil e Argentina), enquanto que os maiores importadores são países do Norte de África e Médio Oriente, Europa, México, Japão e Coreia do Sul (HOEKSTRA & MEKONNEN, 2012).

Tabela 1 Ph Mundial giga metro cubico por ano (Ó, SILVA, MORGADO, & BARATA, 2011)

<b>Produção agrícola</b>						
	Agricultura	Pastagens	Pecuária	Produção industrial	Consumo urbano	Total
<b>Pegada hídrica Gm<sup>3</sup>/ano</b>						
<b>Verde</b>	5771	913	-	-	-	6684
<b>Azul</b>	899	-	46	38	42	1025
<b>Cinza</b>	733	-	-	362	282	1378
<b>Total</b>	7404	913	46	400	324	9087
<b>PH exportada</b>	-	1597	-	165	0	1762
<b>PH exportada em comparação com o total %</b>	-	19	-	41	0	19

Na Europa, cerca de dois terços dos países dedicam menos de 10% da captação de água para o setor agrícola, sendo países industrializados com um clima temperado, onde a indústria é responsável por 57% da captação total de água (principalmente para a produção de energia), o setor urbano por 22% e o agrícola por 21% (FAO, s.d.). A Bélgica é o país em que a produção industrial detém uma grande parte do total da pegada hídrica do país, com 41%, ainda assim, a produção agrícola contribui com 53% (HOEKSTRA & MEKONNEN, 2012).

No entanto, estes valores variam bastante nos países mediterrânicos devido ao clima com precipitação escassa e longos períodos de seca, onde o setor agrícola é responsável por mais de 60% da captação total de recursos hídricos (ANP, s.d.). Assim, compreende-se o facto de Itália, Grécia, Espanha, bem como Portugal conterem pegadas hídricas mais elevadas por habitante. De acordo com o Relatório Planeta Vivo de 2008 da *World Wide Found for Nature* (WWF), Portugal detém

um total de 2260 m<sup>3</sup>/ano *per capita*, ocupando o 6º lugar no *ranking* mundial (cerca de 140 países analisados), sendo que metade da PH está relacionada com a importação de bens para consumo, particularmente a importação de água virtual relacionada com o setor agrícola (Ó, SILVA, MORGADO, & BARATA, 2011). Como tal, o setor agrícola é responsável por 87%, o industrial por 5% e o urbano por 8% da captação total de água (BARROSO, 2010).

A escassez de água no país (cerca de 33%) é sobretudo derivada por fatores como a dependência externa do país em função de Espanha, que possui mais de 67% dos recursos hídricos superficiais de Portugal; o elevado peso do setor agrícola, sendo o país da Europa do sul com o maior consumo neste setor; e as desigualdades geográficas, onde a região sul do país é afetada por problemas de escassez de água (RODRIGUES C. A., 2015).

Tabela 2 PH em Portugal hm<sup>3</sup>/ano

Setor	Total			% da pegada hídrica externa				
	Verde	Azul	Cinza	Total	Verde	Azul	Cinza	Total
<b>Agrícola</b>	19058	3537	1609	24204	62,4	57,2	61	61,6
<b>Industrial</b>	-	88	740	829	-	51,1	64,3	63
<b>Urbano</b>	-	108	610	718	-	-	-	-
<b>Total</b>	19058	3733	2959	25751	62,4	55,4	49,3	59,9

Em suma, cerca de um quinto da pegada hídrica global não se destina ao consumo interno, mas sim à exportação. O volume relativamente grande de fluxos de água virtual internacionais e as dependências de água externas reforçam a questão da escassez e da desigualdade geográfica de recursos hídricos a nível mundial. Deste modo, compreender a pegada hídrica de um país é essencial para o desenvolvimento de políticas sustentáveis para a gestão de recursos hídricos à escala global.

### 2.3 Pegada hídrica de um edifício

O setor da construção é globalmente responsável por 12% do consumo total de água, sendo que estes valores correspondem apenas a gastos diretos, estimando-

se que, com a inclusão dos consumos indiretos, os valores possam ser bastante superiores (CRAWFORD & PULLEN, 2011). Ou seja, para calcular a pegada hídrica de um edifício deve-se ter em consideração que o mesmo percorre várias fases ao longo da sua vida, iniciando-se na fase de projeto, passando pelas fases de construção, operação e manutenção e terminando o seu ciclo de vida na fase de demolição.

Ao analisar-se o consumo de água num edifício, deve considerar-se então todas as etapas presentes nas fases do ciclo de vida do mesmo (Fig.X), desde a extração de matérias primas para a produção de materiais de construção, o transporte dos materiais para o local da obra, os processos de construção, o consumo dos ocupantes e dos processos mecânicos e por fim dos materiais e aparelhos para substituição e reparação do edifício. Os resíduos de demolição, resultantes do fim de vida do edifício normalmente não são considerados, devido à incerteza da durabilidade do edifício, habitualmente projetado para um período de 50 anos, mas, que perdura por muito mais tempo (STEPHAN & CRAWFORD, 2014). A fase de projeto também não é contabilizada nos limites do sistema, sendo que esta fase se destina à conceção do edifício e à implementação de sistemas que permitam compreender, nas fases seguintes a existência de consumos de modo a aplicar estratégias sustentáveis para diminuir os usos de recursos hídricos.

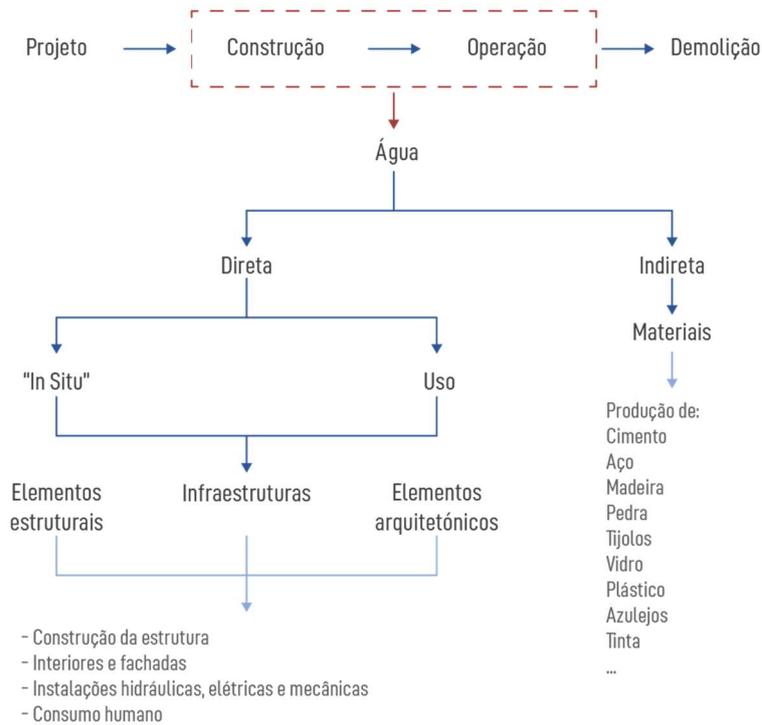


Figura 5 Esquema do ciclo de vida de um edifício e a relação com a água direta e indireta

Nestas fases podem identificar-se os consumos diretos como a água utilizada em obra e a água utilizada sobretudo para consumos domésticos na fase de operação. Os consumos indiretos referem-se a toda a água utilizada nos processos de fabrico dos materiais de construção a utilizar em obra e posteriormente na fase de operação para a manutenção do edifício.

Em Portugal, os valores da utilização de água são variáveis consoante a área geográfica, o número de habitantes e os diferentes padrões de consumo dos mesmos. Estima-se que o consumo de água na fase de construção seja cerca de  $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^2$  de construção, enquanto que na fase de operação, para uma vida de 50 anos, a água utilizada seja um valor compreendido entre  $40$  a  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2$  de construção (BARROSO, 2010). Tal como já referido, as etapas de conceção e desconstrução são descartadas, devido ao impacte praticamente inexistente. Com os valores referidos, em termos de consumos diretos, a relação entre a água presente na fase de construção é de  $0,6\%$  enquanto que na fase de operação é de  $99,4\%$  (BARROSO, 2010). Pode dizer-se que em termos de consumo a fase de construção caracteriza-

se por um consumo maioritariamente de recursos (consumo indireto) enquanto que na fase de operação o consumo é maioritariamente em termos operacionais (consumo direto) (BARROSO, 2010).

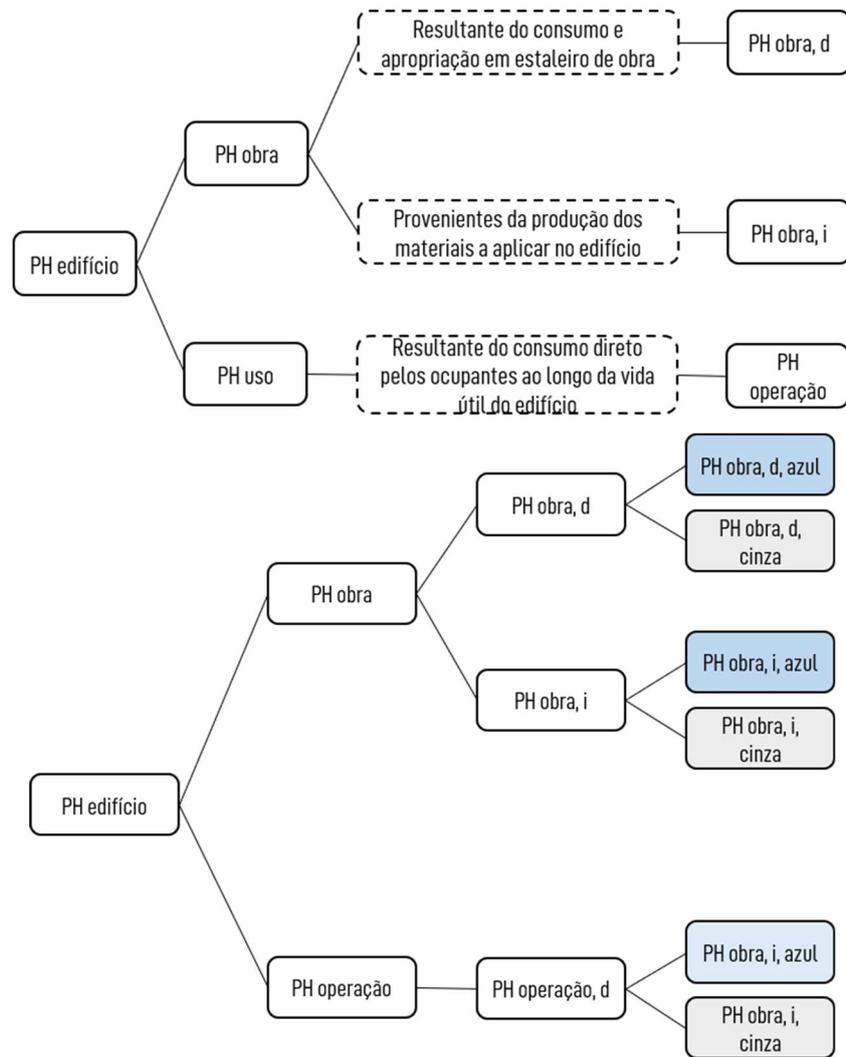


Figura 6 Esquema do cálculo da pegada hídrica para edifícios (SINDUSCON-SP, 2019)

Em suma, a realização de uma análise da água no ciclo de vida do edifício, pode oferecer uma visão holística que permite reduzir o impacto do uso da água, onde a avaliação do ciclo de vida (ACV) do mesmo pode ser usada para avaliar de forma mais abrangente o impacto ambiental do uso de recursos hídricos no ambiente construído (MANNAN & AL-GHAMDI, 2020).

### 2.3.1 Água incorporada nos edifícios

Como já referido, a construção requer dois tipos de água, a direta e a indireta. A água incorporada é um consumo indireto de água nos edifícios, com relevância na fase de construção. Ou seja, refere-se à água utilizada para a produção de matérias-primas do edifício durante toda a cadeia de produção das mesmas. Durante o processo de fabrico de materiais, a água é maioritariamente utilizada como lubrificante, solvente, como meio de transferência de calor, para limpeza e para outros fins, dependendo das propriedades dos materiais (MANNAN & AL-GHAMDI, 2020).

Os modelos de cálculo da água incorporada podem dividir-se em três grupos: análise de processo, análise *Input-Output* e por uma análise híbrida. Uma análise de processo baseia-se nos dados disponibilizados por parte dos fabricantes dos produtos. Estima-se que este método apresente erros entre 50 a 90% no cálculo da água incorporada devido a uma omissão de dados por falta de conhecimento das empresas, nomeadamente de erros nos limites do sistema. A análise *Input-Output* assenta na utilização dos dados de fluxos financeiros nos vários setores económicos. Ou seja, ao saber-se as tarifas da água aplicadas a cada setor e o preço do produto e é possível calcular a quantidade de água utilizada na produção de um determinado produto. A vantagem desta metodologia é que fornece uma análise sistemática completa possibilitando a sua aplicação a qualquer produto no mercado, sendo este o método mais utilizado para o cálculo da água incorporada. Por fim, uma análise híbrida utiliza as duas metodologias anteriormente referidas, com o objetivo de minimizar as limitações e as lacunas presentes nesses modelos proporcionando uma análise ainda mais completa (CRAWFORD & PULLEN, 2011). É importante referir que, dependendo do método escolhido, os valores serão sempre variáveis.

Segundo um estudo australiano (STEPHAN & CRAWFORD, 2014), a água incorporada divide-se em duas fases: a inicial, que corresponde à água incorporada no primeiro estágio do ciclo de vida do edifício (água incorporada nos materiais utilizados no processo de construção); e a recorrente corresponde à água necessária para a substituição de materiais durante a manutenção do edifício.

Recorrendo a uma análise Input-Output para avaliar a água incorporada e a utilizada na fase de operação de um edifício de habitação unifamiliar num período de 50 anos, Stephan e Crawford (STEPHAN & CRAWFORD, 2014) chegaram à conclusão que a água incorporada representa 38,2%, a de operação 33,1% e referente aos transportes utilizados pela família 28,7%. Ou seja, os consumos indiretos (incluindo os transportes) representam mais de 50% do consumo total de água ao longo do ciclo de vida do edifício.

Na Índia, Bardhan e Choudhuri (BARDHAN & CHOUDHURI, 2015) analisaram a água incorporada nos materiais de construção mais utilizados em duas áreas urbanas, Calcutá e Pune. Os valores obtidos foram de 19,35 Kl/m<sup>2</sup> de construção em Calcutá e 16,27 Kl/m<sup>2</sup> em Pune, uma média de 17,81 Kl/m<sup>2</sup>. Conclui-se que o valor médio de água incorporada nos materiais de construção corresponde aos usos domésticos de 1233 famílias por ano, também o equivalente a cerca de 7 anos de consumos na fase de operação de um edifício habitacional, ou seja, uma quantidade significativa de água doce que passa despercebida nos consumos da sociedade.

Baseado num modelo de análise *Input-Output* de energia e água desenvolvido na Universidade de Sydney, com o cruzamento de dados australianos derivados de uma análise híbrida de uma ACV, Crawford e Treloar (CRAWFORD & TRELOAR, 2010) desenvolveram uma base de dados com os coeficientes da energia e da água incorporada para os materiais de construção locais. Os materiais que apresentam maior valor de água incorporada são o alumínio (1084,4 Kl/t), seguindo-se pela fibra de vidro (855 Kl/m<sup>3</sup>) e por fim o aço inoxidável (649,6 Kl/t).

Segundo Berge (BERGE, 2009), os maiores consumos de água incorporada encontram-se na etapa de produção de matérias primas, desde a extração das mesmas até ao fim da sua produção, responsáveis por valores entre os 85 a 95%. Estima ainda que 5 a 15% consiste no transporte das matérias primas, na construção *in situ*, e na substituição de materiais ao longo da fase de operação do edifício.

Por fim, verifica-se que a maioria dos estudos abrangem apenas os cálculos de água direta, referentes aos consumos domésticos e ainda são poucos os estudos que consideram e calculam a água incorporada nos edifícios, sendo que os

existentes apresentam valores dispares entre si (CRAWFORD & PULLEN, 2011). Mas pode concluir-se que o coeficiente de água incorporada nos diferentes materiais de construção (tabela 3) é de extrema importância para a escolha dos materiais a aplicar no edifício, dado o impacto que os mesmos podem causar no consumo de recursos hídricos. Ou seja, deve optar-se sempre por materiais locais, de baixa energia e água incorporada e de preferência com capacidade de reutilização (desmontáveis).

Tabela 3 Comparação dos valores da água incorporada em diversos materiais de construção e autores.

<b>Material</b>	<b>A (EWu [L/Kg])</b>	<b>B (EWu[KL/uni])</b>
Aço	46	98.64 kL/t
Espuma de polietileno	582	0.734 kL/m <sup>2</sup>
Tijolo	5,6	0.672 kL/t
Pedra	3,4	-
Cimento	3,4	29.91 kL/t
Madeira macia	625	10.93 KL/ m <sup>3</sup>
Madeira dura	625	16.28 KL/ m <sup>3</sup>
Contraplacado	750	85.59 KL/ m <sup>3</sup>
Betão armado	6,2	-

A-M. Ashby (ASHBY, 2009)

B- Robert Crawford e Graham Treloar (CRAWFORD & TRELOAR, 2010)

### 2.3.2 Consumo doméstico

Em Portugal, o setor urbano é responsável por 8% do consumo total de água, destacando-se os consumos domésticos responsáveis por 45% dessa parcela. Normalmente o consumo depende do tipo de edifícios (tabela 4), se são habitacionais ou de serviço, das características da população (grandes ou pequenos aglomerados) e do clima (PEDROSO, 2009). Para avaliar o impacto ambiental do uso de água é necessário compreender e classificar as várias atividades que exigem o uso da mesma nos edifícios.

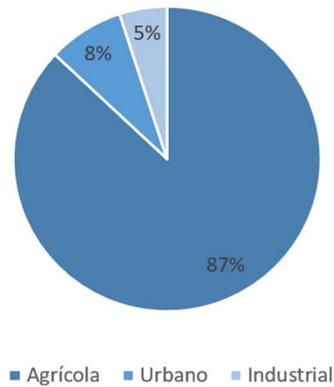


Figura 7 Consumo de água por setor em Portugal (PEDROSO, 2009)

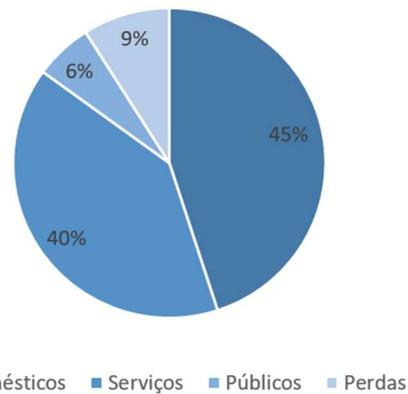


Figura 8 Consumo de água no setor urbano (PEDROSO, 2009)

Por consumo doméstico compreende-se todos os usos de água para beber, para a higiene pessoal, descarga do autoclismo, lavagem de roupa, para a confeção de alimentos, lavagem de loiça, para a limpeza dos espaços, irrigação dos jardins e lavagem de veículos.

Desde os anos 80 que os consumos de água têm aumentado 1% por ano, ou seja, significa que o consumo global aumentou até aos dias de hoje 40%. Deve-se sobretudo ao crescimento populacional, ao progresso socioeconómico e às alterações nos padrões de consumo (UNESCO World Water Assessment Programme, 2019). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), um ser humano necessita diariamente de um valor compreendido entre 50 a 100 litros para satisfazer as suas necessidades básicas (United Nations, s.d.). Esse limite é excedido *per capita* nos países mais desenvolvidos, como no caso dos Estados Unidos que consomem cerca de 475 l/dia, na Noruega que são consumidos em média 198 l/dia ou em Portugal onde são consumidos em média 187 l/dia (CABRAL, 2019).

Nos edifícios habitacionais (tabela 5), das várias atividades que consomem água, evidenciam-se os maiores consumos nas instalações sanitárias, nomeadamente em banhos e descargas dos autoclismos. Os edifícios de serviço, incluindo escolas, escritórios, hospitais, hotéis, restaurantes, lojas e outras

instalações, exigem também uma quantidade significativa de água. Os principais usos em edifícios não-habitacionais são para a manutenção e limpeza predial, torres de refrigeração, sistemas AVAC, torneiras, sanitas e mictórios, e por fim, para irrigação. Por exemplo, os edifícios de escritórios nos estados Unidos consomem cerca de 9% da água total, onde se verifica uma maior utilização nas instalações sanitárias, seguindo-se os sistemas de aquecimento e refrigeração e por fim para irrigação. (MANNAN & AL-GHAMDI, 2020). Já no concelho de Lisboa, 75% do consumo de água em edifícios públicos, não muito diferente do exemplo anterior, deve-se às descargas de autoclismos (PEDROSO, 2009).

Tabela 4 Consumos nos vários tipos de edifícios

<b>Tipo de edifício</b>	<b>Volume diário (l)</b>
Hospitais	300 a 600 /cama
Hotelaria	70 a 300/hóspede
Restaurante	20 a 45/ refeição
Escolas	10 a 50/aluno
Escritórios	15 a 50/funcionário
Prisões	100/detido
Indústria	80/operário
Garagem (lavagem)	200/veículo

Tabela 5 Vários consumos nos edifícios habitacionais

<b>Aparelhos/utilizações</b>	<b>Consumo (l/hab.dia)</b>	
	<b>Edifício multifamiliar</b>	<b>Edifício unifamiliar</b>
Lava-loiça	15 (12,5%)	15 (10%)
Máquina de lavar loiça	4 (3,3%)	4 (2,7%)
Máquina de lavar roupa	10 (8,3%)	10 (6,7%)
Duche	45 (37,5%)	45 (30%)
Lavatório+bidé	16 (13,3%)	16 (10,7%)
Autoclismo	30 (25%)	30 (20%)
Rega de jardim	-	28 (18,7%)
Lavagem de automóvel	-	2 (1,3%)
<b>TOTAL/dia</b>	<b>120</b>	<b>150</b>

Outro fator que contribui significativamente para o aumento dos consumos de água são as perdas desde a rede de distribuição até ao consumidor. Estas perdas

devem-se sobretudo a fugas por parte dos dispositivos utilizados, por falta de estanquidade nos elementos de obturação. Por exemplo, uma família composta por três elementos, em cuja habitação exista uma toneira com uma fuga do tipo fio de água de 2mm, aumenta o consumo de 80 l/hab.dia para um consumo diário total do agregado familiar de 333 l/dia. Isto significa um acréscimo mensal de 139% no consumo de água do agregado familiar (PEDROSO, 2009).

Se num pequeno agregado familiar uma fuga representa um grande impacto no consumo, deste modo é possível compreender o impacto que as perdas podem causar nos edifícios públicos onde os consumos são muitas vezes superiores, como no caso de uma unidade hospitalar. Assim, é de salientar a importância da utilização de dispositivos homologados para evitar perdas desnecessárias (PEDROSO, 2009).

### 3 “*Water Sensitive City*”

Neste capítulo é abordado o conceito de “*Water Sensitive City*”, de forma a compreender as estratégias holísticas para uma gestão sustentável dos recursos hídricos nas cidades.

#### 3.1 As transformações da água em meio urbano

De modo a compreender os conceitos e a necessidade da implementação de novas estratégias para melhorar as práticas atuais, é importante perceber o estado atual da cidade relativamente à gestão de recursos hídricos para que se possa definir metas de sustentabilidade a curto e a longo prazo. Uma abordagem histórica permite identificar os tempos em que ocorreram mudanças tecnológicas significativas para a gestão da água nas cidades, bem como antecipar fatores sociais e institucionais que influenciem mudanças futuras da prática de gestão de recursos hídricos em meio urbano (BROWN, KEATH, & WONG, 2009).

Os primeiros registos dos sistemas de drenagem urbana datam de há cerca de 5000 anos, nas civilizações da Mesopotâmia, Minóica e Grega. As águas eram encaminhadas através de valas a céu aberto para o curso de água mais próximo. Durante o Império Romano, foram desenvolvidas as grandes infraestruturas de abastecimento e saneamento, nomeadamente aquedutos que transportavam a água

a longas distâncias para as cidades, a primeira rede de drenagem com armazenamento da água das chuvas e também uma rede de esgotos com escoamento permanente, de forma a melhorar a qualidade de vida urbana (MATOS, 2003).

Mas, até à Idade Moderna, estas infraestruturas não eram consideradas uma prioridade nem condicionantes para o desenvolvimento e planeamento dos meios urbanos. Deste modo, as estratégias de saneamento e drenagem estiveram estagnadas até ao séc. XVII, originando uma regressão ao nível sanitário, onde a higiene e as condições de salubridade eram ignoradas pela sociedade, provocando a propagação de doenças epidémicas através da água (MATOS, 2003).

A grande evolução tecnológica dá-se em meados do séc. XIX, numa Europa em plena prosperidade e desenvolvimento industrial, e como resposta à expansão demográfica e à concentração nas grandes cidades. São concebidas infraestruturas de abastecimento e distribuição de água domiciliárias, através da implementação de sistemas unitários, onde as águas residuais são drenadas na rede de águas pluviais. Surgia assim o conceito higienista com a finalidade de transportar rapidamente as águas pluviais e residuais, através de canalização e coletores enterrados, para um meio recetor a jusante (MATOS, 2003). Como consequência, a precaridade destes sistemas contribuiu significativamente para a degradação da qualidade da água nos meios recetores, tornando-se visível a poluição presente nos cursos de água.

Com a explosão demográfica seguida de uma rápida urbanização, após a Segunda Guerra Mundial, os centros urbanos entraram novamente em colapso derivado da concentração de efluentes sem tratamento. De modo a corrigir os problemas associados à descarga da rede pública de drenagem, no séc. XX, a gestão dos novos sistemas assentou em dois objetivos principais: a recolha e o tratamento das águas domésticas e industriais; e o transporte das águas da chuva, o mais rápido possível, para fora das áreas urbanas prevenindo o risco de inundações. São implementados sistemas separativos, ou seja, constituídos por duas redes distintas, uma para as águas residuais e outro para as águas pluviais (DAVID, 2003). Também são construídas as primeiras Estações de Tratamento de Águas Residuais, com a finalidade de reduzir a carga de poluentes presentes nas águas residuais, enquanto

que as águas pluviais são diretamente inseridas no meio recetor (LOURENÇO, 2014).

Para o controlo desses impactes, durante as décadas de 70 e 80, surgiram as primeiras políticas europeias relacionadas com a proteção do ambiente, cujos objetivos assentam na proteção e melhoria da qualidade do ambiente, na proteção da saúde humana e na utilização racional dos recursos naturais (EUROPARL, s.d.). Como tal, surgiram diversas diretivas relacionadas com a água, inicialmente relacionadas com a saúde pública, entre elas a Diretiva das Águas Superficiais (1975) seguida pela Diretiva de Água Potável (1980), sendo que esta estabeleceu as metas dos padrões de qualidade da água. A legislação posterior direcionou-se para o controlo da poluição e estimulou investimentos substanciais para infraestruturas de tratamento de água., entre elas a Diretiva de Tratamento de águas Residuais (1991) e a Diretiva de Nitratos (1991) (GRANT, 2016).

A União Europeia implementou a Diretiva-Quadro da Água (DQA) no ano 2000, com o objetivo principal de garantir a qualidade de todas as águas. Visa proteger e melhorar os ecossistemas aquáticos; promover a utilização sustentável da água, de modo a garantir a proteção dos recursos hídricos a longo prazo; prevenir e reduzir a poluição; e contribuir para mitigar os efeitos das inundações e secas. Deste modo, os Estados-Membros têm o dever de elaborar planos para a gestão das bacias hidrográficas, bem como implementar medidas para atingir os objetivos estabelecidos (EUROPARL, s.d.).

A qualidade dos corpos de água urbanos continua a ser um problema particularmente motivado pelas consequências da rápida urbanização, nomeadamente com o aumento de superfícies impermeáveis, que promove a concentração do escoamento superficial. Com a sobrecarga e a incapacidade de resposta dos sistemas de drenagem, resultam sucessivas inundações que arrastam a poluição difusa para jusante, diminuindo a qualidade da água no meio recetor (LOURENÇO, 2014).

Desta forma, a abordagem convencional dos sistemas de drenagem foi questionada devido às preocupações ambientais, sendo propostas por diversos países novas estratégias para a gestão das águas pluviais nos centros urbanos. Nos

últimos anos, têm surgido abordagens holísticas de planejamento urbano para uma gestão sustentável da água, de forma a contribuir para a reparação do ciclo hidrológico natural, modificado pelo processo de urbanização. Apesar das diferentes terminologias, estas técnicas assentam em dois objetivos principais: minimizar os riscos de inundações e aumentar a qualidade da água nos meios recetores, promovendo a conservação dos recursos hídricos (LOURENÇO, 2014).

Podem destacar-se as iniciativas seguintes:

- Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)- Reino Unido
- Water Sensitive Urban Design (WSUD)- Austrália
- *Low Impact Development* (LID)- Estados Unidos da América
- Best Management Practice (BMP)- Canadá
- Sponge City- China

Em suma, o estado da gestão de água de uma cidade pode ser avaliado de acordo com a sua infraestrutura de abastecimento, saneamento e drenagem, bem como pelas atitudes institucionais predominantes (Fig.X), que em conjunto revelam as condições atuais da cidade e as oportunidades de mudança para uma gestão sustentável dos recursos hídricos em meio urbano (BROWN, KEATH, & WONG, 2009).

Tabela 6 Síntese da evolução dos sistemas de drenagem, adaptado de (TUCCI, 2008)

Fase	Características	Consequências
<b>Pré-higienista: até ao fim do séc. XIX</b>	Esgoto em fossas ou nos canais de drenagem, sem coleta ou tratamento; água da fonte mais próxima (poço ou rio).	Doenças e epidemias, inundações.
<b>Higienista: antes de 1970</b>	Transporte das águas residuais para distante das pessoas e canalização do escoamento; sistemas unitários.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
<b>Corretiva: entre de 1970-90</b>	Tratamento das águas residuais domésticas e industriais; sistemas separativos; amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacte ambiental.
<b>Desenvolvimento sustentável: pós 1990</b>	Tratamento terciário do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

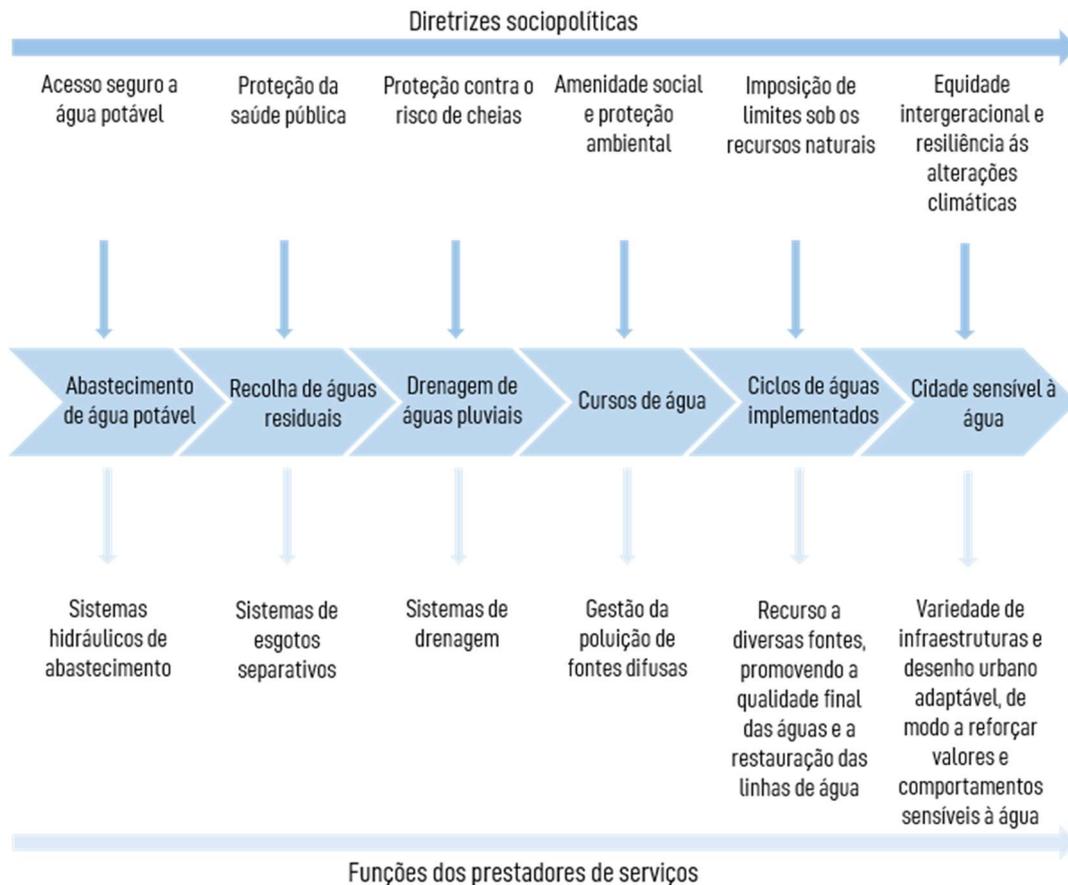


Figura 9 Esquema da transição da água em meio urbano (BROWN, KEATH, & WONG, 2009)

### 3.2 O conceito de “Water sensitive city”

A cidade sensível à água<sup>9</sup> surge como uma visão holística para uma gestão integral do ciclo da água em meio urbano. Não só considera as necessidades de recursos hídricos de uma cidade, mas integra a água como parte fundamental do planeamento urbano de modo a aumentar a resiliência e melhorar a habitabilidade da mesma. Contribui para a melhorar os corpos de água, reduzir o risco de inundações e criar espaços públicos que captam, limpam e reciclam água. Defende o uso adequado da água bem como um sistema de distribuição por via de infraestruturas centralizadas e descentralizadas (WONG, et al., 2013).

<sup>9</sup> Ao longo do texto será utilizado o termo *cidade sensível à água*, como tradução do original *water sensitive city*.

Num ambiente contruído, uma gestão hídrica mais sustentável é determinada por diversos fatores como o ambiente biofísico, a ecologia, o clima, a geografia, a história, bem como as tecnologias existentes e os serviços institucionais responsáveis pela gestão da água. Deste modo, uma cidade sensível à água assenta em três pilares/princípios, que fornecem bases essenciais em termos sociais, económicos e de planeamento urbano. Os mesmos procuram otimizar a utilização de recursos hídricos em meio urbano, mitigar os impactes das mudanças climáticas bem como proteger os ecossistemas presentes na paisagem ecológica da cidade (WONG & BROWN, 2009). Os três pilares são:

- i. Cidades como bacias hidrográficas: acesso a uma diversidade de fontes de água, sustentadas por uma variedade de infraestruturas centralizada e descentralizadas;
- ii. Cidades que prestam serviços ecossistémicos: prestação de serviços de ecossistema para o ambiente contruído e natural;
- iii. Cidades que compreendem comunidades sensíveis à água: capital sociopolítico para a sustentabilidade e tomada de decisões sensíveis à água.

Em suma, uma cidade sensível à água deve demonstrar quatro aspetos: habitável, ou seja, que atende às necessidades expressas pela sociedade no contexto urbano da água (água potável, saúde pública, etc.); resiliente, que compreende capacidades de recuperar a sua estrutura ou adaptar-se a condições de fenómenos extremos (desenho urbano sensível à água); sustentável, onde as condições sociais, económicas e ecológicas atendem às necessidades hídricas (conservação dos recursos hídricos, redução da carga de poluentes, etc.); e produtiva, que seja capaz de gerar valor económico, direta ou indiretamente a partir de ações relacionadas com a água (sinergia entre indústrias através da reutilização de águas residuais, etc.) (CRCWSC, s.d.).

### 3.2.1 Cidades como bacias hidrográficas

A maioria das cidades depende apenas de recursos hídricos provenientes da captura de fontes superficiais<sup>10</sup> (incluindo escoamento pluvial) e subterrâneas, maioritariamente exteriores ao perímetro urbano. Assim, o primeiro pilar define que as cidades não devem depender exclusivamente das suas fontes naturais, que estão cada vez mais suscetíveis aos impactes das mudanças climáticas, nem dar continuidade às abordagens convencionais, tal como a construção de novas barragens, que não são o método mais eficaz. Deste modo, devem estabelecer-se abordagens mitigadoras para quebrar a dependência das cidades de chuvas regulares bem como das condições propícias à humidade do solo (lençóis de água) para captação, que atualmente garantem o abastecimento de água dos centros urbanos (WONG & BROWN, 2009).

Numa cidade sensível à água, existe uma variedade de fontes alternativas dentro do perímetro urbano, permitindo que as cidades disponham de recursos hídricos em quantidade e de qualidade a um custo mínimo com menor impacto ambiental. Uma estratégia construída em torno de uma variedade de fontes de água alternativas, o que inclui águas pluviais urbanas, provenientes das coberturas, águas residuais recicladas e água dessalinizada, sustentadas por uma variedade de infraestruturas de captação, armazenamento, tratamento e distribuição de água centralizadas e descentralizadas. Estas infraestruturas variam desde a escala da cidade, como a implementação de um circuito secundário na rede de distribuição (centralizada) para água não potável derivada de várias fontes locais (águas pluviais, escoamento dos telhados e águas residuais recicladas), até à escala do edifício onde a água é captada e tratada “*in situ*” (descentralizada), substituindo o consumo de água potável para usos como descargas de autoclismos, limpeza e irrigação de jardins e espaços públicos (WONG & BROWN, 2009).

---

<sup>10</sup> Tal como acontece em Portugal, como por exemplo, a cidade de Lisboa é abastecida por água proveniente da Albufeira de Castelo de Bode (rio Zêzere) e pela Valada do Tejo (rio Tejo). Uma pequena parte também provém de fontes subterrâneas nomeadamente dos Poços da Ota - Alenquer e das Lezírias (ADP, s.d.) (EPAL, s.d.).

Tabela 7 Síntese entre sistema centralizado e descentralizado, adaptado de (DOMÈNECH, 2011)

<b>Fator</b>	<b>Sistema centralizado</b>	<b>Sistema descentralizado</b>
<b>Escala</b>	Grande escala (urbana)	Pequena escala (edifício)
<b>Tipo de fonte</b>	Fontes de água distantes (fora do perímetro urbano) e locais	Fontes de água locais (dentro do perímetro urbano)
<b>Governança</b>	Modelo de governança <i>top-down</i>	Modelo de governança multinível
<b>Propriedade</b>	A infraestrutura de abastecimento de água e saneamento é propriedade do setor público	Os sistemas de abastecimento de água e saneamento são propriedade de privados/particulares
<b>Controlo do ciclo da água (poder)</b>	Controlado pelo setor público e / ou empresas privadas	Controlado por particulares
<b>Participação</b>	A participação pública não intervém na gestão da água	Participação pública ativa na gestão da água
<b>Consciência</b>	Os cidadãos estão alienados do ciclo da água	Cidadãos mais conscientes do ciclo da água
<b>Custos</b>	Altamente subsidiado	Recuperação total de custos
<b>Qualidade da água</b>	Água com elevado padrão de qualidade para todos os usos	Os padrões de qualidade da água diferem consoante os usos
<b>Riscos para a saúde</b>	Os riscos para a saúde são muito controlados	A gestão de risco por parte dos indivíduos é necessária
<b>Impactes ambientais</b>	Impactes significativos	Impactes reduzidos
<b>Conflitos sociais</b>	A construção de barragens e as transferências de água geralmente dão origem a conflitos sociais entre as regiões	Os conflitos sociais são menos prováveis
<b>Capacidade de resiliência</b>	Capacidade de adaptação limitada a situações de fenómenos extremos	Maior capacidade de adaptação a diferentes situações

### 3.2.1.1 “Net-Zero Water”

O consumo de recursos limitados dentro do setor da construção leva à necessidade da implementação de estratégias integradas para a gestão de entradas e saídas nos edifícios, de forma a amortecer a pressão sobre o meio ambiente. Os edifícios “net zero” enfatizam o equilíbrio entre o consumo e a produção de recursos resultando em estruturas não só eficientes, mas potencialmente regenerativas.

Apesar deste conceito estar sobretudo ligado ao uso de energia, a estrutura “net-zero” também é relevante para a gestão da água no objeto contruído (JOUSTR & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014). Começam a surgir as primeiras abordagens deste conceito como aplicação à

gestão dos recursos hídricos, sendo primordialmente implementadas como requisito pelo programa de certificação *Live Building Challenge* (LBC) (LBC, 2019) e pelo projeto piloto Army Net Zero (U.S.Army, s.d.), também já adaptadas ao programa de certificação *LEED Zero* (USGBC, 2020).

Uma avaliação “*net-zero water*” pode compreender várias escalas hidrológicas (Fig.10): os circuitos de água dentro de um edifício criam um ciclo interno exclusivo do objeto construído; a estrutura física do edifício compreende as áreas circundantes do lote, o que expande o limite hidrológico; as infraestruturas de abastecimento e saneamento conectam o edifício ao ciclo urbano da água, em que a rede municipal depende de fontes de água superficiais e subterrâneas. Deste modo, todos os ciclos de água são intrínsecos ao ambiente natural, assim um edifício, como um sistema completo e componente do ciclo hidrológico total, afeta significativamente a manipulação e a distribuição dos recursos hídricos (JOUSTRA & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014).

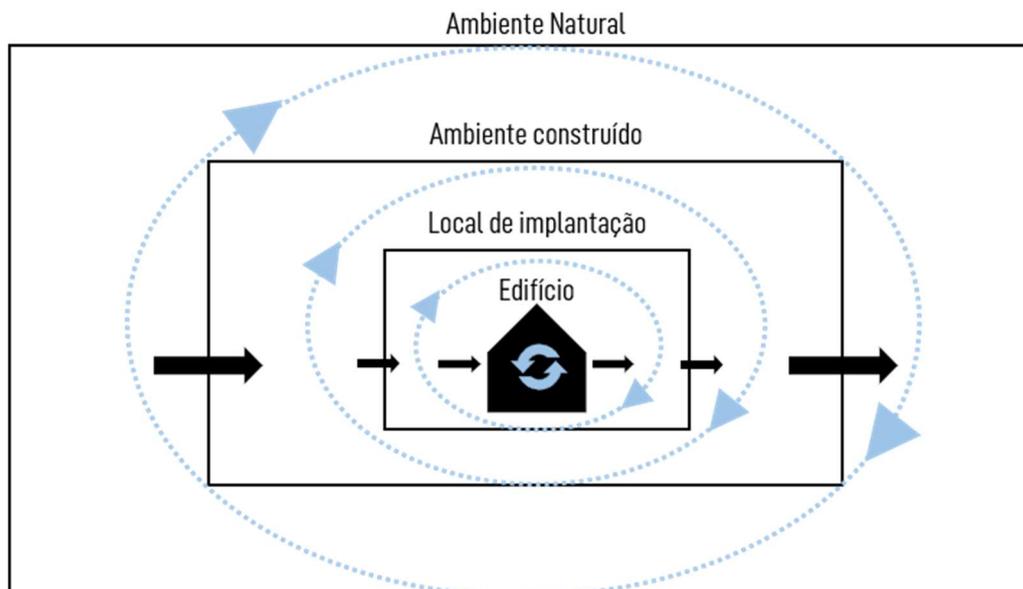


Figura 10 Limites dos ciclos hidrológico em função do objeto construído (JOUSTRA & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014)

Os diferentes limites podem assumir as seguintes terminologias:

- Zero Building Water

O edifício deve considerar todas as necessidades de água, com recurso a fontes de água alternativas dentro dos limites do local da construção, ou seja, implementar sistemas descentralizados. Como tal, a dependência de águas pluviais requer armazenamento, de forma a maximizar o aproveitamento em eventos periódicos de precipitação, garantindo a utilização da mesma durante os restantes dias do ano. Também deve ser implementado um sistema de reciclagem de águas residuais, para prolongar o tempo de permanência da água no sistema predial, criando um ciclo de água fechado, de modo a limitar a quantidade de fontes externas de água (JOUSTRA & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014).

- Net-Zero Building Water

Expande o limite de forma a incluir a infraestrutura urbana, ou seja, a água precipitada dentro dos limites do lote, que retorna à bacia hidrográfica local é considerada água produzida. Assim, a precipitação compensa o consumo proveniente da rede de distribuição municipal. No entanto, alcançar o equilíbrio entre as entradas e as saídas, exige que os locais de origem e final da água estejam dentro da mesma bacia hidrográfica; além disso, devem ser consideradas as perdas da rede de distribuição (JOUSTRA & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014).

- Life-Cycle Zero Water:

Como referido no capítulo anterior (2.3 Pegada hídrica de um edifício), os consumos indiretos de um edifício, nomeadamente a água incorporada nos materiais, podem alcançar valores bastantes superiores aos consumos diretos na fase de operação do edifício. Como tal, a água incorporada ao longo do ciclo de vida de um edifício, deve ser contabilizada de forma a compensar o consumo, com a produção de água “*in situ*” para atingir um balanço hídrico (JOUSTRA & YEH, Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings, 2014).

- Net-Positive Water

Este limite estende-se de modo a compreender um equilíbrio quantitativo, sendo que a quantidade de água que entra é superior à quantidade de água que sai. Para atingir este objetivo, deve considerar-se também um equilíbrio qualitativo, ou seja,

as descargas de água devem ser tratadas de forma a não prejudicar a saúde dos corpos de água do meio receptor, sendo que alterar os locais de origem e de descarga, ou consumir e devolver a água em períodos diferentes, origina um desequilíbrio no meio natural. Uma gestão da água em termos de quantidade, qualidade, espaço e tempo, contribui para o aumento da sustentabilidade, resiliência e capacidade de recarga dos ambientes naturais e urbanos (JOUSTRA & YEH, Framework for net-zero and net-positive building water cycle management, 2015).

Um edifício com uma abordagem “*net zero water*” é projetado de forma a: minimizar o consumo total de água; maximizar as fontes de água alternativas; e reduzir as descargas de águas residuais do edifício, de modo a devolver a água à fonte original. A implementação destas estratégias tem como objetivo preservar a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos naturais de forma a alcançar um balanço hídrico equilibrado entre o objeto contruído e o ambiente natural. Ou seja, o edifício compensa completamente o consumo com água de fontes alternativas em conjunto com a água restituída à fonte original, deste modo o alcance das premissas “*net zero water*” pode ser representado pela seguinte expressão (FEMP, 2017) (USGBC, 2020):

$$\text{Uso total de água} = \text{Água de fontes alternativas} + \text{Água devolvida}$$

O uso total de água refere-se à quantidade de água consumida dentro dos limites de um edifício, proveniente de todas as fontes (potável e não potável, incluindo fontes alternativas) ao longo de um ano. O uso alternativo de água é a quantidade de água consumida dentro dos limites de um edifício a partir de fontes alternativas sustentáveis. A água devolvida à sua fonte original é a quantidade de água coletada dos sistemas prediais, o que inclui a água da chuva que é armazenada e infiltrada por meio de infraestrutura verde e água residual tratada, sendo devolvidas à bacia hidrográfica ou aquífero local, por meio de sistemas descentralizados. Quando a soma das quantidades de água de fontes alternativas é

igual ou superior ao uso total de água, então o edifício é considerado “*net-zero water*” (FEMP, 2017).

Em suma, um edifício que compreenda uma estratégia “*net-positive water*” requer que a totalidade da água a utilizar no edifício provenha da captação de águas pluviais ou outras fontes alternativas, em circuito fechado e/ou através de sistemas de reciclagem de águas residuais, que devem ser tratadas sem recurso a produtos químicos. O uso e a libertação de água devem funcionar em harmonia com os fluxos naturais de água local e das áreas envolventes, pelo que todas as descargas de águas pluviais, águas cinzentas e águas negras devem ser tratadas “*in situ*”, sendo que parte das mesmas devem ser restituídas ao ambiente natural cumprindo os padrões de qualidade, de forma a contribuir para a recarga dos corpos de água circundantes (LBC, 2019).

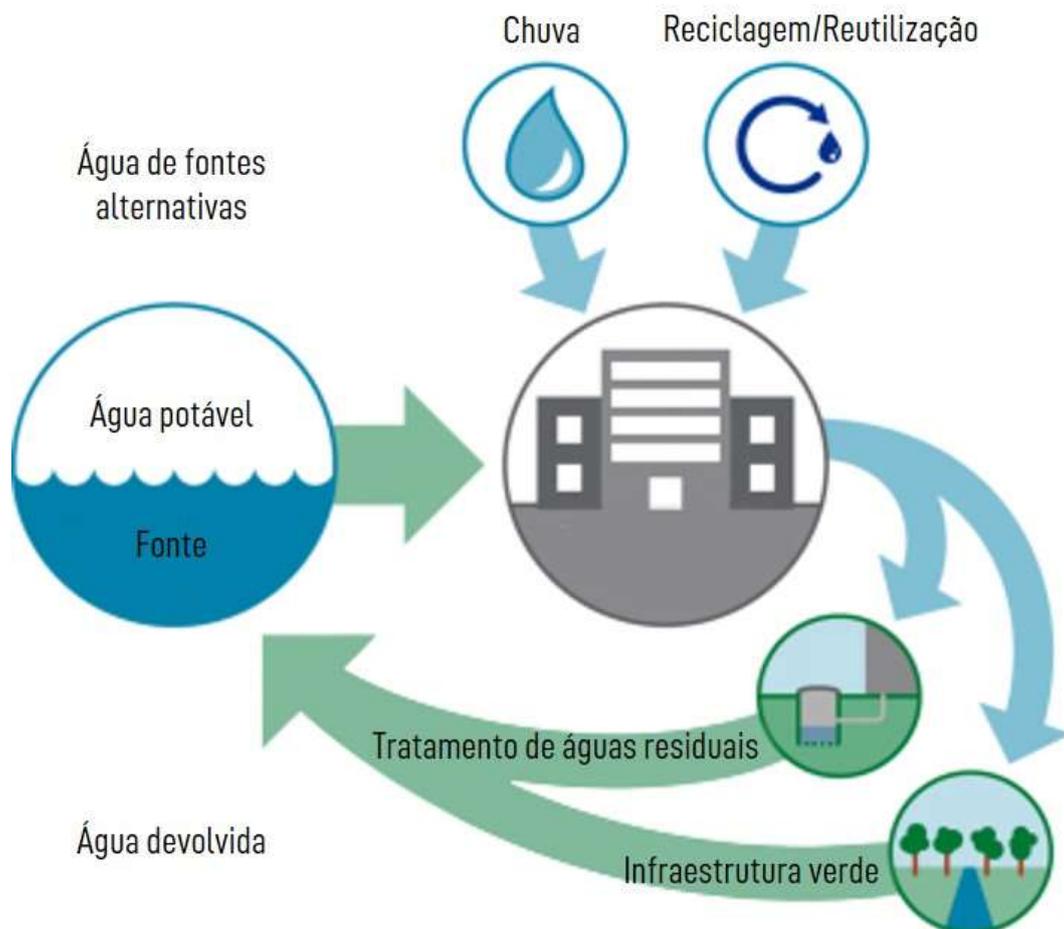


Figura 11 Esquema conceptual “net-zero water”

### 3.2.2 Cidades que prestam serviços ecossistêmicos

O processo de urbanização, que inclui a alteração do uso do solo, diminuição de áreas verdes, aumento de áreas impermeáveis, densidade de edificações e crescimento populacional, em conjunto com as mudanças climáticas, alterou significativamente as capacidades do ambiente natural fornecer serviços de ecossistema que contribuem para o bem-estar das comunidades.

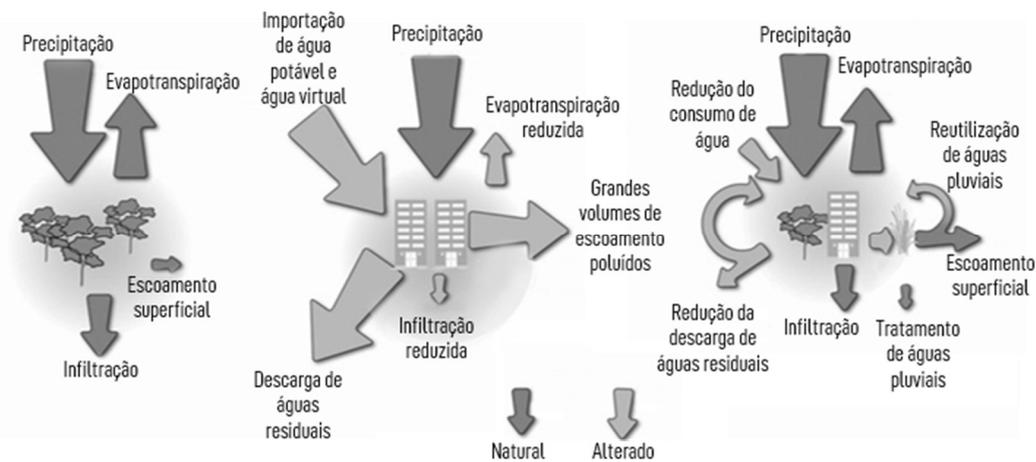


Figura 12 Ciclo hidrológico natural, ciclo hidrológico urbano convencional e ciclo hidrológico urbano sustentável

Muitos dos impactos da urbanização sobre os ecossistemas estão relacionados com as alterações ao ciclo hidrológico natural; com a ausência de áreas permeáveis (principalmente vegetação), a infiltração de água precipitada é reduzida, o que altera o equilíbrio resultante da evapotranspiração para a atmosfera da humidade previamente infiltrada no solo. A redução destes processos contribui para tornar as cidades mais quentes pela concentração de energia radiante não dissipada. Ainda assim, as superfícies impermeáveis e os sistemas convencionais de drenagem pluvial direcionam as águas rapidamente, provocando um aumento do volume de água (caudal de ponta) e consequentemente o risco de inundação. Estas oscilações de fluxos repentinos influenciam sobretudo a recarga dos aquíferos subterrâneos, na deformação dos canais, na degradação da qualidade da água (devido à concentração de poluentes que são arrastados) e consequentemente na

redução de biodiversidade nos corpos de água recetores (WONG & BROWN, 2009).

Para tal, a conceção de cidades para enfrentar esses desafios exige o repensar da abordagem filosófica convencional de comunidades urbanas, restituindo os ecossistemas e ambientes naturais que se encontram em decadência (KARAMOUZ, MORIDI, & NAZIF, 2010). Este segundo pilar relacionado com os serviços dos ecossistemas, define que as futuras paisagens urbanas devem ser reforçadas com uma compreensão do funcionamento ecológico e que captem as essências da gestão sustentável dos recursos hídricos através do desenho urbano sensível à água<sup>11</sup> (WONG, et al., 2013).

Uma paisagem ecológica nos grandes centros urbanos é fundamental para mitigar os impactes das mudanças climáticas nos ambientes aquáticos bem como preservar e restabelecer a biodiversidade urbana; para tal, a criação de espaço público como ambientes naturais permite novas paisagens com funções ecológicas intrínsecas à sociedade e ao meio ambiente. Para além de fornecer comodidades sociais, os ecossistemas terrestres e aquáticos (naturais ou artificiais) proporcionam: a melhoria da qualidade da água por meio da retenção e filtração através de processos naturais; o amortecimento do escoamento superficial, reduzindo o caudal de ponta; a redução do efeito de ilha de calor e melhoria do conforto térmico através da implementação de estruturas verdes (evapotranspiração); a melhoria da qualidade do ar, reduzindo os níveis de CO<sub>2</sub> (WONG & BROWN, 2009).

### **3.2.2.1 “*Water Sensitive Urban Design*”**

O Desenho Urbano Sensível à Água (WSUD) integra o planeamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo da água natural, garantindo que a gestão da água urbana seja sensível aos processos hidrológicos e ecológicos naturais (WONG, et al., 2013).

---

<sup>11</sup> O termo adotado ao longo do presente trabalho é o Desenho Urbano Sensível à Água, traduzido do original *Water Sensitive Urban Design*.

A sua terminologia compreende duas partes: “desenho urbano” e “sensível à água”. O “desenho urbano” está associado ao planejamento urbano e ao projeto arquitetônico, cujas intervenções não estão diretamente associadas ao campo dos recursos hídricos, mas interagem ou têm implicações nos impactos ambientais sobre o solo e a água. As palavras “sensível à água” definem um novo paradigma na gestão integrada do ciclo urbano da água, que relaciona as ciências sociais e físicas, envolvendo várias disciplinas de engenharia e ciências ambientais associadas à prestação de serviços de água, incluindo a proteção e a conservação dos ecossistemas aquáticos (WONG T. H., 2007).

O Desenho Urbano Sensível à água tem como estratégias:

- a gestão integrada dos três fluxos urbanos de água: água potável, águas residuais e águas pluviais;
- a integração do fator escala na gestão da água urbana: lote, quarteirão, cidade, sub-bacia; bacia;
- a integração da gestão sustentável das águas urbanas na forma construída, ou seja, incorporada na arquitetura dos edifícios, arquitetura paisagística e arte pública;
- a integração de iniciativas estruturais e não estruturais de gestão sustentável das águas urbanas.

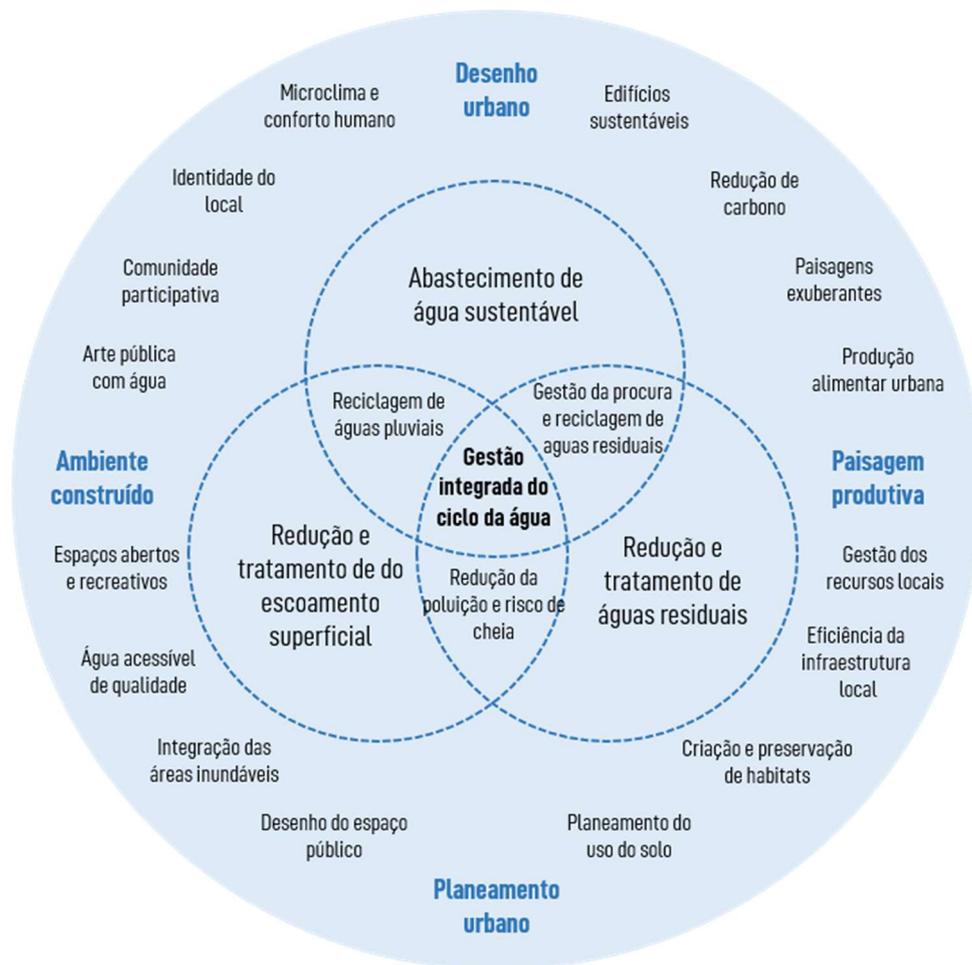


Figura 13 Esquema do conceito do WSUD

O WSUD combina ideologicamente medidas de carácter não estrutural e estrutural<sup>12</sup>. As não estruturais são definidas como medidas preventivas e corretivas, através da implementação de políticas que suportem o funcionamento sustentável das medidas estruturais, através da elaboração de normas e regulamentos<sup>13</sup> (WONG T. H., 2007).

As medidas estruturais referem-se aos elementos tecnológicos que devem ser incorporados no projeto urbano (WSUDG, 2017). Deste modo, devem integrar uma variedade de tecnologias, designadas por técnicas de controlo na origem, cujo

<sup>12</sup> O presente ensaio tem como foco as medidas de dimensão estrutural, deste modo são apenas referenciadas sinteticamente as medidas não estruturais.

<sup>13</sup> Como por exemplo: planos diretores, planos de urbanização (uso do solo), planos de proteção, planos de emergência, mapeamento de áreas inundáveis, entre outros.

objetivo principal é promover a detenção, retenção e a infiltração das águas pluviais, através da redução de áreas impermeáveis a montante de forma a atenuar os caudais de ponta (GONÇALVES, 2016). As tecnologias<sup>14</sup> mais utilizadas para a gestão de águas pluviais são: bacias de detenção, bacias de retenção, sistemas de bio retenção, sistemas de infiltração, zonas húmidas, valas com coberto vegetal, pavimentos permeáveis e coberturas verdes (Melbourne Water, 2005).

Estes elementos devem ser projetados de forma a integrar uma cadeia de tratamento (*'treatment train'*), ou seja, uma sequência de múltiplos tratamentos de água que são projetados para atender às necessidades de um determinado ambiente, a fim de tratar a quantidade de água, ou seja, onde o sistema é usado para deter os volumes de escoamento e a sua velocidade; e a qualidade da água através da remoção de poluentes, sedimentos e nutrientes antes de ser encaminhada para o meio natural (WSUDG, 2017).

Os elementos de tratamento são classificados como:

- Primário: visam remover lixo/matéria orgânica e sedimentos de maiores dimensões, através de processos de sedimentação;
- Secundário: visam remover partículas de menores dimensões, através de processos de sedimentação e filtração;
- Terciário: visam remover nutrientes, metais pesados e óleos, através de processos de sedimentação, filtração e adsorção.

---

<sup>14</sup> As tecnologias aqui enumeradas são abordadas individualmente no Capítulo 4.

Tabela 8 Atributos dos vários elementos da cadeia tratamento (WSUDG, 2017) (BALLARD, et al., 2015)

Elemento WSUD	Localização na cadeia de tratamento	Aplicação	Qualidade do tratamento	Redução do volume de escoamento	Atenuação do caudal de ponta	Custos de construção	Custos de manutenção
Bacias de retenção/Lagos	Primário/Secundário/Terciário	Espaços abertos; parques urbanos, praças	E	B	E	B	M
Bacias de detenção	Primário/Secundário/Terciário	Espaços abertos; parques urbanos, praças	M	B	E	B	B
Sistemas de bio retenção	Primário/Secundário/Terciário*	Áreas com declives pouco acentuados**, ruas; parques de estacionamento	E	B	M	M	M
Sistemas de infiltração	Secundário*		E	E	E	M	M
Pântanos construídos	Secundário/Terciário	Parques urbanos, praças, ruas	E	B	E	E	M
Valas vegetais	Primário/Secundário	Ruas	E	B		B	B
Pavimentos permeáveis e porosos	Controlo na origem/Primário	Parques de estacionamento, vias, ciclovias, passeios, praças	B	M	M	M	M
Coberturas verdes	Controlo na origem/Primário	Edifícios	E	M	M	M	M
Captação de águas pluviais	Controlo na origem	Edifícios	B	E	E	M	M

E- Elevado

M- Médio

B- Baixo

\* pode ser necessária a implementação de um sistema de pré filtração

\*\* inclinação não superior a 5 %

### 3.2.3 Cidades que compreendem comunidades sensíveis à água

Nos últimos anos, a mudança de um paradigma cartesiano (racional) para o holístico (comunicativo) proporcionou alterações no conceito da gestão de água em

meio urbano. No paradigma cartesiano, os responsáveis políticos veem as tecnologias como soluções práticas para resolver os problemas e a falta de informação; também os responsáveis pelo planeamento urbano procuram colmatar as lacunas com a construção de infraestruturas de abastecimento e saneamento. A visão holística requer o desenvolvimento de ferramentas e métodos que se adaptam e consideram os aspetos não técnicos do planeamento, como fatores sociais, culturais e ambientais que contribuem significativamente para a perceção do estado atual da infraestrutura hídrica local (KARAMOUZ, MORIDI, & NAZIF, 2010).

O terceiro pilar define que a transição para um novo método de gestão de recursos hídricos em meio urbano exige a construção de capital sociopolítico para a sustentabilidade. Deste modo, a evolução para uma cidade sensível à água exige atenção política em relação à compreensão das estratégias de governança atuais; identificação de métodos de apoio para tomada de decisões futuras, bem como a formulação de novas políticas; e financiamento para novas infraestruturas de águas pluviais (WONG, et al., 2013).

Tabela 9 Síntese das diferenças entre os sistemas de gestão de água atualmente implementados e os sistemas de gestão para uma cidade sensível à água, adaptado de (KEATH & BROWN, 2009)

<b>Atributos</b>	<b>Metodologia convencional</b>	<b>Metodologia sensível à água</b>
<b>Limites do sistema</b>	Abastecimento de água, saneamento e controlo de inundações para o crescimento económico e populacional, bem como proteção da saúde pública	Múltiplos propósitos para a água considerados a longo prazo, incluindo a saúde dos corpos de água e outras necessidades setoriais, ou seja, transporte, recreação / comodidade, microclima, energia, produção de alimentos, etc.
<b>Abordagem de gestão</b>	Fragmentação e otimização de componentes individuais do ciclo da água	Gestão adaptativa, integrada e sustentável do ciclo integral da água (incluindo o uso da terra) projetada para garantir um nível elevado de resiliência às incertezas futuras do clima e às necessidades dos serviços de água, e melhorar a habitabilidade dos meios urbanos.
<b>Especialidade</b>	Disciplinas técnicas e funcionais, com orçamento limitado	Aprendizagem interdisciplinar de múltiplas partes interessadas nas esferas sociais, técnicas, económicas, de design, ecológicas, etc.

<b>Serviços de distribuição</b>	Centralizado, linear e com base predominantemente tecnológica e económica	Soluções diversificadas e flexíveis a várias escalas através de um conjunto de abordagens (técnicas, sociais, económicas, ecológicas, etc.)
<b>Papel da comunidade</b>	Água administrada pelo governo em nome das comunidades	Co - gestão da água entre governo, empresas e comunidades
<b>Riscos</b>	Risco regulado e controlado pelo governo	Risco compartilhado e diversificado por meio de instrumentos públicos e privados

Para que as estratégias dos princípios de cidades como bacias hidrográficas e cidades que prestam serviços ecossistémicos possam ser implementadas, é necessário que os responsáveis políticos permitam uma administração da água de maneira eficiente, equitativa e ambientalmente correta (KARAMOUZ, MORIDI, & NAZIF, 2010). A participação e a consciencialização da comunidade são fundamentais tanto para a definição do problema da água em meio urbano como para a tomada de decisões na elaboração de estratégias (WONG, et al., 2013). Com uma cogestão entre o governo e a comunidade, os cidadãos vão alterar os seus comportamentos, como contribuir para conservar os recursos hídricos, receptividade à implementação de legislação para uma gestão eficiente da água e disponibilidade para pagar pelos novos serviços.

Com a formulação de novas políticas, uma das maiores oportunidades para promover resultados sustentáveis para a gestão integral do ciclo urbano da água ocorre na fase de elaboração de planos/estratégias no processo de planeamento, nomeadamente na conceção de planos diretores municipais. Uma equipa de atores multidisciplinar permite sinergias entre os vários setores urbanos, permitindo a aplicação de soluções inovadoras e sustentáveis. Existem “dependências entre a água e o planeamento urbano, a arquitetura, o paisagismo, a energia, os resíduos e os serviços de transporte: os serviços de água requerem energia, mas a água urbana também pode ser utilizada para produzir energia a nível local; os espaços verdes urbanos requerem água, que pode ser fornecida através da recolha de água pluvial ou pela reutilização de águas residuais tratadas para reciclar nutrientes em áreas com vegetação” (IWA, s.d.).



Figura 14 Esquema conceptual relativo ao modelo de transição desenvolvido por Brown num estudo sobre a cidade de Melbourne para progredir para uma cidade sensível á água

## 4 Sistemas para a gestão de água à escala urbana e do edificado

Neste capítulo são apresentadas as partes que compõem um desenho urbano sensível à água e estratégias de aproveitamento de água de fontes alternativas, com o intuito de compreender o funcionamento e a aplicabilidade das mesmas.

### 4.1 Bacias de retenção e detenção

As bacias de retenção são estruturas que permitem a regularização do escoamento pluvial afluente através do amortecimento dos caudais de ponta, e armazenam o excesso de água de forma a evitar inundações. Dependendo do tipo de bacia, podem ainda assumir funções qualitativas: neste caso, o armazenamento permanente das águas permite melhorar a qualidade da água através de processos de sedimentação dos sólidos em suspensão. Para além dos aspetos quantitativos e qualitativos, permitem ainda resolver problemas relacionados com a ausência de pluviosidade, ou seja, em períodos de seca a capacidade de armazenamento pode servir como uma reserva de água para diversos fins, como irrigação dos espaços públicos e combate a incêndios.

As bacias de retenção podem classificar-se de acordo com (LOURENÇO, 2014) :

- A sua localização em relação ao coletor ou ao canal de drenagem em: bacias em série (“*on-line*”) ou bacias em paralelo (“*off-line*”);
- A sua implantação em relação à superfície do solo em: bacias subterrâneas ou bacias superficiais.

As bacias de retenção superficiais podem classificar-se ainda de acordo com:

- o seu comportamento hidráulico em bacias a seco (bacias de detenção) ou bacias com nível de água permanente.

As bacias de detenção são depressões paisagísticas, normalmente de coberto vegetal, que contêm água após eventos de precipitação, cuja função principal é o amortecimento do caudal de ponta. Não sendo uma solução para tratamento, deve ser aplicada no início de uma cadeia de tratamento, de forma a armazenar a água

temporariamente antes de entrar no sistema, ou no fim da cadeia antes dos processos de infiltração. Estas estruturas podem ser concebidas como espaços multifuncionais principalmente para fins recreativos, como campos de jogos, anfiteatros, etc., contribuindo para a valorização da malha urbana (BALLARD, et al., 2015).



Figura 15 Exemplo de uma bacia de detenção (susdrain, s.d.)

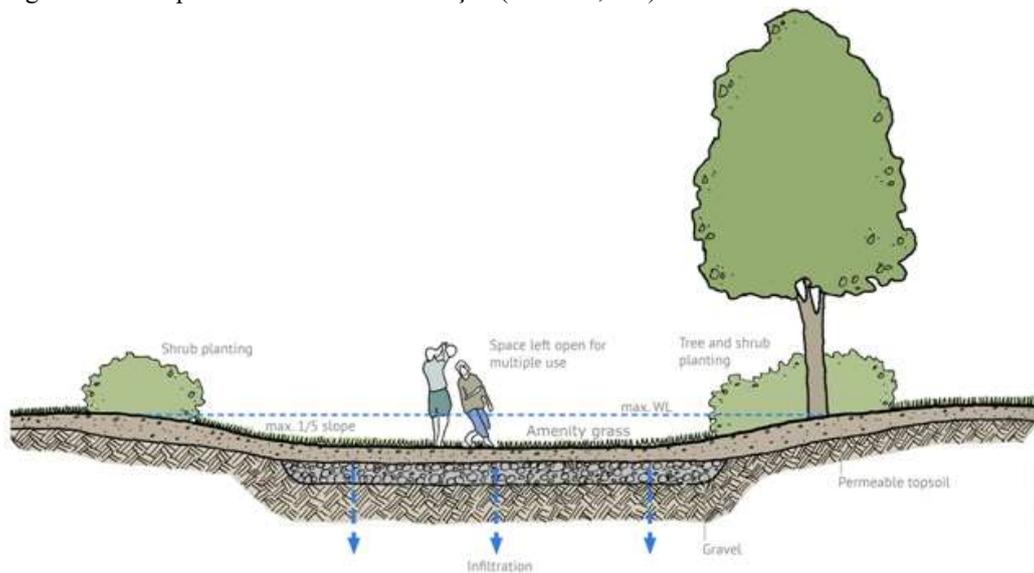


Figura 16 Perfil tipo de uma bacia de detenção (susdrain, s.d.)

As bacias de retenção com nível de água permanente (ou lagos/lagoas) são concebidas para armazenarem a água permanentemente, mesmo em períodos secos de longa duração, permitindo não só controlar a quantidade como a qualidade da água. O volume de escoamento de cada evento de precipitação é tratado na bacia devido ao tempo de retenção, removendo sólidos em suspensão, metais pesados e excesso de nutrientes, deste modo pode ser utilizado como tratamento primário, secundário e terciário na cadeia de tratamento. Os corpos de água permanentes podem oferecer ainda serviços ecossistémicos, tornando-se habitats para algumas espécies, bem como benefícios estéticos atenuando a densidade urbanística da paisagem urbana (Melbourne Water, 2005).



Figura 17 Bacia de retenção para a mitigação do risco de inundação em Guimarães (CMG, s.d.)

Quando não é possível implementar bacias superficiais, em centros urbanos altamente densificados, recorre-se a bacias subterrâneas normalmente em betão armado, colocadas subjacentes a espaços públicos (como parques de estacionamento, praças, etc.) (LOURENÇO, 2014).

O dimensionamento das bacias depende sobretudo da localização em relação ao coletor ou ao canal de drenagem. Ou seja, uma bacia em série interseta

o coletor, logo deve ser dimensionada para reter a totalidade do escoamento, ao contrário das bacias em paralelo que estão adjacentes ao coletor, logo só necessitam de albergar uma parte do escoamento (LOURENÇO, 2014).

Segundo o Artigo 178º da Secção II Bacias de retenção do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), uma bacia de retenção é constituída por quatro elementos:

- Corpo da bacia, que inclui o fundo e as bermas ou taludes laterais;
- Dispositivos de descarga em condições normais, que asseguram a regularização do caudal efluente (o que inclui coletores, válvulas etc.) e, no caso das bacias com água permanente, asseguram ainda o nível mínimo a montante;
- Dispositivos de segurança, são elementos de descarga de superfície para garantir o escoamento em condições excepcionais (diques fusíveis);
- Descarga de fundo, que permite esvaziar por completo a bacia em casos de limpeza e manutenção.

Se uma bacia com nível de água permanente for projetada para servir grandes áreas deve ser incorporado um sistema de pré filtragem a montante, nomeadamente uma bacia de sedimentação, retendo os sólidos de maior dimensão melhorando a qualidade da água. A bacia de sedimentação deve corresponder a 10% da área total da bacia de retenção e pode ser uma bacia separada ou formada por um murete de pedras/gabiões no início da bacia de retenção (LOURENÇO, 2014).

#### **4.2 Sistemas de bio retenção**

Os sistemas de bio retenção são depressões pouco profundas na paisagem urbana, projetadas com a finalidade de captar e filtrar as águas pluviais. A água da chuva quando encaminhada para um sistema de bio retenção é tratada através de um meio filtrante composto por areia argilosa e, à medida que a água percola os poluentes são retidos por processos de filtração, adsorção e processos biológicos, removendo desde lixo orgânico, metais pesados e hidrocarbonetos. Por

consequente, a água tratada é descarregada para os lençóis freáticos ou é transportada por meio de tubos perfurados para sistemas de drenagem a jusante (BALLARD, et al., 2015).

Este tipo de sistema é bastante flexível e pode assumir diversas configurações formais como valas de bio retenção, canteiros de bio retenção e pequenas bacias de bio retenção (“jardins de chuva”). Estas possibilidades permitem que estes sistemas possam ser completamente integrados numa variedade de espaços, como lotes, logradouros, praças, passeios, separadores de vias, entre outros (BALLARD, et al., 2015).

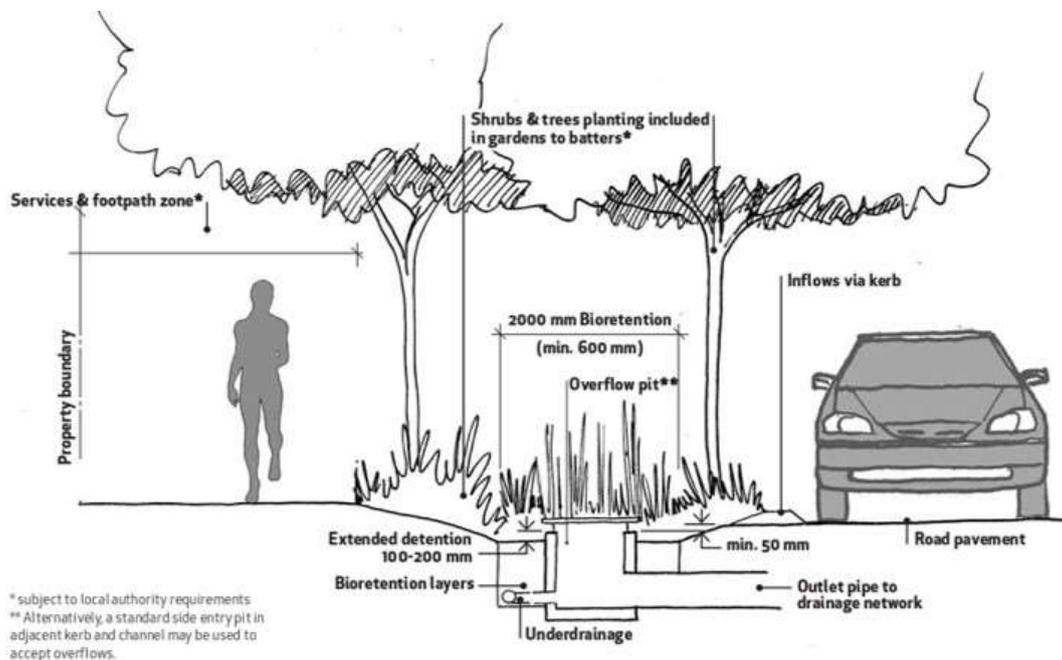


Figura 18 Seção transversal esquemática de um sistema de bio retenção na paisagem urbana (Water by Design, 2014)

Os sistemas de bio retenção são constituídos por (BALLARD, et al., 2015) (Water by Design, 2014):

- Vegetação: camada superior com uma diversidade de plantas que retêm a água;

- Meio filtrante: mistura de areia e argila que sustenta a vegetação e também remove os poluentes das águas pluviais;
- Camada de transição: formada por materiais granulares, tendo como finalidade reter as partículas de menores dimensões;
- Camada de armazenamento (opcional): permite reter a água por longos períodos, de forma a irrigar as plantas ou para reutilização;
- Camada de drenagem: normalmente composta por brita e tubos de drenagem.

A flexibilidade destes sistemas permite que a descarga da água tratada, possa ser realizada de quatro formas diferentes (Figura 19). No primeiro tipo, é aplicada uma membrana impermeável na base do sistema garantindo que as camadas adjacentes ao meio filtrante fiquem saturadas, proporcionando o armazenamento de água e permitindo a irrigação durante períodos secos. No segundo tipo, também é aplicada uma membrana impermeável, mas a drenagem da água é realizada através de tubos de drenagem subterrâneos, pelo que o sistema não tem uma camada de armazenamento. O terceiro tipo possui tubos perfurados, mas não uma membrana impermeável, possibilitando a infiltração também no solo circundante. O quarto tipo não dispõe de tubagem de drenagem, permitindo a infiltração total das águas pluviais tratadas no solo (Water by Design, 2014).

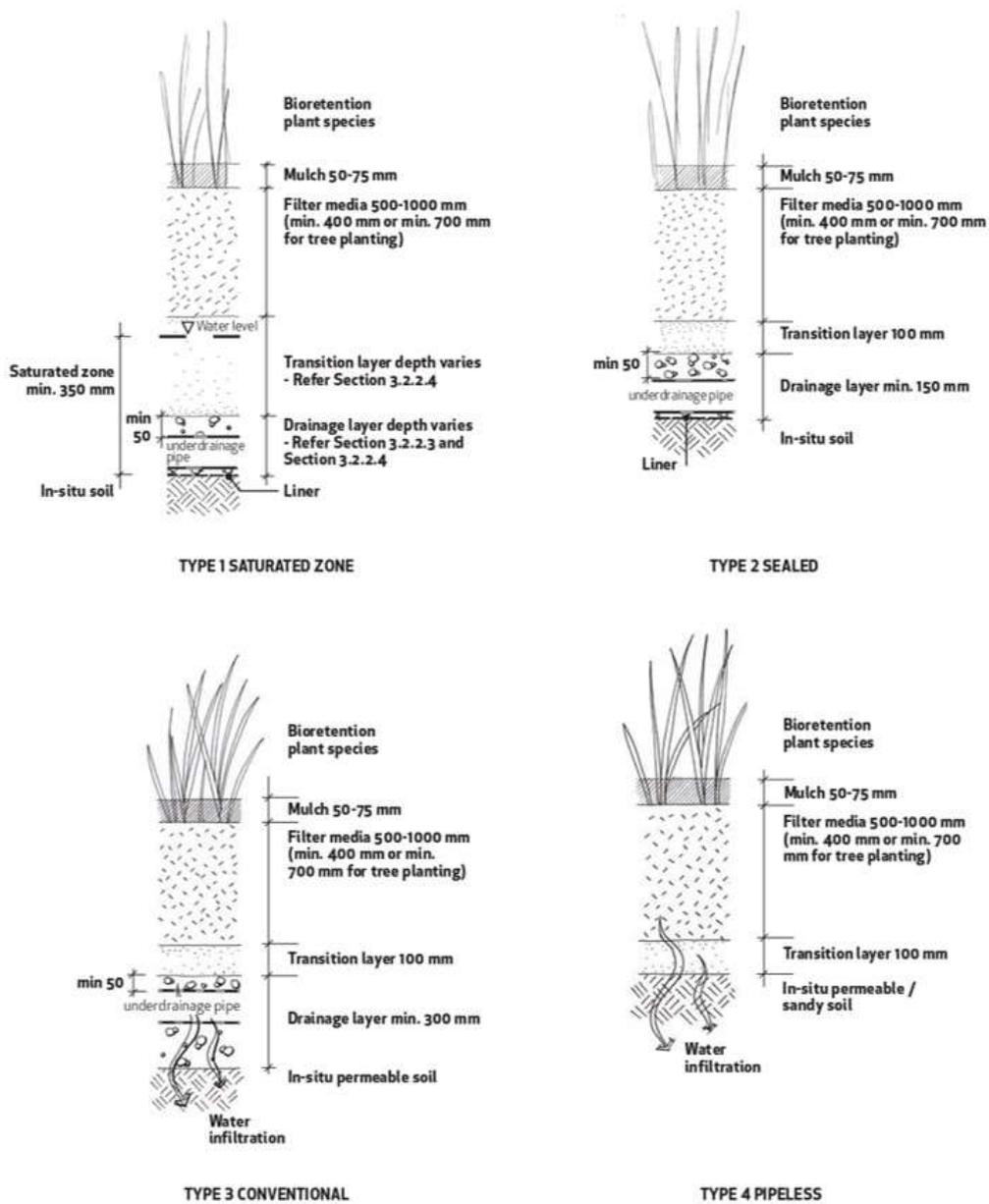


Figura 19 Perfis com a tipologia de drenagem de sistemas de bio retenção (Water by Design, 2014)

### 4.3 Sistemas de infiltração

Os sistemas de infiltração contribuem para reduzir os volumes de escoamento, no entanto têm como objetivo principal promover a recarga dos aquíferos subterrâneos por meio da infiltração. A quantidade de água que pode ser infiltrada depende essencialmente da permeabilidade (capacidade de infiltração)

dos solos circundantes. Estes sistemas devem ser aplicados sempre a jusante de um sistema de tratamento terciário, de modo a evitar a poluição das águas subterrâneas (Melbourne Water, 2005).

Os dois tipos básicos de infiltração são os poços de infiltração e as trincheiras de infiltração. Ainda assim, os sistemas de bio retenção e os pavimentos permeáveis também podem ser projetados com o intuito de promover a infiltração (BALLARD, et al., 2015).

Os poços de infiltração consistem numa estrutura cilíndrica enterrada composta por anéis de betão pré-fabricados perfurados, com o fundo e as laterais preenchidas por materiais drenantes (brita) com um revestimento geotêxtil exterior. Normalmente são aplicados em edifícios habitacionais de pequena escala (BALLARD, et al., 2015).

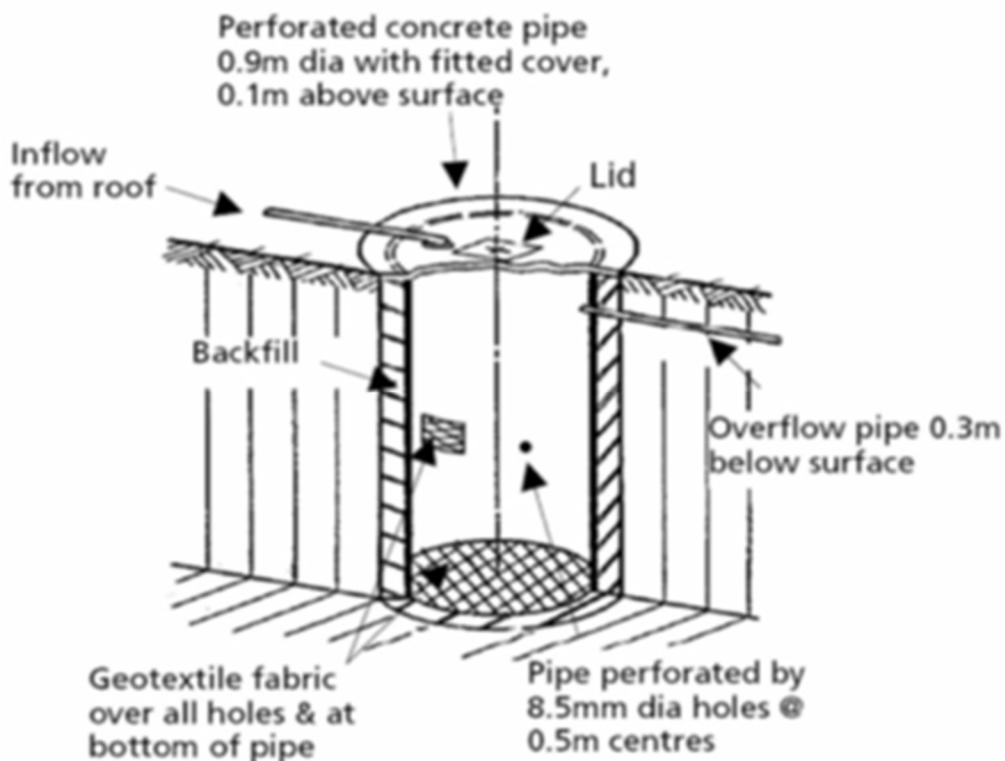


Figura 20 Representação esquemática de um poço de infiltração (RODRIGUES J. , 2017)

As trincheiras de infiltração são escavações, superficiais ou subterrâneas, longitudinais de pouca profundidade de secção retangular, normalmente preenchidas com materiais granulares, como brita, sendo revestidas por um geotêxtil. Podem ser aplicadas em áreas habitacionais, comerciais e industriais, parques de estacionamento e vias. (BALLARD, et al., 2015).

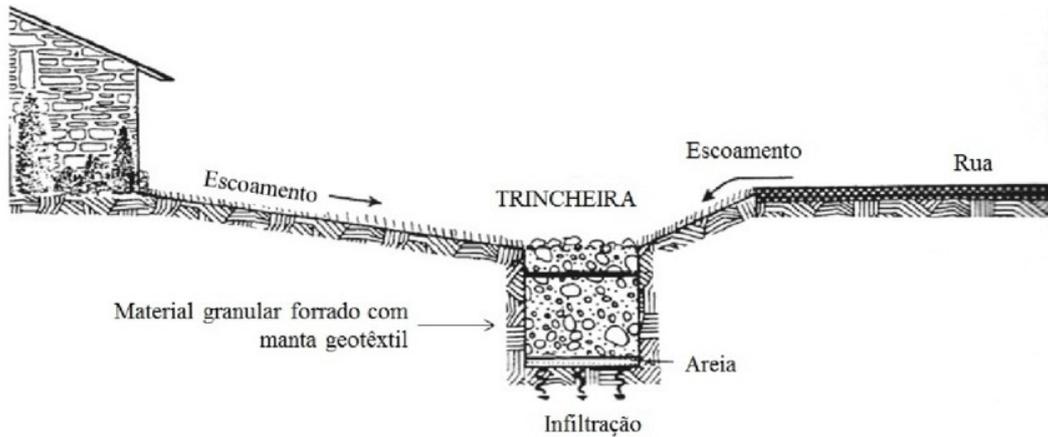


Figura 21 Secção transversal de uma trincheira de infiltração (ROSSI & GONÇALVES, 2012)

Em ambos os sistemas, a entrada da água é feita lateralmente através de uma rede de coletores ou pela superfície (direta). Também a saída da água é feita através das laterais e/ou pela base, podendo conter um dreno se saída (BALLARD, et al., 2015).

#### 4.4 Zonas húmidas

Os sistemas de zonas húmidas, também designados por pântanos construídos, são corpos de água rasos com vegetação densa, permitindo o tratamento das águas pluviais através de sedimentação, filtração e absorção biológica que removem os poluentes. Os níveis de água aumentam durante os períodos de precipitação e estas estruturas devem estar preparadas para libertar os fluxos ao longo de um período de três dias, permitindo que os processos de

tratamento, principalmente a absorção, sejam mais eficientes (Melbourne Water, 2005).

As áreas húmidas são normalmente constituídas por três elementos (RODRIGUES J. , 2017):

- uma zona de entrada, nomeadamente uma bacia de sedimentação para remover os sedimentos de maiores dimensões;
- uma zona de macrófitas, que consiste numa área com vegetação (aquática e semiaquática) abundante para remover poluentes solúveis;
- um canal de desvio de alto fluxo que permite controlar o volume de água de modo a proteger a erosão da área de macrófitas.

Estas estruturas, para além de garantirem a qualidade no meio recetor, podem ser utilizadas como uma das etapas de tratamento de águas residuais, como também podem contribuir com benefícios significativos para a comunidade, através de oportunidades recreativas (como parques urbanos, percursos pedestres, etc.), mas sobretudo fornecem habitats para animais selvagens promovendo a biodiversidade integrada na paisagem urbana (Melbourne Water, 2005).

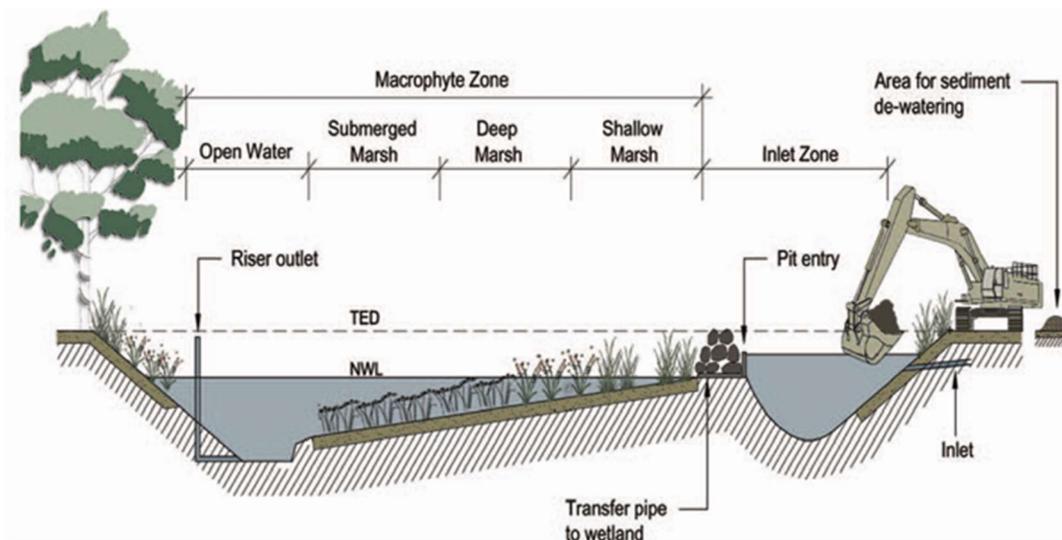


Figura 22 Seção longitudinal esquemática de um sistema de pântano construído (Melbourne Water, 2005)

#### **4.5 Valas revestidas com coberto vegetal**

As valas revestidas com coberto vegetal são canais largos de pouca profundidade, podendo ser de secção triangular, trapezoidal ou circular com a finalidade de transportar lentamente as águas pluviais para jusante, sendo uma alternativa ao convencional sistema de tubos de drenagem (Melbourne Water, 2005) (LOURENÇO, 2014).

A infiltração nos solos subjacentes e circundantes é o mecanismo pelo qual estes sistemas reduzem o volume de águas pluviais; consequentemente, o caudal de ponta atenua devido à redução no volume e ao aumento da duração do escoamento. Com a presença de vegetação, normalmente relva ou outra vegetação rasteira, e uma infiltração gradual, contribui para o aumento da qualidade das águas pluviais, com a remoção de sedimentos de grandes dimensões, sendo que estes sistemas devem ser seguidos de um elemento terciário na cadeia de tratamentos para que a água atinja os padrões de qualidade estabelecidos. Também existe a possibilidade de implementar transversalmente pequenos diques ao longo do canal, com o intuito de aumentar a capacidade de armazenamento e melhorar os processos de remoção de poluentes (Melbourne Water, 2005).

Esta solução não deve ser aplicada em zonas de declive acentuado (de forma a que o escoamento não aumente a velocidade) nem em zonas muito planas (que impossibilite o encaminhamento); deste modo pode ser aplicada junto a bermas, separadores de via ou junto a parques de estacionamento (Melbourne Water, 2005).

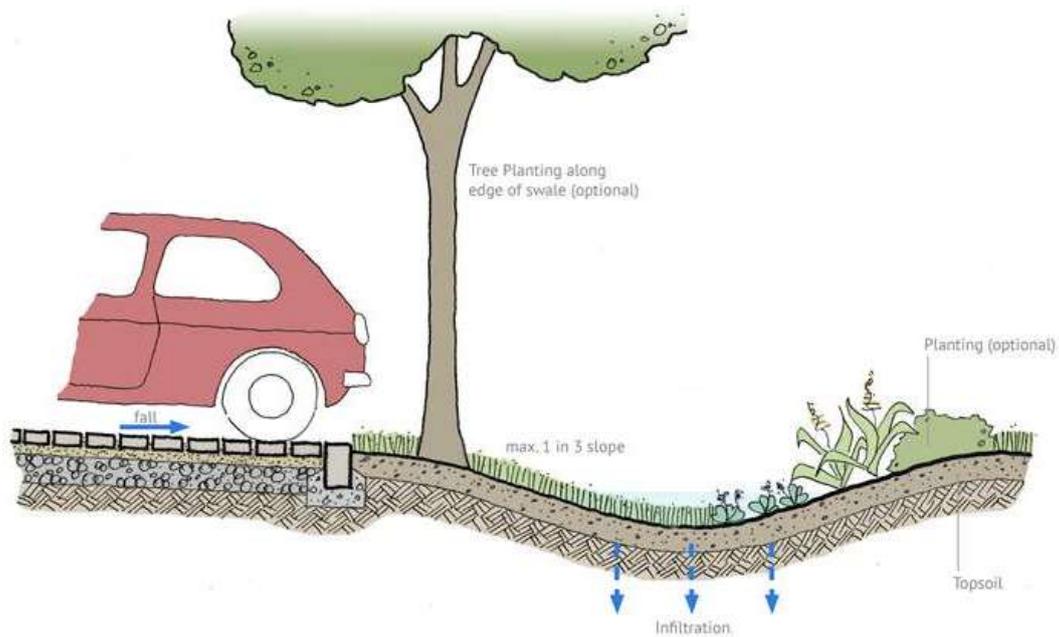


Figura 23 Esquema de uma vala com coberto vegetal

#### 4.6 Pavimentos permeáveis

Ao contrário dos pavimentos tradicionais, os pavimentos permeáveis permitem a infiltração das águas pluviais através da sua superfície até às camadas subjacentes, permitindo que a água seja armazenada temporariamente até que se infiltre naturalmente no solo ou que seja encaminhada para outro elemento de drenagem da cadeia de tratamento. Esta medida permite uma grande redução do escoamento superficial, evitando a sobrecarga dos sistemas de drenagem em meio urbano, uma vez que pode ser aplicada a uma escala proporcional à das áreas impermeáveis existentes (substituindo-as), como em parques de estacionamento, praças, passeios, ciclovias, zonas de coexistência entre outras (BALLARD, et al., 2015).

Estas superfícies podem ser designadas por pavimentos permeáveis quando a camada superficial é formada por um material impermeável, permitindo que a água pluvial se infiltre através das juntas, como blocos de betão, cerâmicos, lajetas de pedra e calçada. E por pavimentos porosos quando a infiltração da água é possível através da totalidade da sua superfície, como betão poroso, betuminoso

poroso, saibro estabilizado e grelhas de enrelvamento/inertes (BALLARD, et al., 2015).

A gestão das águas pluviais quando encaminhadas para as superfícies subjacentes pode ser feita através de dois processos: infiltração e retenção/armazenamento. Um pavimento permeável de infiltração possibilita a recarga dos aquíferos, através da infiltração direta das águas pluviais no solo. Um pavimento permeável de armazenamento contém uma membrana impermeável que permite armazenar a água pluvial, tendo como objetivo a retenção e posteriormente a libertação gradual dos fluxos armazenados para um outro elemento de drenagem ou ponto de captação específico, podendo ser utilizada para usos domésticos não potáveis, uso agrícola e industrial, entre outros (CARVALHO C. , 2015) (BALLARD, et al., 2015).

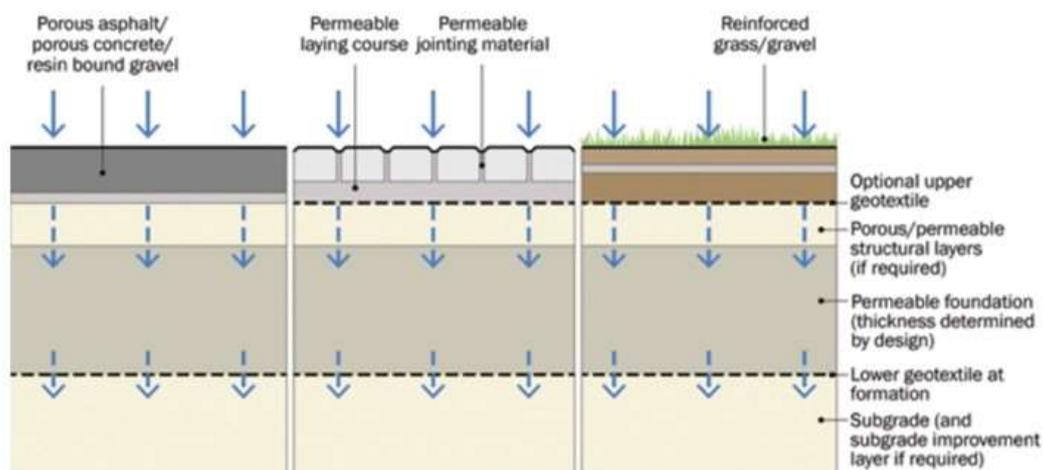


Figura 24 Pavimento que permite a infiltração (BALLARD, et al., 2015)

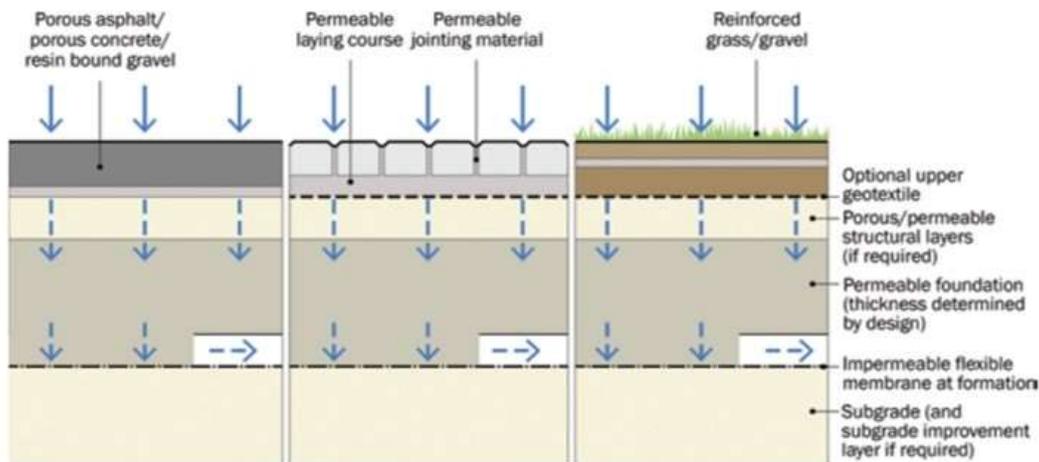


Figura 25 Pavimento que permite o armazenamento de água e encaminhar a mesma para um sistema de tratamento secundário na cadeia de tratamentos (BALLARD, et al., 2015)

Os pavimentos permeáveis/porosos são constituídos por (CARVALHO C. , 2015):

- Camada de desgaste: camada superior com capacidade de infiltração, de modo a assegurar a redução do escoamento superficial;
- Camada de regularização: tem a finalidade de servir de apoio à camada anterior;
- Camada base e sub-base (ou camada de fundação): camada normalmente constituída por materiais granulares (brita), com a finalidade de suportar as cargas de tráfego necessárias, bem como permite armazenar temporariamente a água ou infiltrá-la no solo (sub-base);
- Filtro geotêxtil: é uma membrana porosa, colocada junto ao solo natural, com a finalidade de regularizar e de filtrar partículas de pequenas dimensões;
- Membrana impermeável: normalmente é aplicada em pavimentos permeáveis destinados ao armazenamento de águas pluviais,

colocada a seguir à sub-base. Consiste numa manta de polietileno de alta densidade, de modo a impedir a infiltração de água no solo.

#### **4.7 Coberturas verdes**

As coberturas verdes são estruturas instaladas no topo dos edifícios preparadas para suportar vegetação que contribuem para a retenção e tratamento de água pluviais em meio urbano, reduzindo a sobrecarga dos sistemas de drenagem e aumentando a qualidade da água que é encaminhada para os meios recetores (BALLARD, et al., 2015).

Este sistema permite ainda outros benefícios como melhorar o desempenho térmico dos edifícios, devido ao processo de evapotranspiração que proporciona o arrefecimento das coberturas durante os meses mais quentes, opondo-se ao efeito de ilha de calor; diminui a transmissão do ruído urbano para o interior do edifício (reforço do isolamento acústico); melhora a qualidade do ar, sendo que as plantas retêm partículas poluentes, bem como através da fotossíntese reduzem o dióxido de carbono e produzem oxigénio; e ainda contribuem para a melhoria da paisagem urbana densificada como “jardins suspensos” (BALLARD, et al., 2015).

As coberturas verdes dividem-se em três tipologias (Fig.X), de acordo com o tipo de vegetação e com a espessura do substrato, em cobertura verde intensiva, semi-intensiva e extensiva, o que influencia a capacidade de retenção das mesmas (Tabela X) (RAPOSO, 2013) (BALLARD, et al., 2015).

Uma cobertura verde intensiva, também designada por jardim de cobertura, são projetadas para sustentar ambientes paisagísticos mais complexos, que promovem benefícios ambientais, o aumento da biodiversidade e também são utilizadas como áreas de lazer. Estas estruturas permitem a aplicação de plantas variadas desde arbustos, árvores e alimentos, bem como podem incluir sistemas de armazenamento de águas pluviais para efeito de irrigação. Têm normalmente um substrato mais profundo superior a 15cm (podendo atingir os 200cm, no caso de árvores de grande porte), o que exige um reforço da estrutura existente devido às cargas elevadas deste sistema (RAPOSO, 2013).

A cobertura verde extensiva corresponde a sistemas inacessíveis (exceto para manutenção) que normalmente cobrem a totalidade da área do telhado com plantas rasteiras, tolerantes à seca e de baixa manutenção, promovendo a biodiversidade a longo prazo. É considerada uma estrutura leve com uma camada de substrato até 15cm e uma camada de vegetação que não ultrapassa os 50cm (RAPOSO, 2013).

A cobertura semi-intensiva apresenta um coberto vegetal híbrido, ou seja, um misto de intensiva e extensiva, desenvolvendo-se numa camada de substrato com uma espessura entre 10cm a 25cm (RAPOSO, 2013).

As coberturas verdes são essencialmente constituídas pela adição das seguintes camadas (RAPOSO, 2013):

- Camada de vegetação: plantas em função do projeto;
- Substrato de crescimento: serve de estrutura às plantas e fornece os nutrientes necessários;
- Filtro geotêxtil: permite a filtração de partículas finas do substrato, e retêm os nutrientes;
- Camada drenante: tem como objetivo drenar o excesso de águas pluviais, bem como reter uma parte para irrigação;
- Camada de proteção: protege o sistema de impermeabilização de possíveis perfurações involuntárias;
- Membrana anti-raiz: impede que as raízes atinjam e danifiquem a estrutura;
- Membrana de impermeabilização: responsável por manter a estanquidade da estrutura, impedindo infiltrações na laje;
- Estrutura de suporte.

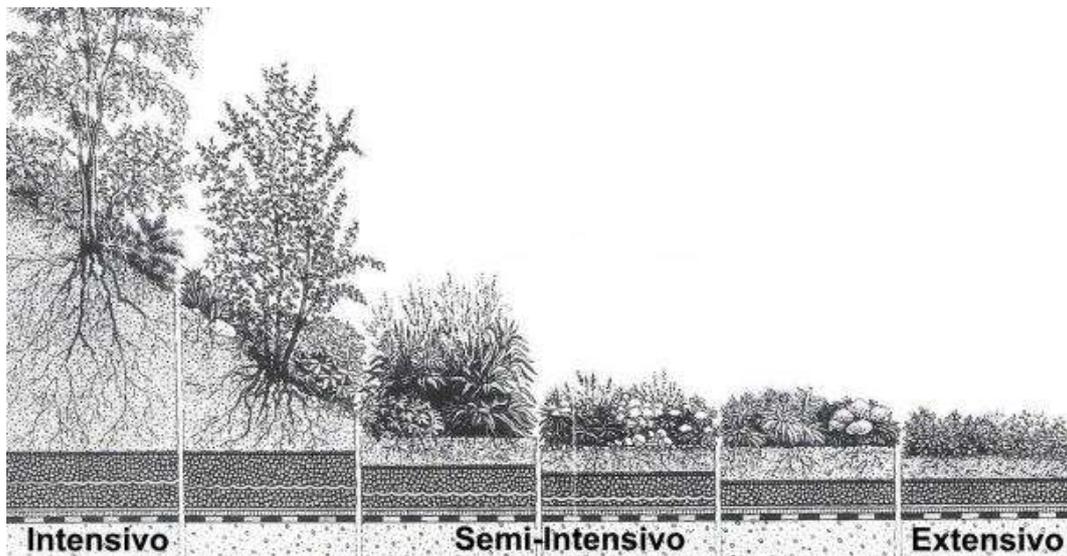


Figura 26 Tipologia das coberturas verdes (RAPOSO, 2013)

Tabela 10 Síntese das características dos diferentes tipos de coberturas verdes (RAPOSO, 2013)

<b>Tipo</b>	<b>Intensiva</b>	<b>Semi-intensiva</b>	<b>Extensiva</b>
<b>Manutenção</b>	Elevada	Média	Baixa
<b>Irrigação</b>	Regular	Periódica	Não exigida-Baixa
<b>Tipo de vegetação</b>	Relvado, Plantas perenes, Arbustos e Árvores.	Herbáceas, Gramíneas, Plantas perenes, Arbustos	Musgos, Seduns, Herbáceas, Gramíneas
<b>Espessura do substrato</b>	15-40cm (estruturas subterrâneas > 40 cm)	10-25 cm	6-15cm
<b>Peso</b>	180-500 Kg/m <sup>2</sup>	120-200 Kg/m <sup>2</sup>	60-150 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Custo</b>	Elevado	Médio	Baixo
<b>Utilização</b>	Atividades de lazer; Biodiversidade	Biodiversidade e amenidades	Proteção e funções ecológicas
<b>Desempenho energético</b>	Elevado	Elevado-Médio	Médio-Baixo

## 4.8 Sistemas de captação de água de fontes alternativas e sistemas de reutilização e reciclagem

### 4.8.1 Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Na maioria dos países mediterrânicos, como Portugal, o aproveitamento de águas sempre foi uma prática comum recorrendo a tecnologias de saberes tradicionais. Com a evolução dos sistemas de abastecimento público de água e a

falta de conhecimento das características da qualidade das águas das chuvas, estes sistemas de aproveitamento perderam o interesse (SOUSA, 2015).

Atualmente, com os cenários de stress hídrico que se têm vindo a enfrentar nas últimas décadas, as preocupações ambientais e o aumento do crescimento populacional, têm sido desenvolvidos sistemas mais tecnológicos, económicos e seguros para essa prática (SILVA-AFONSO & PIMENTEL-RODRIGUES, 2017). Estão a ser implementados por todo o mundo sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP), sendo que em alguns países a aplicação destes sistemas já é obrigatória nas novas construções, como no caso da Bélgica (SOUSA, 2015). Em Portugal, a utilização de águas pluviais foi objeto de estudo em 2009, levando ao desenvolvimento de uma Especificação Técnica por parte da Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), a ETA 0701 (ANQIP, 2015).

Como estipulado no RGSPDADAR, a água da chuva é considerada não potável, não sendo utilizada para fins de consumo como referido no seguinte artigo:

*“Artigo 86.º Utilização de água não potável*

*A entidade gestora do serviço de distribuição pode autorizar a utilização de água não potável exclusivamente para lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares, desde que salvaguardadas as condições de defesa da saúde pública.*

*As redes de água não potável e respetivos dispositivos de utilização devem ser sinalizados. “*

Como já referido anteriormente (2.3.2 Consumo Doméstico), a maioria dos consumos em edifícios incidem nos usos de água não potável (como autoclismos, lavagem de roupa e em usos exteriores). Assim, este sistema apresenta vantagens na redução do consumo de água potável em 50%, uma redução da tarifa na fatura da água e do valor da taxa de saneamento. Segundo um estudo sobre a implementação destes sistemas para várias tipologias de edifícios em Portugal, (SANTOS, PINTO, CHENG, & LEITE, 2011) concluiu-se que os edifícios de grandes dimensões apresentam períodos de retorno financeiro menores, proporcionando assim uma poupança maior, sendo exemplo disso a Escola Básica

de Leça do Balio com uma área de captação de 1665 m<sup>2</sup> que utiliza a água tratada para descargas de autoclismos e para irrigação (SOUSA, 2015).

A diminuição dos consumos permite uma conservação e uma utilização sustentável dos recursos hídricos, bem como uma diminuição do uso de energia. As únicas desvantagens deste tipo de sistemas é o investimento inicial para a instalação, bem como a diminuição do volume de captação em períodos mais secos. Ainda assim, é uma reserva de água útil em períodos de escassez da mesma, e em oposição nos períodos de precipitação extrema permite a redução de cargas de águas pluviais nos sistemas urbanos de drenagem, reduzindo a probabilidade de cheias.

Um SAAP é essencialmente constituído por três elementos, uma superfície de captação, um sistema de armazenamento e um sistema de tratamento (ANQIP, 2015).

O sistema inicia-se numa área de captação sendo considerada o elemento mais decisivo para a qualidade da água; deste modo, devem ser escolhidas áreas não acessíveis, exceto para operações de manutenção. Assim, as coberturas são a melhor opção tanto a nível qualitativo como quantitativo. Ou seja, qualitativamente devem ser impermeáveis, revestidas com materiais não tóxicos e conter sistemas de filtragem (como grelhas) para evitar a passagem de impurezas. Devido aos longos períodos sem chuvas as primeiras águas não são aproveitadas devido a quantidades de sedimentos indesejáveis presentes na superfície de captação sendo removidas através de um dispositivo automatizado de limpeza (*first flow*), garantindo a qualidade das águas seguintes. A nível quantitativo o volume do aproveitamento de águas pluviais depende de vários fatores, como o tipo de edifício, o tipo de cobertura, o coeficiente de escoamento (*runoff*), e ainda dos níveis de precipitação da zona onde se aplicará este sistema (ANQIP, 2015).

As águas são direcionadas através de elementos de condução, nomeadamente caleiras/algerozes e tubos de queda, passando por um pré-sistema de filtragem e posteriormente direcionadas ao local de armazenamento onde são tratadas. Devem ser armazenadas num local abrigado da luz, calor e com ventilação para evitar o desenvolvimento de microrganismos. Os sistemas de saída das águas

do reservatório também estão equipados com filtros para separação de partículas de menores dimensões, como os sedimentos no fundo do mesmo (ANQIP, 2015).

De modo a garantir a qualidade da água (para situações em que a água tratada esteja em contacto com a pele, como duches), deve ocorrer uma desinfeção regular da água, passando por processos como cloração, oxidação com ozono, radiação ultravioleta, pasteurização, entre outros, bem como uma filtração mais precisa por osmose inversa de modo a permitir uma remoção de sais, nutrientes, compostos orgânicos e vírus (ANQIP, 2015).

Há que ter em consideração as dimensões do depósito, que depende das necessidades quanto à utilização de água da chuva, da quantidade de águas pluviais geradas pela superfície de captação e a precipitação local. Por exemplo, na época em que a precipitação é escassa, como em Portugal no verão, o depósito deve garantir água para esses períodos, bem como deve possuir um circuito alternativo (*by pass*), ligado à rede pública caso falte água no depósito (ANQIP, 2015).

Os períodos de reserva da água no reservatório devem ser de 20 a 30 dias, podendo a retenção prolongar-se por um período máximo de 90 dias. Deve possuir um sistema de descarga quando atinge a sua capacidade máxima (*overflow*), sendo essas águas encaminhadas para a rede de águas pluviais ou lançadas na linha de água natural (tal como as resultantes *do firstflow*), desde que não exista um risco de contaminação (ANQIP, 2015).

Por fim, o processo de distribuição da água tratada depende da localização do reservatório. Se o mesmo é elevado, ou seja, junto à cobertura a água é distribuída por gravidade, sem gastos de energia, mas com a desvantagem da sua capacidade ser menor. Se estiver localizado abaixo do nível do solo então é necessário a utilização de um sistema de bombagem para chegar aos pontos de consumo (ANQIP, 2015).

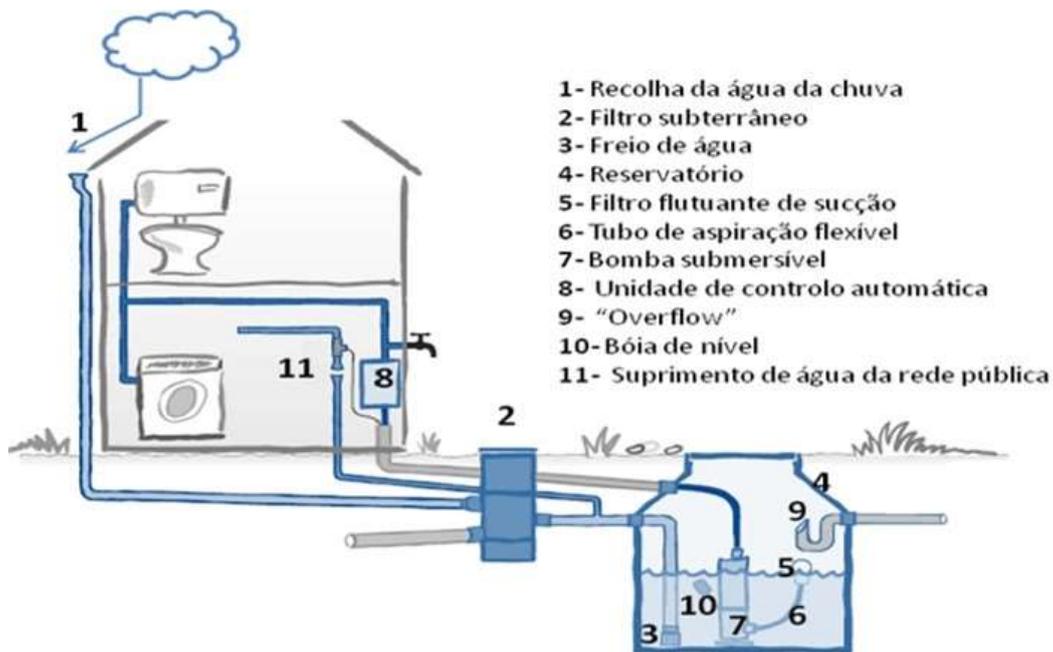


Figura 27 Esquema de um sistema SAAP (SOUSA, 2015)

#### 4.8.2 Sistemas de captação de água atmosférica

As capacidades da natureza são reconhecidas pelo ser humano há milénios, e pode assumir-se que este sistema resulta da observação sucessiva da formação de gotículas de água nas árvores, plantas, pedras entre outros elementos.

Em locais onde existe humidade suficiente no ar, é possível captar água proveniente do processo de condensação. Derivado da mesma geram-se dois fenómenos, um denomina-se de orvalho que se forma naturalmente em superfícies sólidas e quando a temperatura das mesmas desce, formam-se gotículas provenientes do vapor de água presente na atmosfera. (GRANT, 2016). Quando a atmosfera se encontra saturada de vapor de água (com uma humidade superior a 90%) e o mesmo condensa, ocorre uma suspensão concentrada de gotículas de água na atmosfera, denominada de nevoeiro (SCHARNKE, 2010).

Nas últimas décadas, o conceito de captar água através da humidade do ar tornou-se mais importante como recurso hídrico alternativo. Atualmente, são utilizados condensadores de orvalho e coletores de nevoeiro, sendo que a diferença entre ambos é que o primeiro requer uma superfície que permita a condensação do

vapor de água, enquanto que o segundo apenas necessita de interseção a umidade em suspensão na atmosfera (SHARAN, 2006).

Os condensadores de orvalho resultam da investigação dos “poços de ar”, e das experiências de estruturas mais leves ao longo do séc. XX, desenvolvidos pela Organização Internacional para o Uso de Orvalho (OPUR).

Um condensador de orvalho apresenta uma superfície de condensação, com um ângulo de 30° em relação à horizontal e assenta numa camada de um material isolante (como cortiça). Este tipo de sistema pode ser apoiado numa estrutura simples ou em coberturas (GRANT, 2016).

A massa da superfície de condensação (a de captação) deve ser o mais baixa possível, para que não retenha facilmente o calor; deve ainda, para este fim, ser protegida contra ganhos de calor por radiação indesejados por uma camada de isolamento na sua face interior. Esta superfície deve conter propriedades hidrofílicas, de forma a escorrer a humidade condensada encaminhando-a para um reservatório. Assim, foi desenvolvida, pela OPUR, uma folha com capacidades hidrofílicas, de polietileno com óxido de titânio e sulfato de bário, que funciona como superfície de condensação (SHARAN, 2006).

O volume de captação depende de fatores climáticos: por exemplo, no noroeste da Índia, onde as oscilações da temperatura permitem regularmente a formação de orvalho, foi instalado um conjunto de condensadores com uma superfície total de 600 m<sup>2</sup>, conseguindo produzir cerca de 9000 litros de água potável por ano para abastecer uma escola local (OPUR, s.d.).



Figura 28 Exemplo de um condensador de orvalho (OPUR, s.d.)

Os coletores de nevoeiro são sistemas de captação relativamente simples, que consistem numa estrutura composta por uma rede, normalmente de nylon, polietileno ou polipropileno suspensa verticalmente entre dois postes de madeira. À medida que o nevoeiro passa pela rede as gotículas colidem com as fibras e ficam retidas na mesma. Com o acumular de gotículas, escorrem para uma calha subjacente que conduz a água por gravidade até ao depósito, onde é armazenada (CTCN, s.d.).

Ao contrário da simplicidade estrutural, a complexidade está na previsão da quantidade de água a captar devido à falta de padrões de medição de dados climáticos exatos. Devido a essas incertezas deve testar-se no local um pequeno protótipo de modo a alcançar dados específicos do local. Ainda assim, estima-se que o volume de captação seja entre 5,3 a 13,4 litros/m<sup>2</sup>, dependendo sempre do local, do clima, do material e do espaçamento das fibras da rede, sendo que uma rede com fibras mais juntas é mais eficiente (CTCN, s.d.). Estes sistemas dependem principalmente de condições geográficas e climáticas. Devem ser implementados em áreas de alta altitude, de modo a que consigam intersetar os nevoeiros (como

montanhas), ou devem estar relativamente próximos de fontes húmidas como o mar (zonas litorais), sendo zonas propícias para a formação de neblinas. Também os ventos persistentes (com uma velocidade entre 4 a 10 m/s) são ideais para a captação de nevoeiro, principalmente se moverem as nuvens do oceano para o continente; assim, estes sistemas devem ser posicionados perpendicularmente à direção do vento predominante (AQUALONIS, 2019).

A grande vantagem destes sistemas é que a água atmosférica é normalmente limpa sem conter microrganismos nocivos para a saúde, pelo que não necessita de tratamentos, tendo uso imediato para irrigação e consumo correspondendo aos padrões mínimos estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS). São estruturas de baixo impacto ambiental, sem a utilização de qualquer fonte de energia e para a manutenção dos mesmos requer apenas a limpeza das calhas de condução e das redes. Deste modo minimiza os custos de infraestruturas de transportes de água para áreas mais remotas, contribuindo assim para a qualidade de vida dessas comunidades com dificuldade de acesso a recursos hídricos.



Figura 29 Coletor de nevoeiro (AQUALONIS, 2019)

Estes sistemas foram desenvolvidos e implementados na década de 90 no Chile, para um projeto de reflorestação devido à ausência de precipitação (inferior

a 60 mm/ano), bem como para o abastecimento de uma vila com 300 habitantes. Para tal foram instalados 94 coletores de nevoeiro, produzindo em média 15000 litros de água por ano (GRANT, 2016).

Com as alterações climáticas ao longo dos anos, estes sistemas foram implementados por vários países, não só como método de abastecimento, mas também como resposta ao fenómeno de desertificação. Aumentando a área de superfícies verdes, recorrendo a processos de reflorestação com os coletores de nevoeiro, as mesmas contribuem para o aumento a disponibilidade de água permitindo a recarga de aquíferos, e contribuindo assim para a resiliência contra situações de seca severa (CTCN, s.d.).

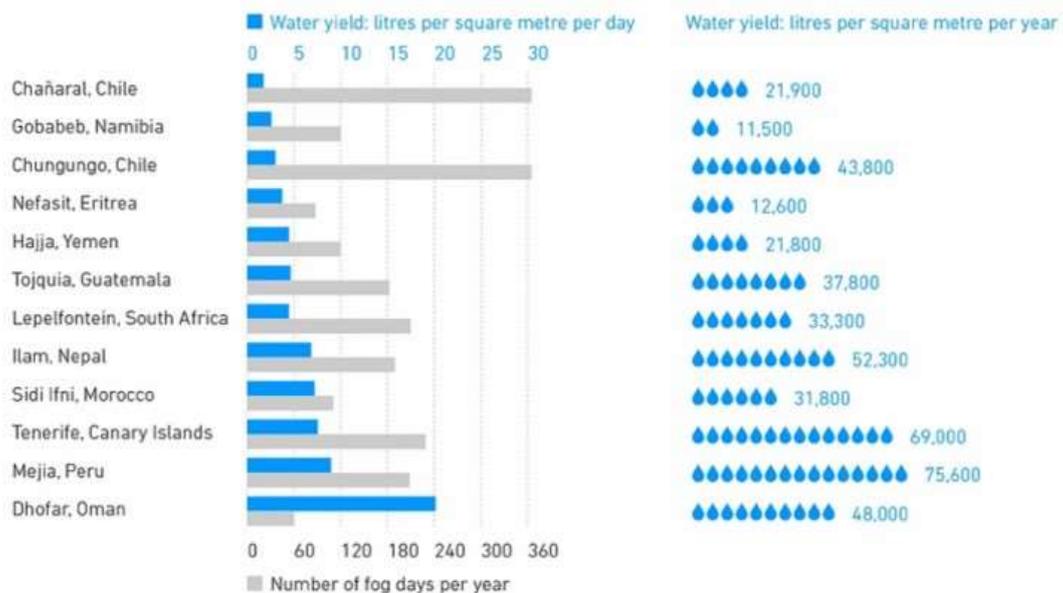


Figura 30 Países que utilizam o sistema de captação de água do nevoeiro e quantidade de litros conseguesm captar por ano

Devido às limitações geográficas e climáticas destes sistemas, têm sido realizados vários estudos sobre a captação da humidade do ar com recurso a novas tecnologias e materiais, principalmente incidentes nas dimensões das fibras das redes.

A *Aqualonis*, uma organização sem fins lucrativos, desenvolveu um sistema de captação de nevoeiro que consegue captar entre 10 a 22 litros/m<sup>2</sup>.dia, denominado de *Cloud Fisher*. A diferença em relação aos convencionais, é que esta rede é composta por uma malha com microfilamentos, retendo assim mais gotículas, sem materiais tóxicos e com proteção extrema à radiação ultravioleta; suporta estruturalmente ventos fortes (até 120 km/h) devido à sua estrutura metálica e não apresenta deterioração após três anos de uso contínuo sendo assim mais resistente e eficaz que os tradicionais. O projeto pioneiro nos Montes Boutmezguida em Marrocos, é composto por um conjunto de 30 coletores de nevoeiro, com uma superfície de captação de 1682m<sup>2</sup> e um total de 37000 litros diários. A água é conduzida por gravidade, ao longo de um percurso pela encosta de cerca de 7km com 5 reservatórios, abastecendo 16 vilas e uma escola, cujos habitantes dispõem agora de 18 litros para as suas tarefas do quotidiano ao invés dos 8 litros que utilizavam (AQUALONIS, 2019).



Figura 31 Percurso desde o local de captação nos Montes Boutmezguida até ao local de abastecimento (AQUALONIS, 2019)



Figura 32 Pormenor dos microfilamentos da rede

Com os objetivos de implementar soluções sustentáveis para revitalizar comunidades afetadas pela escassez de recursos hídricos e hidratar solos afetados pelas secas (Sponsh Foundation, 2019), a Sponsh, (uma *startup*) desenvolveu uma malha inspirada nos seres vivos que habitam os desertos, composta por fibras de algodão e hidrogel. Permite a captação em zonas com uma humidade relativa de 70%, ao contrário das tradicionais redes dos coletores de nevoeiro que normalmente requerem valores mínimos de 90%. As capacidades de reação do hidrogel à temperatura (material termossensível) permitem que as fibras expostas a temperaturas mais baixas quadrupliquem o seu tamanho absorvendo a água presente na atmosfera (super hidrofílicas), e à medida que as temperaturas aumentam as fibras voltam à normalidade expulsando a água nelas retida (super hidrofóbicas). Este material é capaz de absorver e libertar uma quantidade de água equivalente a três vezes o seu próprio peso a cada ciclo, ou seja, consegue produzir diariamente 1,3 litros/m<sup>2</sup> (YANG, et al., 2013).

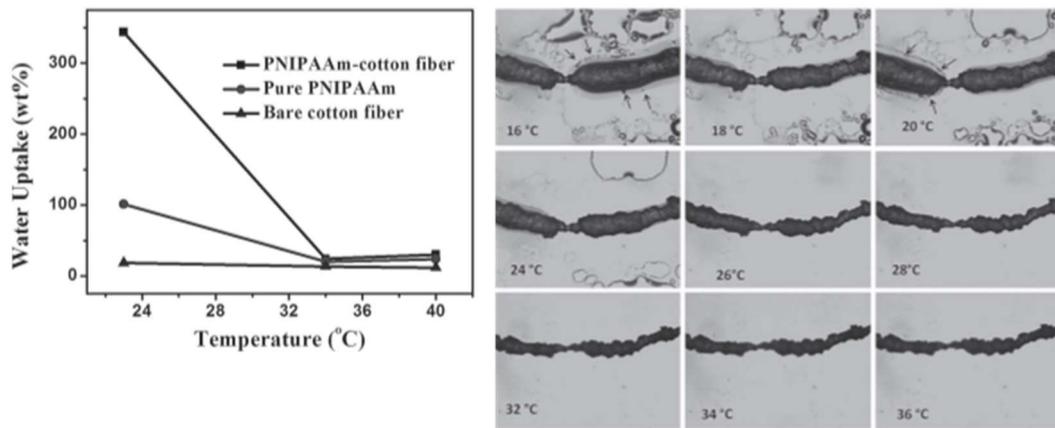


Figura 33 Reação do material exposto a diferentes temperaturas, quando a temperatura é mais alta as fibras retraem, quando a temperatura é mais baixa as fibras expandem (YANG, et al., 2013)

Este material foi pensado sobretudo para uma aplicação em áreas costeiras secas e sendo um material versátil que se comporta como um tecido, pode ser aplicado de diversas maneiras. Pode ser utilizado para irrigação diária, envolvendo o tronco das árvores ou mesmo envolvido no solo junto às raízes de outros cultivos, também pode ser incorporado em paredes exteriores ou telhados de construções mais vernáculas. Encontra-se na fase de testes em larga escala de forma a perceber como se comporta o material em períodos mais longos e em diferentes regiões como Portugal, Médio Oriente e África do Sul (SPONSH, 2018).



Figura 34 Aplicação da malha junto à base de videiras para irrigação das mesmas (SPONSH, 2018)

Embora os sistemas de captação de água atmosférica sejam sobretudo destinados a irrigação agrícola e ao abastecimento de água a aldeias remotas, este

sistema também tem potencial para a sua aplicação em centros urbanos. Em cidades quentes, secas e com a presença de humidade suficiente no ar, é possível imaginar a aplicação destas estruturas ou redes, por exemplo, integradas em coberturas e fachadas verdes para a irrigação das mesmas sem utilizar qualquer tipo de energia (GRANT, 2016).

#### **4.8.3 Sistemas de dessalinização**

A escassez de água potável, agravada pelas alterações dos padrões climáticos, é um desafio atual a enfrentar. Os oceanos contêm mais de 97% dos recursos hídricos do planeta, sendo praticamente ilimitados e tolerantes às secas e, segundo a Associação internacional da Água (IWA) 40% da população mundial reside num raio de 100 km das zonas costeiras, o que torna a água salgada num recurso alternativo essencial para a sustentabilidade a longo prazo dos centros urbanos costeiros (IWA, 2016).

A dessalinização da água do mar contribui significativamente para combater o stress hídrico em zonas costeiras áridas, sendo que atualmente existem centrais de dessalinização em mais de 150 países, com instalações de grandes dimensões na Arábia Saudita, Austrália, Califórnia, Argélia e Espanha (GRANT, 2016).

Ainda assim, a dessalinização é um processo com custos bastante elevados devido às grandes quantidades de energia necessárias durante o processo, resultando também num custo elevado da água produzida. Na maioria das centrais, são utilizados combustíveis fósseis, o que não é a opção ambientalmente mais sustentável; deste modo, estão a ser explorados e integrados recursos energéticos renováveis, como energia solar, contribuindo de certa forma para a diminuição dos custos da água dessalinizada (GRANT, 2016) (GAIO, 2016).

A remoção da salinidade pode ser realizada através de dois processos que permitem que seja potável: dessalinização térmica, que consiste na separação da água do sal através do processo de evaporação, repetidamente por diversos ciclos; e dessalinização por membranas (osmose inversa), que consiste em passar a água em alta pressão através de uma membrana capaz de reter quase na totalidade as partículas de sal e outras impurezas (GAIO, 2016).

#### **4.8.4 Sistemas de reutilização e reciclagem de águas residuais**

As águas residuais podem ser divididas em dois grupos distintos: águas cinzentas e águas negras. As águas cinzentas correspondem às águas não sanitárias, ou seja, as águas provenientes de lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar roupa e lava loiças. As águas negras são a componente sanitária das águas residuais, ou seja, provenientes das sanitas e mictórios (ANQIP, 2011).

Este sistema apresenta duas componentes: a reutilização e a reciclagem. Um sistema de reutilização permite que as águas sejam reutilizadas com ou sem tratamento de acordo com a qualidade exigida para cada tipo de utilização, sobretudo usadas para autoclismos. Um sistema de reciclagem promove o tratamento das águas residuais e permite a reentrada no ciclo predial, possibilitando a geração de um de um ciclo de água fechado. As águas tratadas são consideradas não potáveis, podendo ser utilizadas para irrigação, máquinas de lavar roupa, autoclismos e torres de refrigeração (ANQIP, 2011).

Normalmente, as águas cinzentas são consideradas suficientes para suprimir as necessidades numa residência, caracterizadas por um volume elevado e baixa poluição, enquanto que as águas negras se apresentam como volumes reduzidos de elevada poluição. Deste modo, a possibilidade de reciclar as águas negras à escala doméstica não é uma prática comum devido aos gastos envolvidos nos processos de tratamento em comparação com os pequenos volumes de armazenamento. Normalmente, este processo é aplicado em edifícios de maiores dimensões ou em núcleos habitacionais (CARVALHO M. , 2017).

De modo a garantir o padrão de qualidade das águas estabelecido para as diferentes utilizações, um sistema predial de reutilização e reciclagem de águas cinzentas (SPRAC) apresenta quatro etapas de tratamento: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (CARVALHO M. , 2017).

As águas não tratadas são conduzidas através de tubagens para um tanque de recolha, sendo que não devem permanecer por mais de 24h no mesmo, de forma a evitar o desenvolvimento de microrganismos e maus odores. As fases de tratamento são iniciadas através de um sistema de pré-filtragem, de modo a reter os

sólidos de maiores dimensões. De seguida, o tratamento primário utiliza processos biológicos com o objetivo de remover a matéria orgânica biodegradável, e ainda alguns sólidos em suspensão. O tratamento secundário, visa a remoção de lamas através do processo de sedimentação provenientes do tratamento anterior. Por último, o tratamento terciário tem como finalidade a desinfeção, por via da cloração, ozonificação ou radiação ultravioleta, de modo a inativar os microrganismos prejudiciais para a saúde pública (NEVES & AFONSO, 2010).

As águas são armazenadas num reservatório, sendo que o volume deste não deve exceder o consumo médio diário e, de seguida, distribuídas através de uma segunda rede para os pontos de consumo (NEVES & AFONSO, 2010).

## 5 Aplicações práticas de estratégias sustentáveis e resilientes

Neste capítulo são apresentados cronologicamente intervenções práticas em diversos países de estratégias anteriormente referidas, para mitigar os efeitos das alterações climáticas no ciclo hidrológico, bem como a implementação da gestão da água em ciclo fechado nos edifícios.

### 5.1 Swenson Civil Engineering Building

Localização: Duluth, Estados Unidos

Ano: 2010

Autor: Ross-Barney Architects

Área: 35300 m<sup>2</sup>

Estratégia: Eficiência hídrica

Categoria: Sistemas de captação de águas pluviais, pavimentos permeáveis, sistemas de bio retenção, sistemas de infiltração.

O *Swenson Civil Engineering* da *University of Minnesota Duluth*, foi projetado como uma ferramenta pedagógica, ou seja, o edifício apresenta vários processos estruturais, mecânicos, técnicas de gestão de águas pluviais e estratégias sustentáveis que se integram na arquitetura do mesmo, funcionando como objeto de estudo para os alunos de engenharia civil (r-barc, s.d.).

O ciclo da água é integrado através da aplicação de pavimentos permeáveis, coberturas verdes, sistemas de bio retenção, nomeadamente jardins de chuva, e por um sistema de retenção de águas pluviais, sendo que cerca de 90% da precipitação média anual é capturada e tratada “*in situ*” (r-barc, s.d.).

Os sistemas convencionais de drenagem dos telhados canalizam as águas das coberturas para o sistema de esgoto, enquanto que este edifício inclina as coberturas para um sistema principal composto por três volumes paralelepípedos de “embornais” / “bicas” (scupper) que interseam o edifício, direcionando a água para um sistema de infiltração cilíndrico (dreno francês) ou para os sistemas de bio retenção ao longo do perímetro do edifício. Ainda assim, 23% da área do telhado é coberta por vegetação extensiva, de modo a atenuar o escoamento pluvial. O dreno

francês funciona como um poço de infiltração (menos profundo) que capta o escoamento das águas das coberturas e das ruas adjacentes, sendo que armazena permanentemente a água de modo a permitir o tratamento das mesmas através do processo de sedimentação. O mesmo permite ainda a infiltração, que contribui ecologicamente para a recarga do corpo de água subjacente uma vez que o mesmo drena para uma área protegida (r-barç, s.d.).



Figura 35 Enquadramento dos "embornais" no conjunto

A água da chuva retida é bombeada para o edifício para a sua utilização na calha experimental do laboratório de hidráulica, o que contribui para a redução do consumo de água que seria gasto para essa atividade. A eficiência dos recursos hídricos no edifício, com uma redução de 50% de água potável, também é alcançada através da utilização de equipamentos de baixo consumo, como autoclismos de dupla descarga e lavatórios de baixo fluxo, bem como a vegetação envolvente não necessita de irrigação, devido à tipologia de plantas utilizadas (r-barç, s.d.).



Figura 36 Funcionamento dos "embornais" num dia de chuva

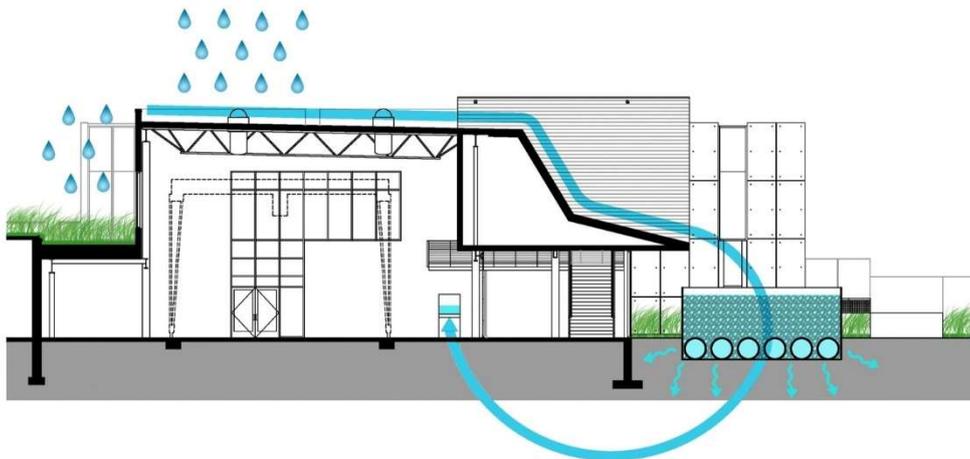


Figura 37 Esquema do circuito das águas pluviais

## 5.2 McLaren Production Center

Localização: Reino Unido

Ano: 2011

Autor: Foster + Partners

Área: 34500 m<sup>2</sup>

Estratégia: Eficiência hídrica, resiliência

Categoria: Captação e armazenamento de águas pluviais, refrigeração, recarga de aquíferos

Com a oscilação repentina entre períodos de seca e fenômenos de precipitação extrema, que também afetam o Reino Unido, a escolha do local de implantação para o novo centro de pesquisas da Fórmula 1 foi um fator essencial. Deste modo, foi implantado num ambiente natural, de forma a que não limitasse apenas os danos ao meio ambiente, mas que contribuísse positivamente para a mitigação desses impactos (Ramboll , s.d.).



Figura 38 McLaren Production Center

O projeto tem como objetivo a implementação de um sistema de água ecológico e inteligente, que combina a gestão das águas pluviais e a recarga dos aquíferos com os sistemas de refrigeração dos túneis de vento de testes. O desenho formal permite uma relação complementar, onde a presença da água é praticamente equivalente à área de implantação do edifício, sendo o objeto de conexão entre a paisagem natural e o volume construído. O espelho de água, que armazena cerca de

30000 m<sup>3</sup> de água, proveniente do escoamento da cobertura e do estacionamento, é uma parte integrante do sistema de refrigeração do edifício. A água da bacia circula através de um sistema de biótopo natural, por conseguinte entra no dissipador de calor e regressa ao espelho de água através de uma cascata de 200m de comprimento, sendo que este sistema de refrigeração natural permitiu que não fosse necessário a implementação de torres de refrigeração massivas, de modo a proteger o caráter da paisagem local (Ramboll , s.d.).

Também as águas cinzentas produzidas no edifício são tratadas através de processos biológicos, numa zona húmida contígua à bacia de retenção. Deste modo, o curso de água adjacente é recarregado com a água tratada, contribuindo significativamente para manter a humidade dos solos, como promove a biodiversidade local com diferentes espécies aquáticas (Ramboll , s.d.).

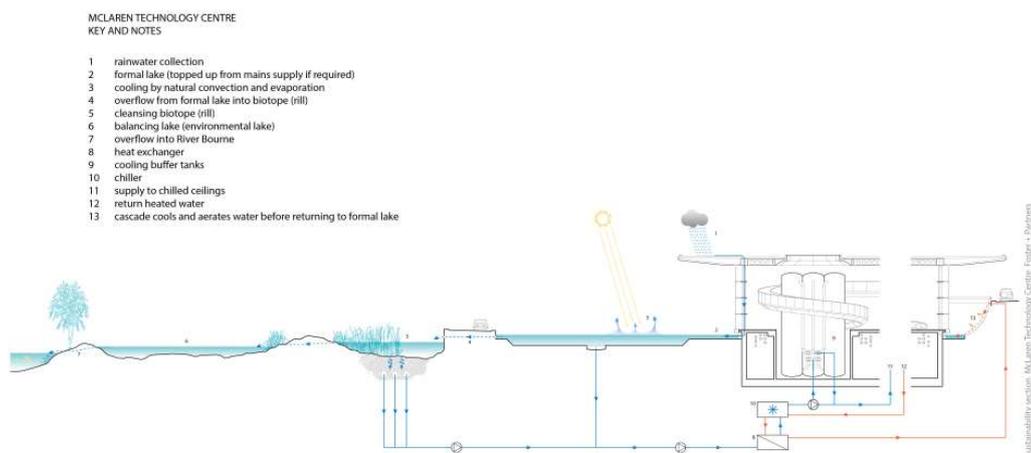


Figura 39 Corte esquemático do funcionamento do sistema das águas no edifício, desde a captação, utilização, tratamento natural e recarga da linha de água adjacente

### 5.3 Waterpleine

Localização: Roterdão, Holanda

Ano: 2011 - 2013

Autor: De Urbanisten

Área: 9000 m<sup>2</sup>

Estratégia: Resiliência

Categoria: Bacia de detenção com reservatório subterrâneo

Os constantes eventos de precipitação extrema são a principal preocupação para a cidade de Roterdão, sendo que todos os anos ocorrem inundações em vários pontos da cidade. Como resposta à problemática, este projeto adota uma estratégia de implantação de novos sistemas de armazenamento de água superficiais, que para além da função hidráulica, contribuem para a melhoria da qualidade do espaço público, para além de fortalecer a identidade do bairro oferecendo espaços recreativos para a comunidade (De Urbanisten, s.d.).

A elaboração de um processo participativo, reunindo os moradores do bairro *Agniesebuurt*, os professores e alunos do liceu e do colégio adjacentes, os utilizadores do teatro, os usuários do ginásio e os membros da igreja adjacente, foi o ponto de partida para estabelecer o programa, as necessidades, a tipologia de ambiente e de que forma a água da chuva podia influenciar e desenhar aquele vazio na malha urbana. Definiu-se que deveria ser uma praça dinâmica dedicada aos jovens, com espaços de permanência e recantos mais intimistas de lazer. “E a água? Isso tinha de ser emocionalmente visível enquanto corria pela praça”<sup>15</sup> (De Urbanisten, s.d.).



Figura 40 A praça (De Urbanisten, s.d.)

<sup>15</sup> Traduzido pela autora, do original “And what about the water? This had to be excitingly visible while running over the square: detours obligatory.”

A antiga Praça de *Bentemplein* é atualmente denominada de “*Waterplein*” (Praça de água), sendo constituída por três bacias de detenção que se transformam em espelhos de água após eventos de precipitação: duas bacias pouco profundas (bacia 1 -350m<sup>3</sup>, bacia 2- 85m<sup>3</sup>) que coletam as escoiências adjacentes sempre que chove, e uma bacia central profunda (bacia 3 -1265m<sup>3</sup>) que enche no caso de eventos de precipitação extremos. Por conseguinte, a água flui lentamente para um sistema de infiltração subterrâneo e gradualmente retorna para as águas subterrâneas, enquanto que as águas da bacia central são inseridas no sistema de drenagem de águas pluviais da cidade num período de 36 horas, sendo encaminhadas para um meio recetor a jusante (De Urbanisten, s.d.).



Figura 41 A bacia média após um evento de precipitação (De Urbanisten, s.d.)

O movimento da água faz-se sentir e ouvir através de vários elementos, que despertam os sentidos de quem permanece na praça. A água da chuva circula através de grandes calhas de aço inoxidável, embutidas no pavimento dos arruamentos adjacentes, até às bacias. Um “poço de água” escoia a água proveniente das coberturas dos edificios adjacentes e marca o início de um dos canais com uma pequena queda de água. Uma “parede de água” que enche a bacia central dramaticamente através de uma cascata na parede, com diferentes ritmos de acordo com a quantidade de precipitação que cai. E um batistério, junto à igreja, que

consiste numa pequena fonte que também alimenta a rede de canais (De Urbanisten, s.d.).



Figura 42 Elementos que conduzem a água e enfatizam a sua presença através do som (De Urbanisten, s.d.)

Como fator complementar, o esquema de cores enfatiza a função da praça, sendo que tudo o que é inundável é pintado em tons de azul e tudo o que transporta a água é prateado (aço inoxidável brilhante) (De Urbanisten, s.d.).

Porém, na maior parte do ano as bacias estão secas e podem ser utilizadas como espaços de lazer. A primeira bacia menos profunda, foi desenhada como um

recinto para as práticas de desportos radicais como patinagem, *skate* e *bmx*. Do lado norte da praça, em frente à entrada principal da igreja, está localizada a segunda bacia de menores dimensões, que contém uma ilha central como o intuito de servir de palco para as festas da igreja adjacente e para espetáculos de dança. A bacia central é considerada como a arena desportiva, para a prática de futebol, basquete e vólei, sendo desenhada como um grande anfiteatro, propícia para receber também espetáculos. Estes espaços são delimitados por áreas muradas com vegetação, de modo a criar pequenos recantos de estar, também os percursos até à praça são acompanhados por muretes arborizados proporcionando áreas com sombreamento (De Urbanisten, s.d.).



Figura 43 A utilização das bacias como espaço recreativo (De Urbanisten, s.d.)

Em suma, o conceito de “praça de água” é uma solução inovadora para áreas urbanas consolidadas, onde é possível aplicar medidas para a gestão de águas pluviais, que se integram na paisagem com alterações pontuais na malha urbana.

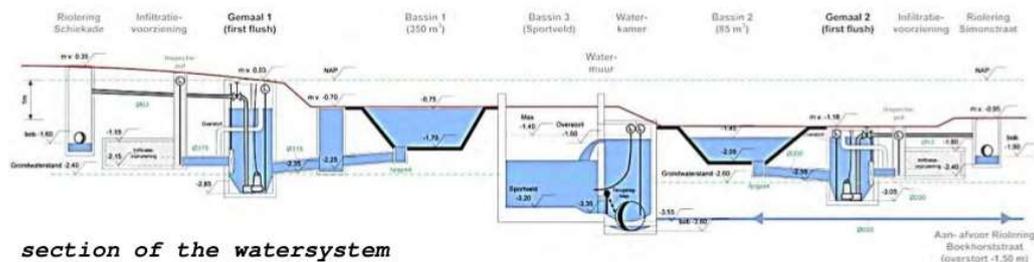


Figura 44 Sistema de tratamento e condução da água (De Urbanisten, s.d.)

## 5.4 Fog Catcher

Localização: São Francisco, Estados Unidos

Ano: 2016

Autor: Little

Área: 90000 m<sup>2</sup>

Estratégia: Eficiência hídrica

Categoria: Captação de água atmosférica; captação de águas pluviais, coberturas verdes, sistemas de bio retenção.

Com os longos períodos de seca severa na Califórnia, aumenta o desafio de conservar os recursos hídricos, pelo que existe a necessidade de desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis, bem como investir em tecnologia hídrica para responder à procura da água. O projeto foi desenvolvido no âmbito do concurso *Architecture at Zero*, com o intuito de projetar uma residência de estudantes com “net-zero energy” e “net-positive water”, para o campus da *San Francisco State University* (LITTLE, s.d.).

A proposta adapta a captação de água de fontes alternativas, a reciclagem de águas residuais e ainda consegue devolver parte dos recursos hídricos ao ambiente natural. Ou seja, não só é autossuficiente em conseguir a equivalência da

quantidade e da qualidade entre o consumo do edifício e os fluxos gerados, mas ainda consegue gerar mais água para realocar às fontes originais, de forma a contribuir para a reposição do ciclo da água natural (LITTLE, s.d.).

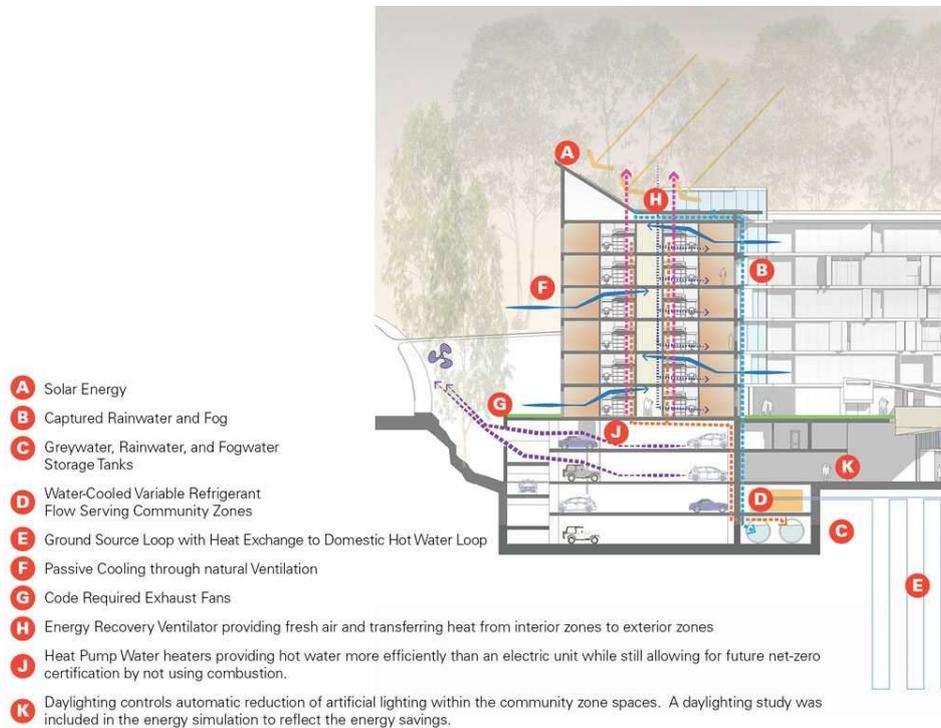


Figura 45 Estratégias de sustentabilidade adotadas no projeto (LITTLE, s.d.).

O edifício está envolvido por uma capa translúcida semelhante a uma “nuvem”, que expressa o clima local, com a presença de constantes nevoeiros vindos do oceano. O desenho do complexo das residências adapta princípios biomiméticos, utilizando como inspiração as plantas do deserto, que têm a capacidade de regular o seu conteúdo hídrico mantendo-o contante através da humidade presente no ar, ou seja, que coletam o orvalho. Deste modo o projeto destaca uma malha metálica capaz de reter a água concentrada na atmosfera sob a forma de nevoeiro. O coletor de nevoeiro, para além da sua função hidráulica, foi desenhado e incorporado no edifício como um painel pivotante de sombreamento para os vãos dos quartos, que podem ser abertos ou fechados consoante a privacidade desejada e/ou para o controlo da luz solar. Os painéis têm verticalmente a dimensão dos pisos, sendo assentes sob uma calha que recebe a água que escorre pelas aberturas da malha, conduzindo a mesma para um reservatório (LITTLE, s.d.).

Com uma área de coberturas com 13192 m<sup>2</sup>, é possível captar anualmente 5678 m<sup>3</sup> de água pluvial, que em conjunto com as águas provenientes do nevoeiro são direcionadas para o mesmo depósito, onde são tratadas e posteriormente entram no circuito para os pontos de consumo para fins não potáveis, como instalações sanitárias, limpeza, lavanderia, sistemas de climatização e irrigação das áreas verdes. De acordo com a capacidade de alunos, estima-se que por dia estão disponíveis 189 m<sup>3</sup> de água cinzenta, sendo filtradas e tratadas com ultravioletas, voltando a entrar no sistema predial para usos não potáveis. Também são adaptadas infraestruturas verdes, incluindo as coberturas, para evitar o efeito de ilha de calor e para amortecer o escoamento em períodos de precipitação extrema (LITTLE, s.d.).

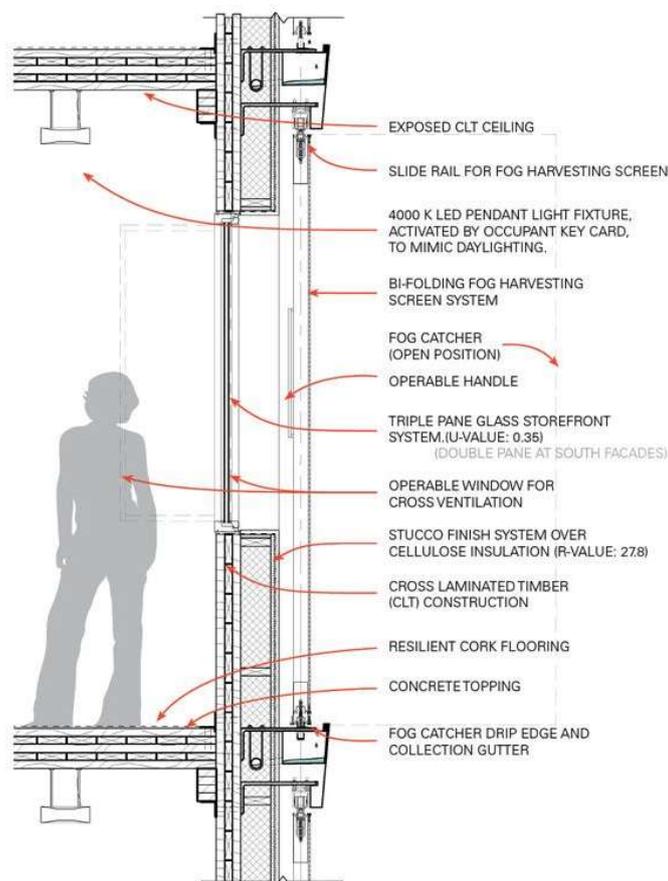


Figura 46 Pormenor construtivo dos painéis da fachada que captam o nevoeiro (LITTLE, s.d.)

## 5.5 The Soul of Norrebro

Localização: Copenhaga, Dinamarca

Ano: 2016, conclusão prevista para 2022

Autor: SLA

Área: 85000 m<sup>2</sup>

Estratégia: Resiliência- controlo do escoamento de águas pluviais e risco de cheia; eficiência hídrica: aproveitamento de águas pluviais para diversos fins.

Categoria: Bacia de retenção; estrutura verde; sistemas de captação de águas pluviais.

As chuvas em Copenhaga, são frequentemente combinadas com fortes aguaceiros, seguidos de inundações em particular nas áreas de *Hans Tavsens Park* e *Korsgade*, que podem levar a impactos negativos ao longo do tempo, não só para o bairro de *Norrebro* como para toda a cidade. Esta intervenção consiste na elaboração de um projeto urbano que integra a adaptação climática. O projeto pretende resolver os problemas derivados de fenómenos de precipitação extrema, bem como a gestão das águas pluviais, ao reter, desviar e posteriormente tratar a água da chuva através dos biótopos naturais da cidade (SLA, s.d.).

Com o objetivo de promover a interação entre o ambiente natural, o ambiente construído e as pessoas, este projeto aplica um pensamento cíclico “porque precisamente o conceito de ciclos, tal como o conhecemos na natureza, tem a força para se adaptar às influências externas e criar ecossistemas que funcionam adequadamente.”<sup>16</sup> O projeto visa combinar três ciclos complementares: o ciclo hidrológico, o ciclo biológico e o ciclo social. Com o intuito de criar uma sinergia entre esses ciclos, resultando numa natureza urbana única e holística, que cria valor tangível e mensurável, tanto para a área local como para toda a cidade de Copenhaga (SLA, s.d.).

---

<sup>16</sup> Traduzido pela autora, do original “Because precisely the concept of cycles, as we know it from the wild, has the strength to adapt to external influences and create properly functioning ecosystems (...)”

O ciclo hidrológico promove a utilidade e o valor das águas pluviais na cidade. Através da aplicação de soluções holísticas, da pequena à grande escala, onde a água da chuva é vista como um recurso onde é coletada, tratada e reutilizada, de modo a otimizar e consciencializar o consumo de recursos hídricos na cidade. Os ciclos biológicos na natureza são revitalizantes, dinâmicos e estão constantemente em evolução, deste modo o ciclo biológico visa garantir uma biodiversidade variada no parque *Hans Tavsens*, que se espalhará por toda a cidade. O ciclo social tem como objetivo promover interações entre a comunidade, de modo a fortalecer o compromisso de amenidade da cidade. Está sobretudo associado às instituições locais, incluindo o primeiro *Fablab* de Copenhaga com áreas de estudo direcionadas para os ambientes naturais da cidade (SLA, s.d.).

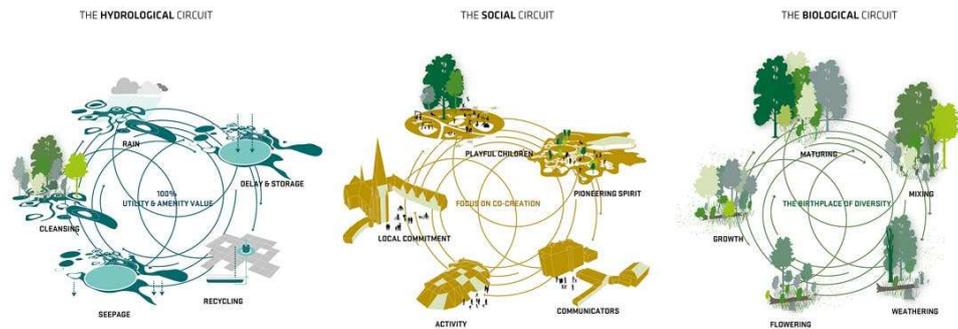


Figura 47 Integração e interação entre o ciclo a água, o ciclo social e o ciclo biológico (SLA, s.d.)

A proposta para o Parque *Hans Tavsens* e para a rua *Korsgade* vive da água da chuva, ou seja, a água torna-se um recurso no ciclo hidrológico, onde a natureza da cidade, a vida urbana e as experiências sociais prosperam com o aumento do volume da água da chuva. Deste modo, são aplicados três princípios para a gestão das águas pluviais: a água da chuva como recurso; a mitigação dos fenómenos de precipitação extrema através da retenção; e a qualidade dos corpos de água (SLA, s.d.).

Sendo a água da chuva um recurso, são implementados no bairro vários depósitos que armazenam as águas pluviais provenientes das coberturas dos edifícios circundantes. Desta forma, a água pode ser utilizada tanto pelos moradores

para irrigação, como pelos serviços municipais para lavagem e irrigação dos espaços públicos, e ainda pelas instituições de ensino para fins de educativos e pelo centro de aprendizagem *Fablab* para várias atividades desde a irrigação das hortas urbanas, compostos, entre outros (SLA, s.d.).

O parque foi desenhado com diversas bacias superficiais delimitadas por muretes, uma bacia de grandes dimensões utilizada também para fins recreativos e várias depressões paisagísticas com capacidades de retenção, para lidar com eventos de precipitação extrema, sendo capazes de reter um total de 18000 m<sup>3</sup> de água. Ao nível subterrâneo contém um sistema de descarga, composto por várias cisternas que encaminham as águas pluviais tratadas pelos drenos até aos vários lagos da cidade. Em caso de eventos extremos, a água também pode ser encaminhada ao nível do solo. Neste caso, o excesso de água é conduzido pela rua *Korsgade* para o lago *Peblinge*. Com o reperfilamento da rua, as águas pluviais são purificadas ao longo do percurso através de processos biológicos pela vegetação que se estende através de valas de bio retenção (SLA, s.d.).





Figura 48 Comparação do Parque *Hans Tavsens* antes e depois de um fenômeno de precipitação extrema (SLA, s.d.)

De forma a garantir a qualidade do corpo de água a jusante, a água do lago *Peblinge* é tratada em circuito fechado. Ou seja, é bombeada para montante da *Korsgade*, onde flui purificada pelos canais de volta ao lago. Esta circulação constante tem a capacidade de remover grandes quantidades de nutrientes e fósforo, melhorando a qualidade da água do lago, bem como permite a permanência do movimento e a sonoplastia da água em períodos sem chuva (SLA, s.d.).

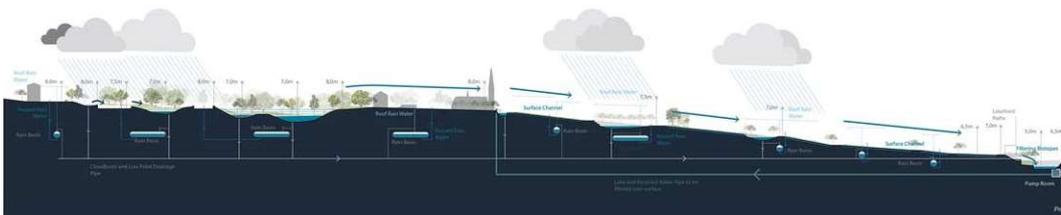


Figura 49 Representação esquemática das bacias ao longo do percurso (SLA, s.d.)

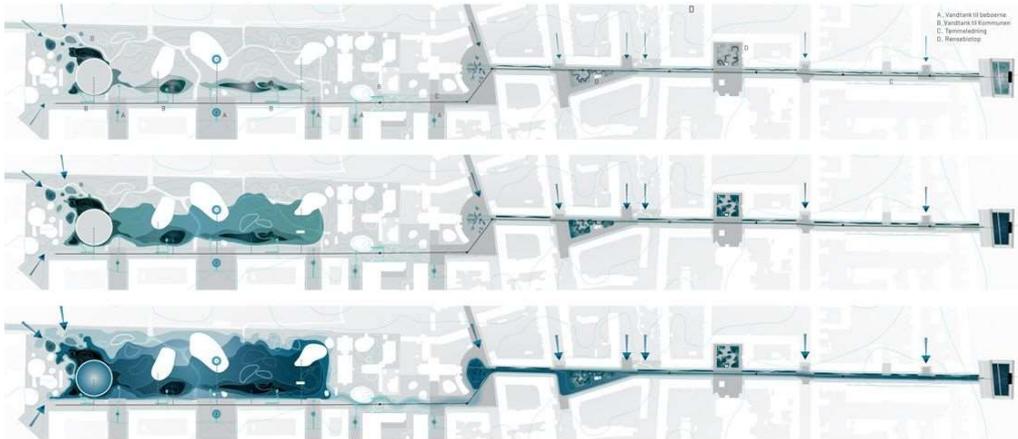


Figura 50 Capacidade de retenção do parque com eventos de precipitação diária (em cima), para um período de 10 anos (ao centro), e para 100 anos (em baixo) (SLA, s.d.)

## 5.6 Chulalongkorn University Centenary Park

Localização: Bangkok, Tailândia

Ano: 2017

Autor: N7A Architects

Área: 44515 m<sup>2</sup>

Estratégia: Resiliência

Categoria: Cobertura verde; zonas húmidas; bacias de detenção, bacia de retenção; armazenamento de águas pluviais.

Localizada nas várzeas do rio *Chao Phraya*, Bangkok, sempre viveu uma relação “anfíbia” interdependente com a água. Mas, atualmente, enfrentam-se desafios devido a uma expansão urbana descontrolada, à densificação do ambiente contruído com a crescente construção de edifícios em altura e à utilização excessiva de recursos hídricos subterrâneos. Estes fatores ignoram a paisagem do delta da cidade, tornando as áreas cada vez mais impermeáveis e como tal Bangkok é a capital com uma das menores proporções de espaço público verde, com 3m<sup>2</sup> em comparação com a média de vários países de 9m<sup>2</sup> por pessoa, o que contribui para a destruição dos cursos de água. Conseqüentemente, em eventos de precipitação extrema, a cidade pode ser inundada em apenas 30 minutos; considerando também

a sua topografia praticamente plana e o aumento do nível das águas do mar, várias áreas da cidade estão em risco de submergir (N7A, s.d.).

A iniciativa deste projeto foi tomada pela *Chulalongkorn University*, que, ao completar um século, quis retribuir à sociedade disponibilizando um terreno que se estende ao longo do campus universitário para um novo parque urbano através de um concurso público. Como ponto de partida para o desenvolvimento da proposta foi essencial o debate com a comunidade, os estudantes e as partes interessadas para definir um programa para o parque, garantindo estratégias ambientais. Como tal, o Parque Centenário de Chulalongkorn é a primeira infraestrutura verde na cidade, projetada para reduzir as inundações urbanas e enfrentar as mudanças climáticas, enquanto oferece à comunidade um espaço para se reconectar à natureza e relembrar à cidade as diversas formas de (con)viver com a água (N7A, s.d.).

Como já referido Bangkok é uma cidade plana, como tal o parque foi projetado com uma inclinação de três graus, de forma a ganhar força gravítica, para coletar, tratar e reter água de forma sustentável. A chuva e o escoamento superficial são direcionados para jusante ao longo da topografia do parque para gerar um sistema completo de circulação de água. Levando em consideração um período de 50 anos com chuvas intensas e uma sobrecarga permanente da rede de drenagem, o parque tem a capacidade de armazenar cerca de 3800 m<sup>3</sup> de água durante fenômenos de precipitação extrema (N7A, s.d.).



Figura 51 Planta e corte do parque, onde se percebe as variações de cotas desenhadas (N7A, s.d.)

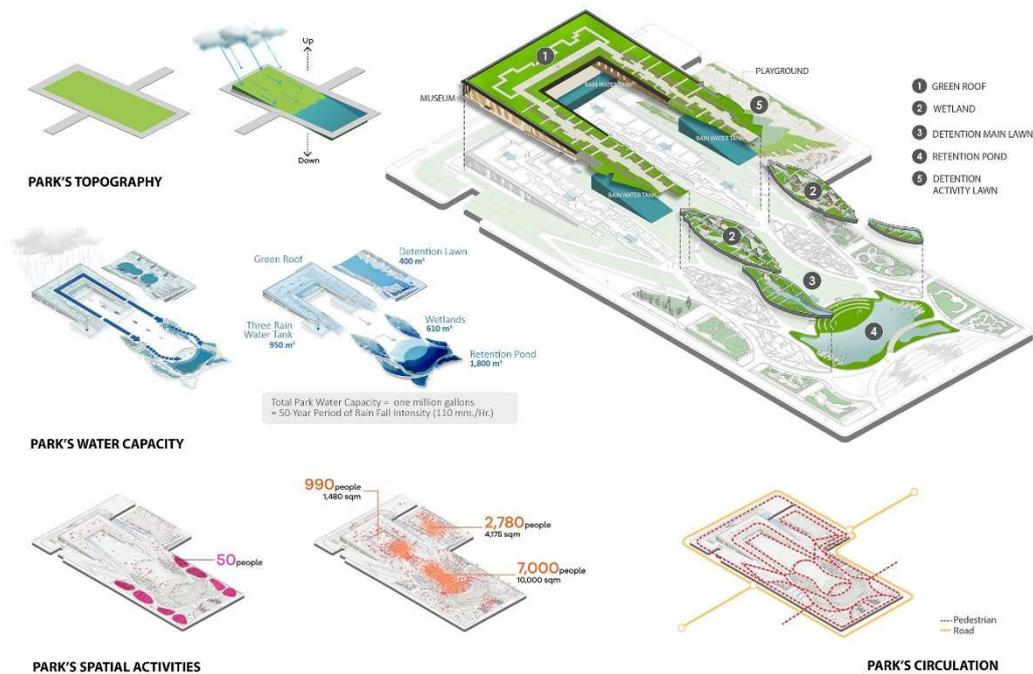


Figura 52 Estratégias aplicadas no desenho do parque (N7A, s.d.)

O parque foi desenhado a partir do seu ponto mais alto com uma cobertura verde, zonas húmidas, bacias de detenção, até ao seu ponto mais baixo com uma bacia de retenção, criando assim uma cadeia de tratamento que gere e melhora a qualidade das águas pluviais (N7A, s.d.).

A cobertura verde extensiva atrai pássaros e insetos locais, e sendo acessível proporciona uma experiência única de um ambiente natural envolvido por uma densa paisagem urbana. O edifício subjacente alberga um museu, um parque de estacionamento e três tanques subterrâneos (capacidade total de 950 m<sup>3</sup>) que armazenam as águas pluviais provenientes da cobertura, sendo que a quantidade de água retida pode irrigar o parque até um mês durante os períodos mais secos. O escoamento excessivo da cobertura é encaminhado para quatro pântanos construídos (capacidade para 610 m<sup>3</sup>), localizados a pares nas laterais do parque. Com uma série de pequenos diques e bacias em cascata diminui-se o escoamento e

promove-se a remoção de efluentes através das plantas que filtram e limpam a água (N7A, s.d.).

A área central do parque caracteriza-se por um espaço aberto inclinado relvado para fins recreativos. O plano inclinado oferece um anfiteatro multifuncional delineado pela arquitetura do museu que oferece a acústica ideal para eventos públicos, enquanto que em dias de forte precipitação amortece o escoamento, encaminhando o excesso para a bacia de retenção (capacidade de 1800 m<sup>3</sup>). Esta bacia de retenção, em períodos de precipitação extrema pode duplicar o seu tamanho, transbordando para área central do parque. Os visitantes do parque, dispõem junto a esta bacia de umas bicicletas estáticas aquáticas, não só para a prática e exercício físico, mas contribuem também para o tratamento das águas (arejamento) permanentemente retidas através do movimento das mesmas (N7A, s.d.).



Figura 53 Anfiteatro (N7A, s.d.)

Adjacentes à área central estão oito “salas de aula” exteriores, cada uma projetada com diferentes organizações espaciais e biomas, que servem como áreas polivalentes para a comunidade universitária e moradores de modo a estimular a prática de diversas atividades ao longo do parque. Na lateral do ponto mais alto do parque, encontra-se uma bacia de detenção (capacidade total 400 m<sup>3</sup>) com a função de parque infantil, que apenas contém água nos períodos chuvosos (N7A, s.d.).

A avenida perpendicular ao parque foi re-perfilada reduzindo as faixas de veículos a motor e aumentando as ciclovias e os passeios. As bermas são

desenhadas com sistemas de bio retenção para atenuar as escorrências da estrada adjacente para aumentar o conforto térmico através de sombra (N7A, s.d.).

Em suma, numa cidade de betão compacta, o parque oferece uma paisagem natural com vasta biodiversidade, onde toda a comunidade pode explorar e interagir com a natureza e ouvir o som da água, enquanto o parque cumpre também as suas funções hidráulicas.



Figura 54 Bacia de retenção que alberga também o programa do parque infantil (N7A, s.d.)



Figura 55 Bacia de retenção, com bicicletas aquáticas que permite os utilizadores participarem no processo de movimentação das águas paradas (N7A, s.d.)

## 5.7 O caminho da água

Localização: Lisboa, Portugal

Ano: 2018 – conclusão prevista para 2021

Autor: NPK arquitetos paisagistas associados

Área: 50000 m<sup>2</sup>

Estratégia: Resiliência

Categoria: Bacias de detenção, bacia de retenção, pavimentos permeáveis.

Atualmente esta área da cidade de Lisboa, resulta da confluência entre as diversas avenidas de maior fluxo que interligam a cidade. Como tal, esta proposta tem como foco não só a resolução do nó viário e a ligação entre diversos espaços urbanos, como promover uma cidade resiliente às alterações climáticas (NPK, s.d.).

A Praça de Espanha é um dos epicentros da bacia de Alcântara, a maior bacia de Lisboa, o que leva a uma concentração do escoamento superficial proveniente dos planaltos circundantes, sendo uma área propícia a inundações na ocorrência de fenómenos de precipitação extrema. A linha de água existente encontra-se canalizada, bem como os fluxos são desviados para jusante através do sistema de drenagem pluvial da cidade. Este lugar, pela sua centralidade não só espacial, mas hídrica e viária pode ser uma nova ideia de cidade, a que se constrói em comunhão com a natureza e não em sobreposição (NPK, s.d.).

O projeto propõe o desenho de um parque urbano, como continuidade da estrutura ecológica da cidade, continuidade das vias cicláveis e pedonais, bem como o retorno das linhas de água à superfície, neste caso, a renaturalização parcial da Ribeira do Rego. Deste modo, permite também a consciencialização da comunidade a entender o valor da água como um recurso finito e fundamental para o funcionamento de todos os ecossistemas, tirando partido “da sua presença promovendo as paisagens mais produtivas que a água sabe criar” (NPK, s.d.).

A modelação da área de implantação flui através das formas da água, como um jogo entre as elevações e as depressões, que resolvem a definição dos diversos espaços, promovem a retenção e a proteção do ruído exterior (NPK, s.d.).

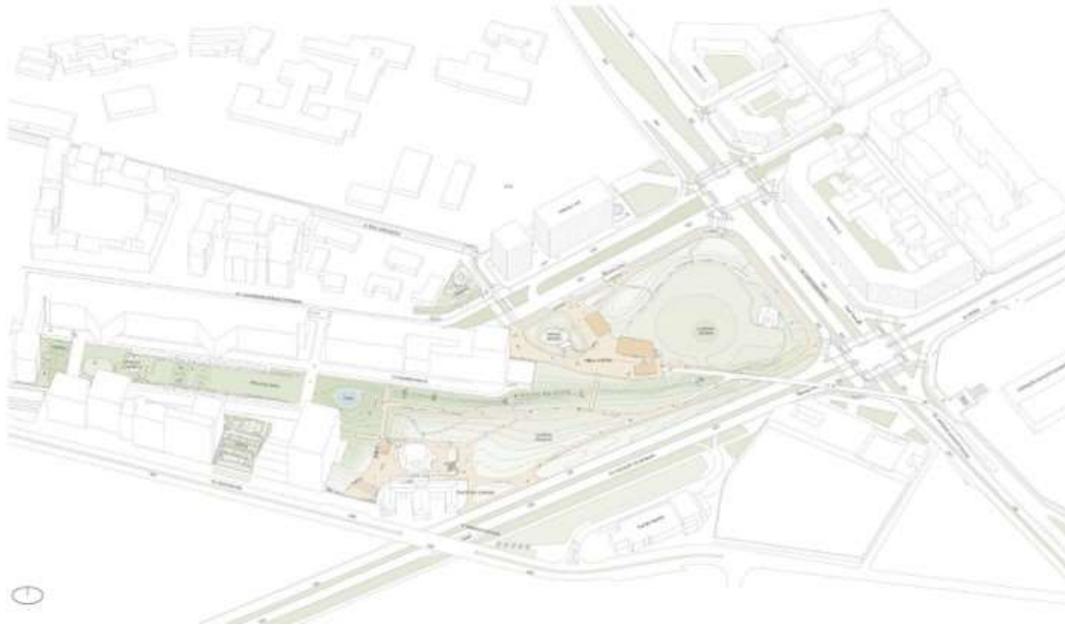


Figura 56 Axonometria da nova Praça de Espanha (NPK, s.d.)

O parque desenvolve-se a partir de um núcleo central (limites da atual Praça de Espanha) composto pela Grande Clareira e Praça Central, sendo considerados os principais espaços do projeto que, em conjunto, funcionam como um ponto de encontro, permanência e ligação. A praça pode ser considerada como sendo a distribuidora do espaço, com uma matriz de caminhos que percorrem o parque e que promovem o acesso aos bairros e espaço público circundante. Os percursos são pavimentados em betão poroso pigmentado, para promover uma percolação lenta da água, atenuando a velocidade do escoamento pluvial. A grande clareira, que se localiza em cima da linha de água, tem a dualidade de funcionar maioritariamente como um grande espaço relvado para usos recreativos e de lazer, e como bacia de detenção, capaz de reter 2000 m<sup>3</sup> em períodos de chuva. Esta é ainda reforçada com uma camada de material britado, para promover uma infiltração lenta e também está

preparada para receber as águas provenientes das coberturas dos edifícios adjacentes, desde que os mesmos contenham um sistema separativo de águas pluviais (NPK, s.d.).



Figura 57 Clareira grande, com a função de bacia de detenção (NPK, s.d.)

O perfil da linha de água é suavizado com a inclusão de pequenos diques, que permitem controlar o caudal em picos de ponta de cheia. Também o leito da linha de água é reforçado com pedras basálticas de modo a evitar a erosão da mesma, assim como constituído por zonas húmidas que promovem a biodiversidade. A ribeira flui para um lago, com a função de bacia de retenção e funciona como descarregador de superfície de nível com o órgão de descarga pluvial para o coletor de Alcântara (NPK, s.d.).



Figura 58 Vista poente sobre o lago para a praça da água (NPK, s.d.)

De forma complementar, os espaços sobrando sem função (como logradouros e baldios) são valorizados e prolongam a estrutura do parque conectando-o com a cidade. Como tal, esta infraestrutura verde estende-se para o interior do quarteirão a jusante, permitindo a implementação de um relvado polivalente, denominado de Praça da Água, pensada como área de lazer e campo de jogos, enquanto cumpre as suas funções hidráulicas de bacia de retenção e infiltração.

Em suma, o parque cria uma nova unidade urbana sendo capaz de gerar coesão no espaço público desconexo, dando continuidade à cidade consolidada com recurso a estruturas ecológicas, fazendo da cidade um metabolismo com melhores condições de habitabilidade.

### **5.8 Kendeda Building**

Localização: Geórgia, Estados Unidos

Ano: 2019

Autor: Lord Aeck Sargent e The Miller Hull Partnership

Área: 47000 m<sup>2</sup>

Estratégia: Eficiência hídrica

Categoria: Captação e armazenamento de águas pluviais, tratamento de águas residuais

O *Kendda Building for Innovative Sustainable Design*, pertence ao campus da universidade *Georgia Institute of Technology*, sendo projetado como um centro de apoio à investigação com foco na área da sustentabilidade destinado aos alunos, professores, funcionários e visitantes, com o objetivo de servir como um centro educacional para a inovação que transforma as gerações futuras. O projeto integra vários parâmetros de sustentabilidade, desde os materiais aplicados à integração com o ambiente natural envolvente. Como tal, pretende alcançar a certificação de construção sustentável *Living Building Challenge 3.1* (prevista para 2021), tendo de cumprir 20 requisitos de desempenho específicos por 12 meses consecutivos, inseridos em sete áreas de atuação (denominado por sete pétalas): o sítio, a água, a energia, o bem-estar, os materiais, a equidade, e a estética (Georgia Tech, s.d.). A pétala da água tem como requisito a implementação de estratégias “*net-positive water*” (anteriormente já referidas no subcapítulo 3.2.2.1 *Net-Zero Water*).

Para atingir este requisito o *Kendda*, adotou sistemas de águas pluviais e águas cinzentas que, em conjunto, fornecem todas as necessidades de água potável para a operação do edifício, enquanto recicla as águas residuais e pluviais para recarregar o aquífero circundante.

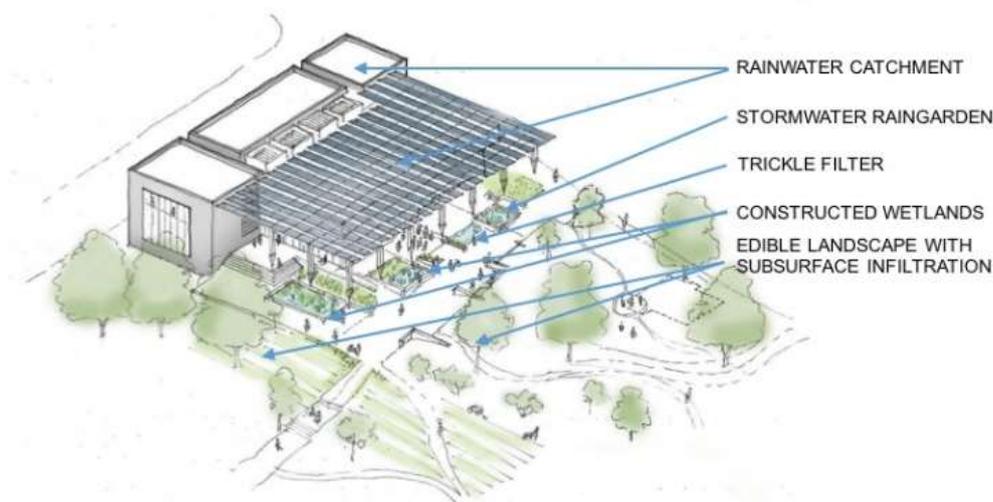


Figura 59 Localização dos sistemas adotados (Georgia Tech, s.d.)

O edifício detém o primeiro sistema aprovado de águas pluviais para água potável, ou seja, para consumo. A água da chuva é captada através da cobertura, sendo de seguida filtrada e encaminhada para uma cisterna subterrânea com uma capacidade de cerca de 190 m<sup>3</sup>. O sistema trata cerca de 41% do escoamento anual do telhado, sendo que os restantes 59% são descarregados e direcionados para os sistemas locais de águas pluviais. Conforme a necessidade da utilização de água, é bombeada da cisterna para um tanque de filtração e desinfetada através de ultravioletas de acordo com os padrões de consumo, sendo de seguida canalizada para todos os pontos de consumo de água potável, como lavatórios, chuveiros, bebedouros e a quantidade mínima para as sanitas de compostagem (Georgia Tech, s.d.).



Figura 60 Vista sobre os pântanos construídos (Georgia Tech, s.d.)

No que diz respeito às águas residuais, em vez de um sistema de águas negras, o projeto implementou um total de 12 sanitas de compostagem e quatro mictórios para separar os líquidos e converter os sólidos num composto fertilizante utilizado para adubar as plantas. As águas cinzentas são direcionadas para um tanque de tratamento primário, sendo posteriormente bombeada para um sistema de pântanos construídos (áreas húmidas), de forma a melhorar a qualidade da água

reciclada através de processos biológicos e ecológicos<sup>17</sup>, permitindo a infiltração da água, de modo a recarregar as linhas de água adjacentes. Também as águas provenientes da condensação dos sistemas de climatização, são armazenadas e tratadas para irrigação (Georgia Tech, s.d.).

Para a gestão do escoamento pluvial, as águas são retidas/detidas e infiltradas de volta no solo por meio de sistemas de bio retenção, sistemas de infiltração, pavimentos permeáveis e através do jardim de cobertura (cobertura verde intensiva). Estes sistemas são implementados em locais dispersos ao longo de um plano inclinado, de modo a criar um sistema dinâmico para atenuar os caudais de ponta e purifica as águas para infiltração (Georgia Tech, s.d.).

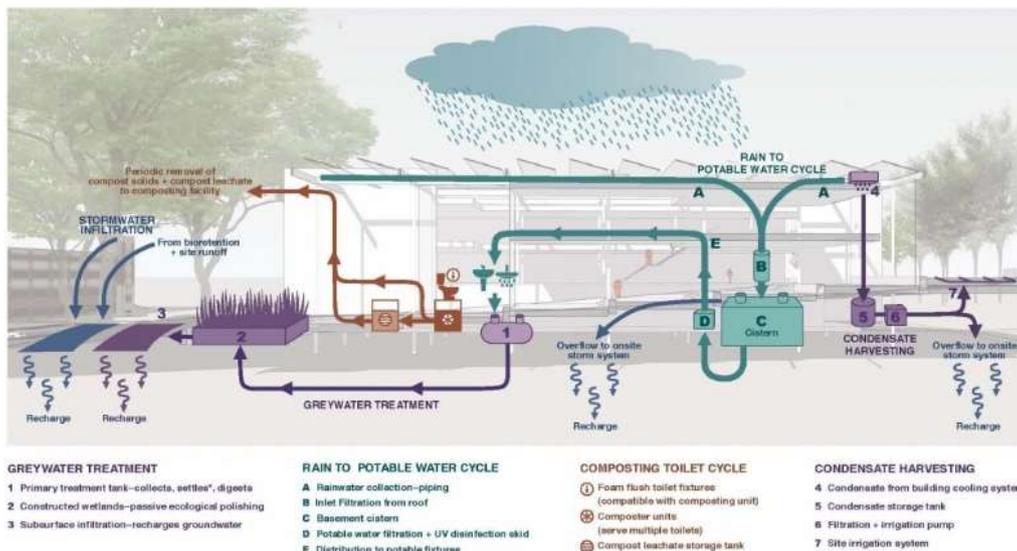


Figura 61 Circuito fechado da água no edifício (Georgia Tech, s.d.)

<sup>17</sup> Este processo de tratamento de águas residuais é também designado por “living machine” com o objetivo de tratar as águas de forma ecológica através de plantas, ao invés da adição de produtos químicos para a purificação das águas.

## Parte II

### 6 Solução de projeto

No âmbito de Projeto Final de Arquitetura foi proposto a elaboração de um complexo numa determinada área da cidade de Lisboa focado em princípios de arquitetura regenerativa que albergasse os seguintes programas: escola de sustentabilidade, centro de incubação e empreendedorismo, centro transdisciplinar e socioeconómico, residência de estudantes, comércio, espaço verde e espaço público urbano e produção alimentar. Como tal, neste capítulo é abordada a vertente prática deste ensaio, nomeadamente um projeto arquitetónico que integra a investigação teórica.

#### 6.1 O local: Cidade Universitária

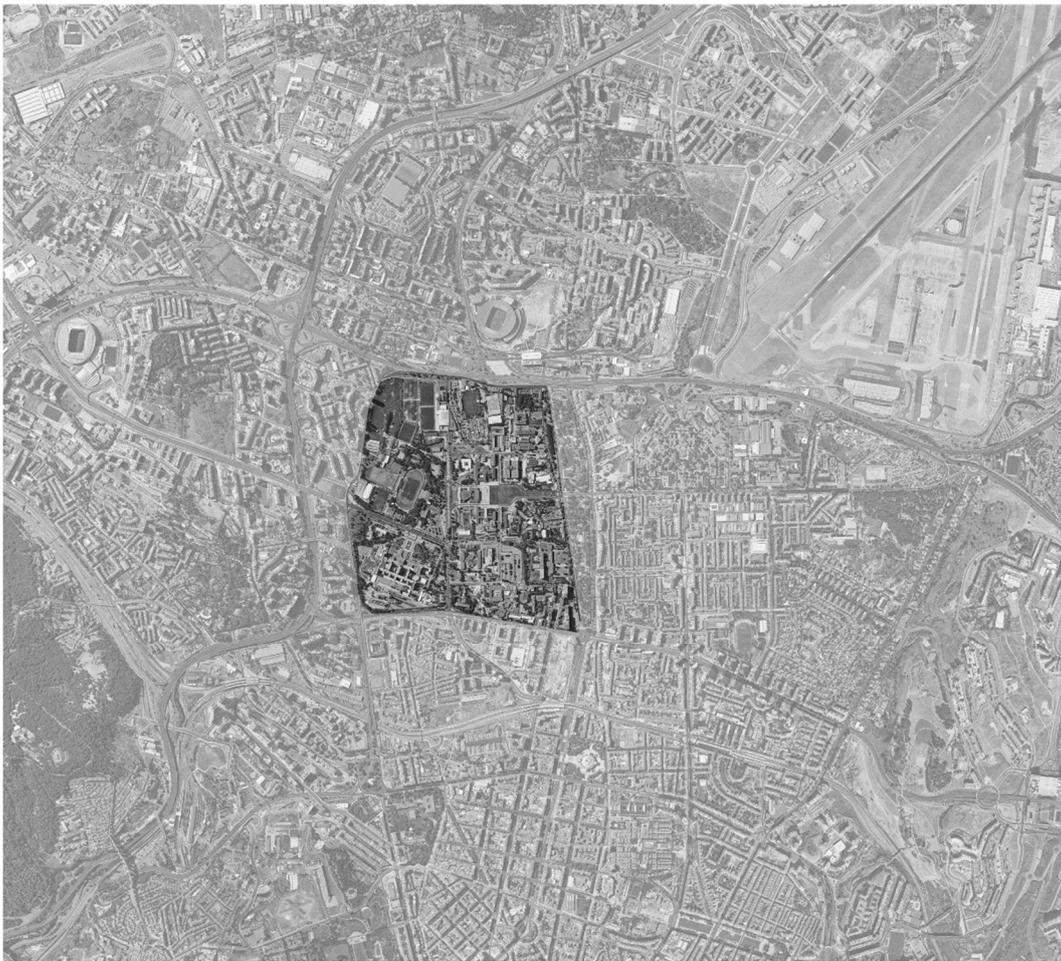


Figura 62 Ortofotomapa de localização, limites da Cidade Universitária

A Cidade Universitária localiza-se no centro da cidade de Lisboa, sendo considerada como o campus principal das instituições de ensino superior. É delimitada por uma das principais artérias de circulação de Lisboa, a II Circular (Avenida General Norton de Matos), e por outros três eixos viários de alto relevo: o Campo Grande, a Avenida das Forças Armadas e a Avenida dos Combatentes.

A área em estudo apresenta um terreno com uma topografia pouco acidentada, com um ligeiro declive de sudeste para nordeste e de poente para nascente, que se pronuncia na zona da Alameda das Universidades que desta forma reforça a monumentalidade da Reitoria no topo da mesma, e um vale pouco pronunciado onde está implantado o jardim do Campo Grande. Observa-se ainda a presença de alguns taludes que se assumem como barreiras naturais que dividem o espaço onde se inserem os edifícios.

É abrangida pelos limites da bacia de Alcântara, a maior da cidade, sendo que não apresenta risco de inundação à exceção da zona do Jardim do Campo Grande que apresenta risco moderado.

O Campo Grande é parte integrante do sistema ecológico da cidade sob sistema de corredor verde, sendo por isso considerado um espaço verde de permanência com qualidade que define identidade a esta área, contribuindo não só para a biodiversidade urbana como promove a interação social. Em contrapartida no interior da Cidade Universitária a maioria das áreas verdes são espaços de diversas escalas, desarticulados e sem qualidade para permanência podendo classificar-se como elementos permeáveis residuais das massas construídas.

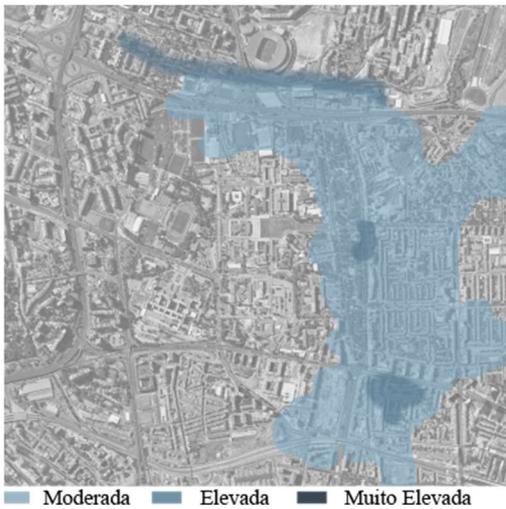


Figura 63 Vulnerabilidade a risco de inundações



Figura 64 Áreas verdes

A morfologia singular da Cidade Universitária distingue-se da restante malha envolvente de caráter habitacional e misto, nomeadamente dos Bairros de Alvalade, Telheiras, Benfica e Avenidas Novas. A mancha edificada é dispersa e constituída por edifícios públicos de grandes dimensões, implantados de forma autónoma sem uma relação de conjunto e comunicação entre os mesmos, onde o próprio espaço público, por excesso e falta de identidade, desenham os limites do local como enfatiza a monumentalidade dos edifícios.

Para além das principais artérias de circulação que delimitam o campus, o mesmo apresenta no seu interior vias de acesso local que interligam as universidades, verificando-se estacionamento disperso e concentrado pelas mesmas. Ainda assim, o local apresenta elevados níveis de acessibilidade, não só pela sua localização central na cidade, mas também pela variedade da rede de transportes públicos que o conectam com as restantes partes da cidade. Os principais acessos ao campus são através do metro do Campo Grande, metro da Cidade Universitária, o metro de Entrecampos e apresenta várias paragens de autocarro na alameda e nas vias principais circundantes.

Com a expansão dos percursos de mobilidade suave pela cidade, destaca-se a existência de vias cicláveis e pedonais no Campo Grande e junto ao Estádio Universitário, bem como vários pontos de partilha de transportes, nomeadamente

bicicletas e trotinetas. Ainda assim, não existe um percurso ciclável contínuo pelo interior da Cidade Universitária, bem como as vias pedonais se encontram desprezadas.

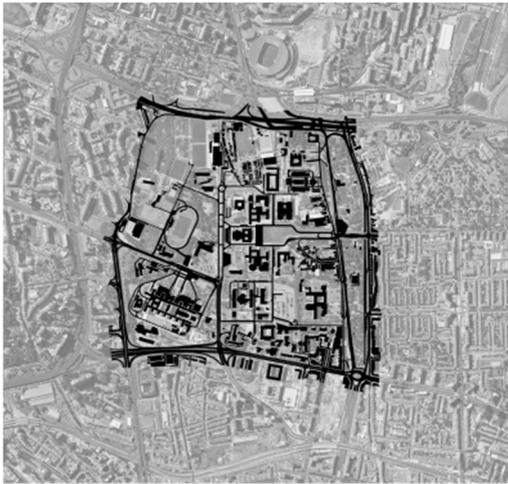


Figura 65 Cheios e vazios



Figura 66 Transportes

### 6.1.1 Contextualização histórica

O território que até ao século XX era caracterizado como uma zona dos arredores de Lisboa composta por quintas e palacetes, começa a sofrer alterações em 1920; quando a Comissão dos Edifícios Escolares (de Medicina) da Universidade de Lisboa (institucionalizada em 1911), adquirem os terrenos adjacentes ao Campo Grande, no sítio da Palma de Cima, apresentando um relatório em que afirmam (PEDROSA, 2009):

“Este terreno tem a área que necessitamos; é plano, mas com um ligeiro declive; está situado a uma cota média de 90 metros, superior em latitude em relação à do Campo Grande, constituindo com os terrenos vizinhos um extenso planalto. Perto dele existem terrenos em idênticas circunstâncias, convenientes para outras instalações universitárias, principalmente os que o prolongam para leste e chegam ao Campo Grande, na altura da sua extremidade meridional, perto do Mercado Geral de Gados. Uma vez conjugadas as novas construções com o plano de arruamentos previsto pela Câmara Municipal e já em princípio de realização, os terrenos terão fácil acesso por duas avenidas perpendiculares ao Campo Grande e

por outras que vão ao sítio do Rego, que lhe fica perto. Todas estas considerações, juntas às qualidades do terreno e ao valor das edificações que lá existem e que podem, em parte, ter aplicação futura determinaram a comissão fazer a compra dos terrenos (...)” (PEDROSA, 2009)

Como tal, surgem os primeiros limites ténues para a implantação de edifícios universitários nesta área, sendo estipuladas uma década mais tarde, a Quinta da Torrinha e a Quinta da Nazaré para a edificação da Faculdade de Medicina e da Faculdade de Farmácia (SIPA, s.d.).



Figura 67 Planta da área de estudo de Silva Pinto, de 1911, onde se observam as quintas e os palacetes da época

Com a instabilidade política que se fazia sentir, a partir da década de 20 em Portugal, com a implementação de uma ditadura militar e por conseguinte o regime do Estado Novo o país enfrentava uma crise e a falta de capital contribuiu para o

atraso da elaboração de propostas para concretização destes edifícios (PEDROSA, 2009). Só nos anos 30 surge a primeira proposta referente ao desenho da Cidade Universitária, por parte do arquiteto Carlos Ramos, cujo intuito era concentrar os edifícios de ensino universitário na mesma área, onde já se encontravam a Faculdade de Medicina e de Farmácia. Propõe a implantação a partir de um eixo principal e um edifício centrais; um Hospital Escolar; Faculdades de Medicina, de Farmácia, de Letras, de Ciências e de Direito; e por fim uma zona habitacional (PEDROSA, 2009).

No mesmo ano, é apresentado o “Plano Integral de Caeiro da Mata” (Reitor), onde propõe a implantação da Reitoria; da Faculdades de Letras, de Ciências, de Direito, de Farmácia, de Medicina e o Hospital Escolar; espaços destinados à prática desportiva e residências para os estudantes. Como proposta urbana, a implantação do conteúdo programático era desenhada esquematicamente sobre a proposta de grandes vias circulares, de Ressano Garcia (de 1903), para a zona do Campo Grande (PEDROSA, 2009).

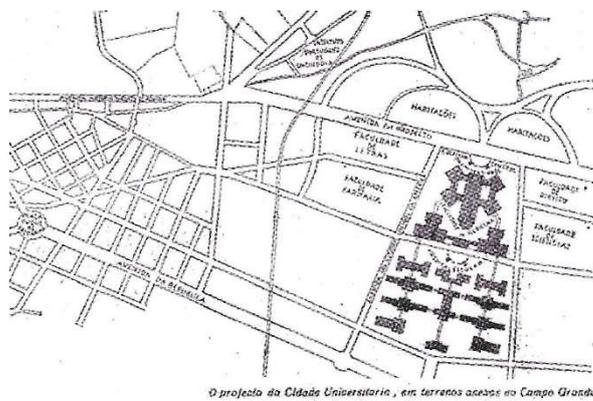


Figura 68 Proposta da Cidade Universitária de Lisboa, de Carlos Ramos, 1930 (PEDROSA, 2009)

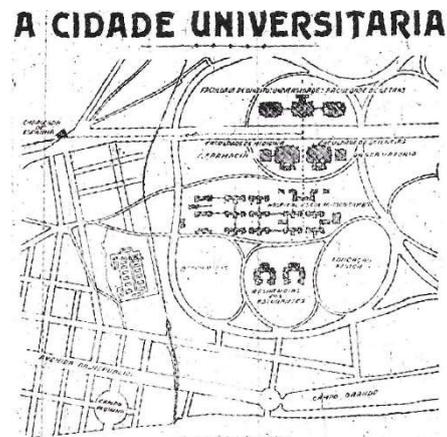


Figura 69 Projeto Integral de Caeiro da Mata, 1930 (PEDROSA, 2009)

Em 1936, a Comissão Administrativa dos Novos Edifícios da Universidade de Lisboa (CANEU), apresentam a “Planta de Urbanização dos Terrenos da Palma para os Edifícios Universitários e o Hospital Escolar”, sendo visível as intenções de parcelamento da área. Neste mesmo ano, o arquiteto Porfírio Pardal Monteiro é

convidado para a elaboração do anteprojeto para o conjunto da Reitoria e das faculdades de Letras e de Direito. No ano seguinte, a CANEU volta a apresentar uma nova proposta, a “Planta de Urbanização dos Terrenos a Oeste do Campo 28 de Maio para Edifícios Universitários e Hospital Escolar”, como tal, foi aprovada a compra para aquisição dos terrenos para a edificação da Faculdade de Letras e para a Faculdade de Direito (PEDROSA, 2009).

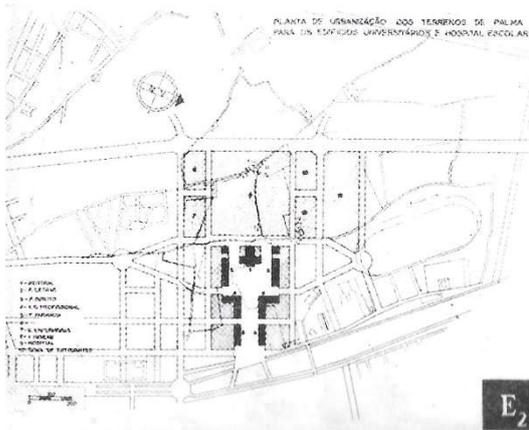


Figura 70 Planta de Urbanização dos Terrenos da Palma para os Edifícios Universitários e o Hospital Escolar, CANEU, 1935-36 (PEDROSA, 2009)

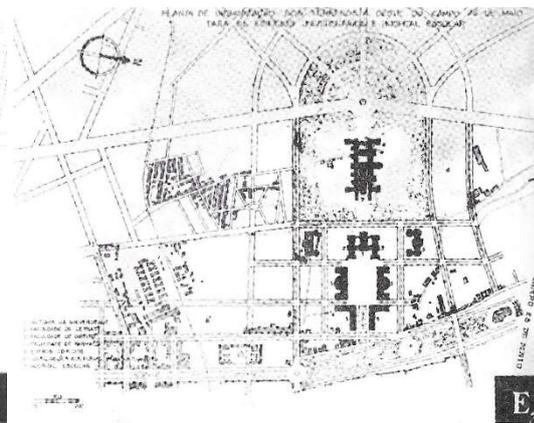


Figura 71 Planta de Urbanização dos Terrenos a Oeste do Campo 28 de Maio para Edifícios Universitários e Hospital Escolar, CANEU, 1937 (PEDROSA, 2009)

Ao fim de quase 40 anos da institucionalização da Universidade de Lisboa, começam a ser aprovados e contruídos os edifícios que vêm a compor a Cidade Universitária. O primeiro edifício a ser concluído, em 1953, foi o Hospital Universitário, atual Hospital de Santa Maria, da autoria do arquiteto alemão Hermann Distel. Posteriormente em 1958 é construída a Faculdade de Letras e de Direito, da autoria do arquiteto Pardal Monteiro, que definem a área central do Campus e delimitam a Alameda das Universidades. É estabelecida legalmente como Cidade Universitária, em 1960, sendo concluído o edifício da Reitoria (SIPA, s.d.).

Após a conclusão dos edifícios que constituem o núcleo central da Cidade Universitária, à imagem de uma arquitetura imponente da época do Estado Novo,

nas décadas seguintes, são contruídas as Faculdades de Ciências, iniciada em 1997; tendo sofrido vários acrescentos até aos dias de hoje; Psicologia e Ciências da Educação, entre 1987 e 1990, da autoria do arquiteto Manuel Tainha; Medicina Dentária; e o ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa em 1972 da autoria de Hestnes Ferreira, sendo expandido anos depois. Em adição aos edifícios de ensino, são edificadas ainda a Biblioteca Nacional, inaugurada em 1969, da autoria do arquiteto Pardal Monteiro, e o Arquivo Nacional da Torre do Tombo do arquiteto Arsénio Cordeiro (SIPA, s.d.).

Ainda assim, é de salientar as críticas que surgiram anos após a construção do campus devido à ausência de arquitetos e urbanistas na elaboração de um plano estratégico conjunto para a Cidade Universitária podendo considera-se que a mesma é constituída por “edifícios-ilhas, postados hieraticamente no vazio inóspito de grandes vagos espaços, não comunicam no seu interior senão por anónimos corredores e com o exterior senão por solenes escadarias” (MARQUES, 2013). Como tal, as diferentes áreas destinadas para os vários edifícios de ensino que resultaram na fragmentação do espaço interior, o longo período e épocas de construção e as respostas diferentes a cada fase, resultaram numa falta de unidade e coesão no atual conjunto que compõe a Cidade Universitária (MARQUES, 2013).

### **6.1.2 Área de intervenção**

O terreno a intervir situa-se na ponta sul da Cidade Universitária, sendo considerado como um espaço sobranante na malha resultante da evolução do campus; transformado em parque de estacionamento, é delimitado pelo que se pode denominar por traseiras das várias faculdades circundantes (ISCTE, IGOT, Medicina Dentária e Psicologia) e pela monumental Biblioteca Nacional. É uma área relativamente plana com alguns aterros onde ainda se conseguem observar a implantação dos antigos pavilhões da Escola Secundaria da Cidade Universitária, construída em 1980 e demolida em 2003 (Archeevo, s.d.); com declives de sul para norte e de poente para nascente; e com taludes que confrontam com os limites do jardim da Biblioteca Nacional e do jardim da Faculdade de Psicologia.



Figura 72 Escola Secundária da Cidade Universitária, 2003

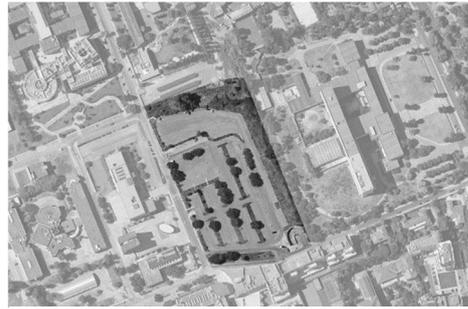


Figura 73 Ortofotomapa do terreno a intervir

### 6.1.3 O clima

Os dados meteorológicos e climáticos aqui apresentados resultam da análise para um período de 30 anos, entre 1971 a 2000 (IPMA, s.d.). Lisboa apresenta um clima do tipo mediterrânico caracterizado por verões secos e invernos amenos e húmidos, com a presença de alguns nevoeiros ou neblinas matinais e ventos predominantes de norte.

Ao longo do ano verificam-se oscilações graduais e sazonais da temperatura, atingindo no verão um valor médio de 22,5°C, no mês de agosto, e um mínimo no inverno de 9,9°C em janeiro (IPMA, s.d.).

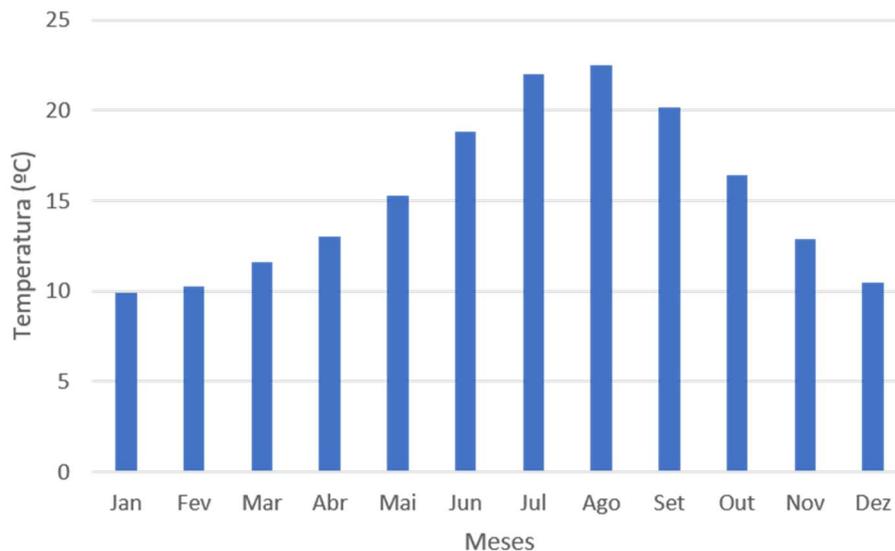


Figura 74 Temperatura média da Área Metropolitana de Lisboa para o período de 1971-2000 (IPMA, s.d.)

A precipitação está presente em cerca de oito meses do ano, entre os meses de outubro e maio, sendo que a ocorrência máxima de chuva ocorre no mês de dezembro com uma acumulação total mensal de 112,2mm. Os períodos praticamente com a ausência de precipitação ocorrem em quatro meses, de junho a setembro, atingido o ponto mais baixo no mês de julho com uma média mensal de 3,9mm (IPMA, s.d.).

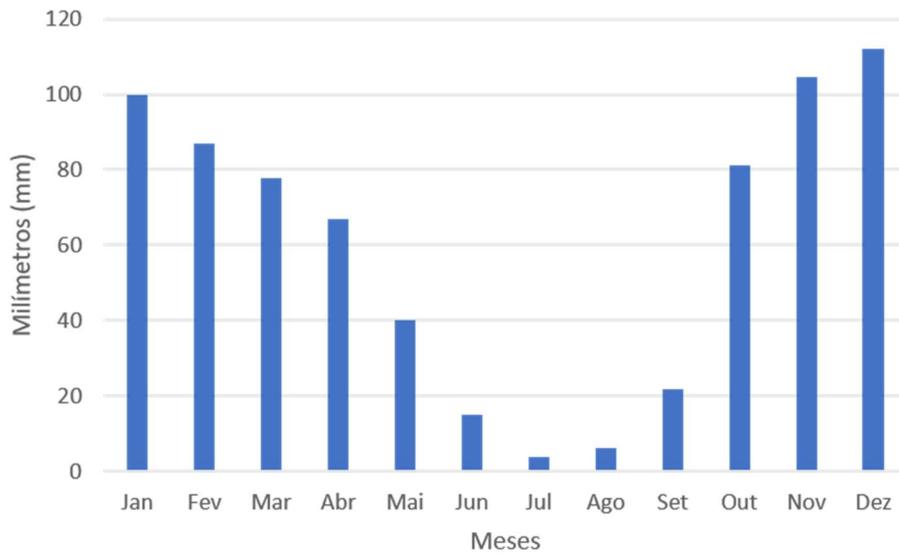


Figura 75 Precipitação média para a Área Metropolitana de Lisboa no período de 1971-2000 (IPMA, s.d.)

Lisboa apresenta uma humidade relativa superior a 70% em oito meses do ano, atingindo o valor médio mais alto em janeiro e dezembro com uma média de 84%. Verifica-se o período mais abafado com a duração de três meses, entre julho e setembro, atingindo o valor médio mais baixo de 62% em agosto (IPMA, s.d.).

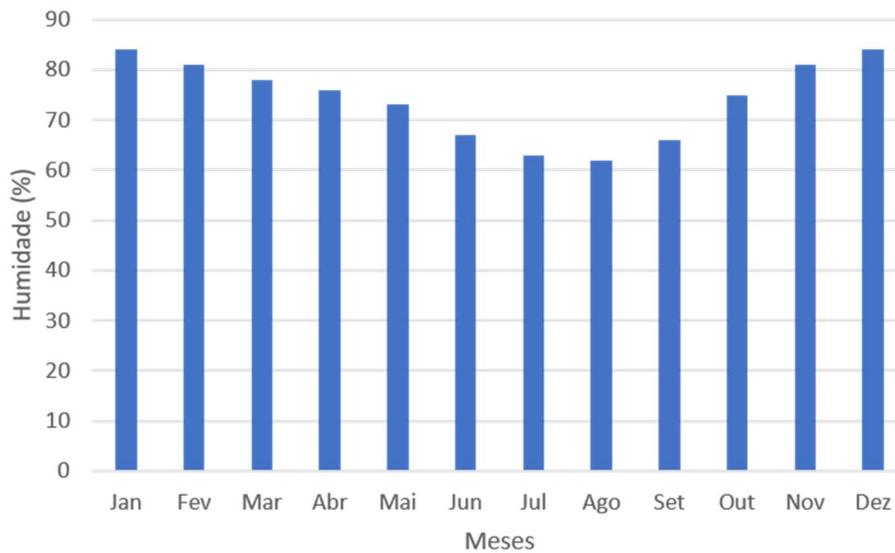


Figura 76 Humidade relativa para a Área Metropolitana de Lisboa no período de 1971-2000 (IPMA, s.d.)

## 6.2 O *Masterplan*

O programa exerceu uma forte influência na implantação dos edifícios, estes foram distribuídos em dois grupos os de carácter público e os de carácter privado. De carácter público são localizados a poente em confronto com a Rua António Flores, nomeadamente a Escola de Sustentabilidade e o centro transdisciplinar socioeconómico, e transversalmente a estes o centro de incubação e o centro de estudos. De carácter mais privado a residência de estudantes, a nascente, junto dos jardins da Biblioteca Nacional e da Faculdade de Psicologia, a norte.

A implantação destes programas procurou estabelecer relações volumétricas com a envolvente. A forma estreita e comprida que se implantam no terreno é resultado da vontade de estender o jardim orgânico da Faculdade de Psicologia e estabelecer uma relação de paralelismo com a Biblioteca Nacional. Desta forma o volume da Residência confronta a biblioteca, no alinhamento da Faculdade de Psicologia, como uma cota intermédia que cria uma relação visual vertical entre os dois edifícios. E o volume da Escola estabelece um paralelismo com a rua, através de um muro que delimita e dá escala à rua, pontuado por dois elementos suspensos, nomeadamente o centro de incubação e centro de estudos. A sul ergue um volume

e que confronta o ponto alto do alçado norte do ISCTE funcionando como um ponto de referência em todo o projeto.

O projeto pretende criar uma nova centralidade na Cidade Universitária, que procura coser a malha existente e criar relações com as universidades adjacentes, com a Biblioteca Nacional e com o Campo Grande, através da articulação de percursos e o prolongamento de espaços verdes.

É estruturado por uma diagonal, que pretende reforçar a permeabilidade de duas zonas de maior fluxo: o metro da cidade universitária e entrecampos, e um eixo, que é um prolongamento das áreas verdes permeáveis do jardim do Campo Grande e do jardim da Faculdade de Psicologia. A articulação dos espaços exteriores foi uma premissa determinante, deste modo a extensão dos espaços verdes envolventes, não só atuam como elemento regulador da paisagem, mas também como elemento que promove a continuidade urbana. O projeto recria e conecta a ambiência do Jardim de Psicologia, pontuado por momentos de contacto humano com a água e a natureza. As relações visuais e a permeabilidade do programa proposto são enfatizadas pelas diferentes cotas de acesso.

O resultado da extensão e união do jardim de psicologia e o jardim da Biblioteca é um parque urbano, pontuado pelos dois volumes suspensos que dão escala e subdividem o espaço como uma barreira visual que não compromete a circulação continua ao nível do térreo. O parque urbano alberga zonas de recreio e de estar, é um local adequado para práticas desportivas, convívios e passeios; uma zona de cultivo e um pomar, que servem as cantinas e cafetarias do programa com produtos frescos. Aliada ao prolongamento da estrutura verde, promove a biodiversidade na paisagem urbana, como contribui para um microclima que melhora o conforto térmico humano, atenuando o efeito de “ilha de calor”.

A área de intervenção dispõe de uma rede de transportes públicos alternativos e de mobilidade suave. Como tal, propõem-se o prolongamento das vias cicláveis e o alargamento de passeios, optando-se por não conceber estacionamento, que de forma estratégica estes fatores contribuem para a redução dos habituais fluxos e congestionamento de automóveis (principalmente na rotunda de Entrecampos onde confluem as principais avenidas e na Alameda das

Universidades), promove as redes de transportes que conectam a cidade e contribuem também para a redução dos níveis de CO<sub>2</sub>, melhorando a qualidade do ar.

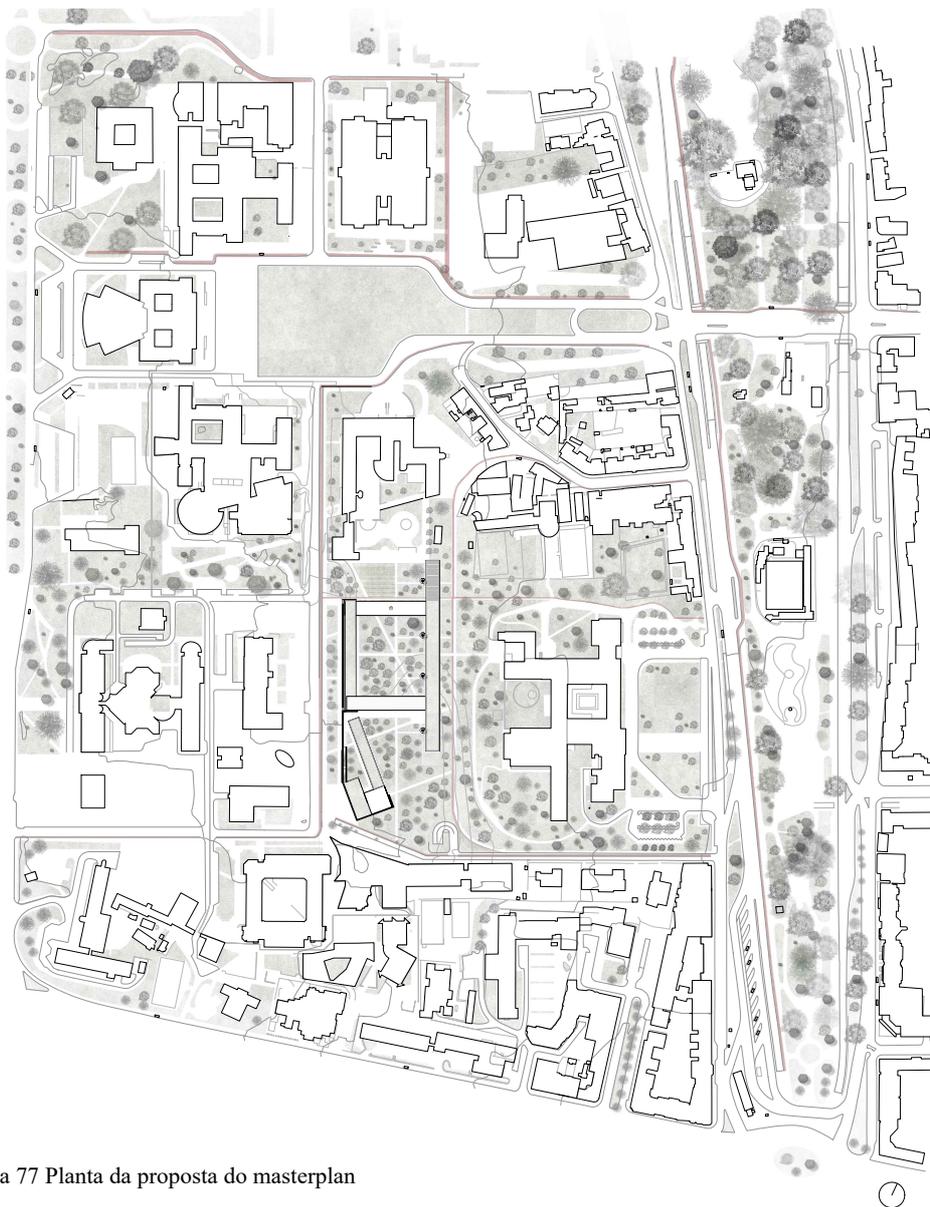
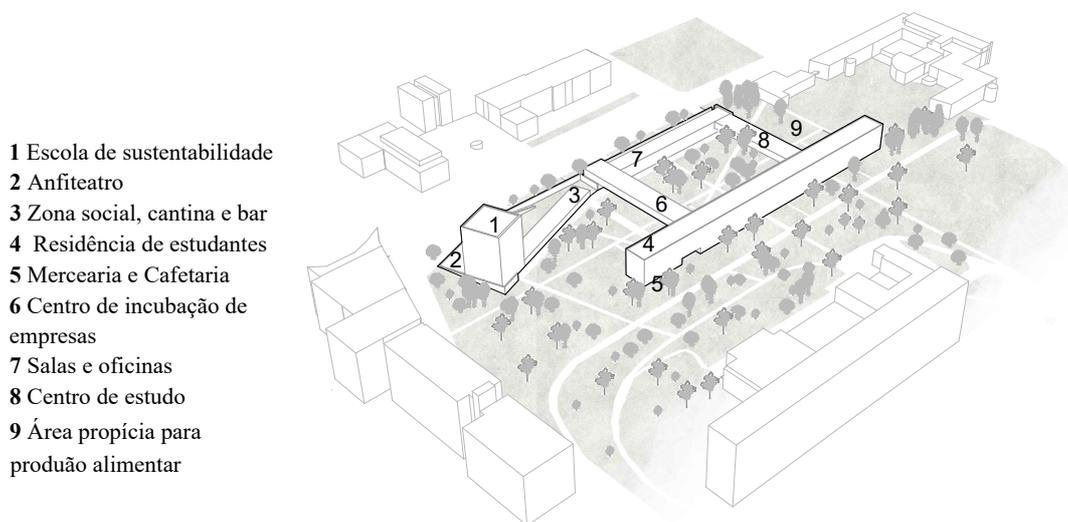


Figura 77 Planta da proposta do masterplan



- 1 Escola de sustentabilidade
- 2 Anfiteatro
- 3 Zona social, cantina e bar
- 4 Residência de estudantes
- 5 Mercearia e Cafeteria
- 6 Centro de incubação de empresas
- 7 Salas e oficinas
- 8 Centro de estudo
- 9 Área propícia para produção alimentar

Figura 78 Axonometria esquemática da proposta

### 6.3 Residência de estudantes e Centro de estudos

A implantação aumenta gradualmente o seu grau de privacidade, de sul para norte e de poente para nascente. Também a sua verticalidade exprime essa dicotomia entre público e privado partindo de um nível térreo permeável delimitado por pilares, que se estende em altura com uma zona privada de residência. Como tal, são definidos três programas: residência de estudantes, centro de estudos e um espaço de comércio.

A entrada principal da residência faz-se através da cota 88, onde está também implantada a mercearia e café que serve de apoio aos residentes e o parque para bicicletas. O edifício organiza-se de forma linear através de uma galeria idealizada como um espaço “*in-between*”, ou seja, um espaço de transição entre o exterior e o interior. A galeria, é o elemento distribuidor do espaço que recebe todos os acessos verticais que pontuam a fachada poente, tendo como plano de fundo uma malha que permite o contacto visual com o parque urbano, mas também é um local destinado à permanência e convívio entre os residentes.

A residência subdivide-se em núcleos de 12,6m por 12,6m, que resultam da interseção do volume longitudinal da residência com os volumes transversais à mesma, sendo composta por um total de 53 núcleos, dos quais 45 são áreas habitacionais e oito são espaços sociais, nomeadamente ginásio, lavandaria, áreas de lazer e de jogos que se distribuem ao longo dos pisos. Cada núcleo habitacional, tem capacidade para seis residentes, compostos por uma zona privada com dois quartos individuais e dois quartos duplos, e área comum, onde se localiza a cozinha e espaço de refeições e de estar e duas instalações sanitárias.

Os espaços privados individuais com 10,9m<sup>2</sup>, dividem-se em área de dormir e de estudo, com o vão a ocupar a largura do quarto permite a entrada de luz e ventilação natural, conferindo mais amplitude ao quarto. Nos quartos duplos com 14,5m<sup>2</sup>, optou-se por recuar o espaço de dormir e subdividi-lo verticalmente, em beliche, de forma a conferir alguma privacidade aos utilizadores, ficando o espaço de trabalho em primeiro plano. A tipologia de mobilidade reduzida está localizada junto aos espaços sociais onde se encontram os elevadores.

As áreas de estudo foram pensadas de uma forma transversal, ou seja, que pudessem ser utilizadas não só pelos alunos residentes, mas que toda a comunidade acadêmica da Cidade Universitária pudesse usufruir do mesmo, originando o centro de estudos. Organiza-se através de um acesso central que distribui o espaço, onde na extremidade poente contem zona de entrada e segurança, as instalações sanitárias e o restante espaço é uma sala de estudo. O lado que se interliga com a residência, é caracterizado por uma planta aberta que se molda consoante as necessidades dos estudantes, composto por paredes pivotantes que permite a subdivisão do espaço num máximo de 12 salas de 15,9m<sup>2</sup>, podendo dividir-se em áreas de outras dimensões. De forma a manter a permeabilidade visual e de circulação pelo parque urbano, o edifício encontra-se assente em pilares e as suas fachadas de vidro marcadas horizontalmente pelas lajes e pela inclinação da cobertura, sendo verticalmente marcada pelos pilares e os caixilhos das janelas, não só enfatiza essa permeabilidade, como permite a ventilação natural de todo o espaço.

A fachada nascente é marcada pelo ritmo da estrutura de aço preta, vigas e pilares, que conferem uma reticula ritmada que se interliga com a envolvente; e os painéis em aço corten que revestem a fachada enfatizam a horizontalidade do edifício. A fachada nascente caracteriza-se pelos pontos de acesso circulares em aço corten, que contrastam com a rede que delimita a galeria, adquirindo uma ideia de movimento e partilha com o parque urbano. Em contraste com a frieza do aço no exterior, foi utilizado interiormente materiais mais quentes traduzidos numa sensação de conforto, como tal optou-se por utilizar CLT (*cross laminated timber*) à vista, e sendo estrutural diminuiu a utilização de outros materiais para a mesma função.

### **6.3.1 Água: captação, armazenamento, tratamento e uso**

O projeto procurou responder e incluir os três pilares para uma cidade sensível à água, como tal destacam-se a integração desses princípios:

- Cidades como bacias hidrográficas

Recorreu-se à utilização de fontes de água alternativas no projeto, nomeadamente a recolha de águas pluviais, água atmosférica e águas residuais

recicladas, de modo a criar um ciclo de água fechado no edifício com o intuito de alcançar a autossuficiência hídrica do mesmo.

Na residência, utiliza-se toda a área da cobertura verde para a captação de águas pluviais; como a materialidade da fachada poente, uma rede composta por uma malha de algodão com hidrogel (material explorado no subcapítulo 4.8.2), que para além da sua função de guarda, permite captar a água em suspensão na atmosfera. As águas recolhidas pela cobertura e pela rede são conduzidas por caleiras embutidas no pavimento da galeria e pontualmente encaminhadas por tubos de queda metálicos até uma vala com um dreno no piso térreo. No centro de estudos, o desenho da sua cobertura de duas águas, inclina para um óculo central encaminhando as águas pluviais em forma de cascata, para uma pequena bacia com um dreno no piso térreo.

Os principais usos de água na residência são para autoclismos, duches, lavatórios, e máquinas de lavar roupa. Com base na bibliografia do subcapítulo 2.3.2 consumos domésticos, foi estabelecido um consumo diário de 80 litros por residente, resultante da média estipulada pela OMS e da análise dos diversos consumos, incluídos nesse valor que a residência está equipada com dispositivos economizadores. Para proceder aos cálculos do volume de água a captar, recorreu-se ao período dos últimos 10 anos para obter precipitação média anual.

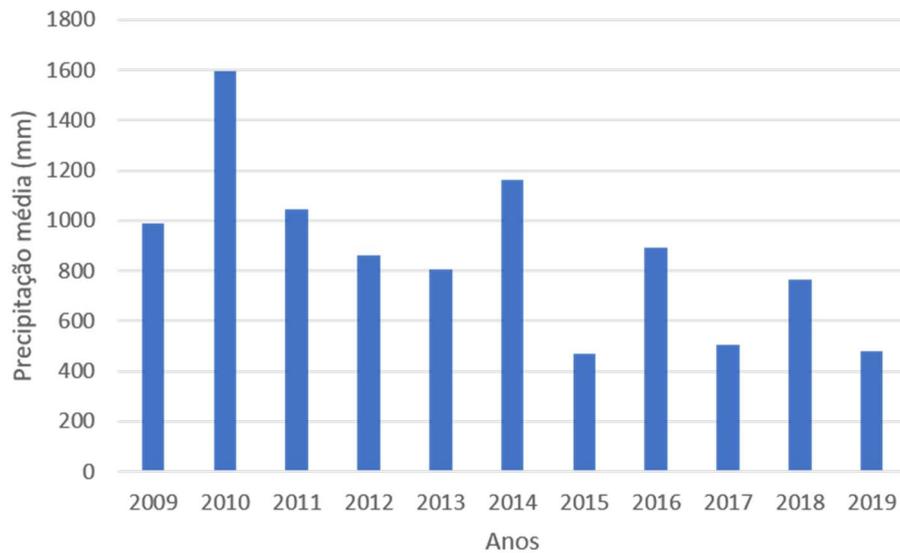


Figura 79 Precipitação média anual em Lisboa, no período dos últimos 10 anos (PORDATA, s.d.)

Com uma área de captação total de 4878,1 m<sup>2</sup>, a água captada pelas coberturas e pela rede da fachada, é encaminhada para uma cisterna subterrânea com uma capacidade de 182 m<sup>3</sup>. A cobertura verde e os drenos cobertos com material britado atuam como um sistema de filtragem das águas pluviais, que as encaminham até à cisterna, posteriormente passa por um tratamento ultravioleta e é então bombeada para os pontos de consumo.

Após a utilização, sob a forma de efluente esta água é dirigida para um tanque para armazenamento da mesma. O tratamento das águas residuais é baseado no sistema utilizado no caso de estudo *Kendeda Building*, com recurso a um pântano construído ou a um sistema “*living machine*”. A primeira etapa consiste na separação e decomposição dos sólidos dos líquidos, num primeiro tanque, através de um processo anaeróbico; de seguida é bombeado para um sistema de pântanos que incluem plantas como juncos, sendo a etapa mais demorada do circuito onde é tratada através de processos biológicos proporcionadas pela vegetação e pelos microrganismos existente; à saída do tanque de pântanos água passa por um sistema de filtragem que remove partículas mais finas e por gravidade é encaminhada para a cisterna subterrânea onde é armazenada juntamente com as águas pluviais; por fim passa por um tratamento ultravioleta e é bombeada para os pontos de utilização.

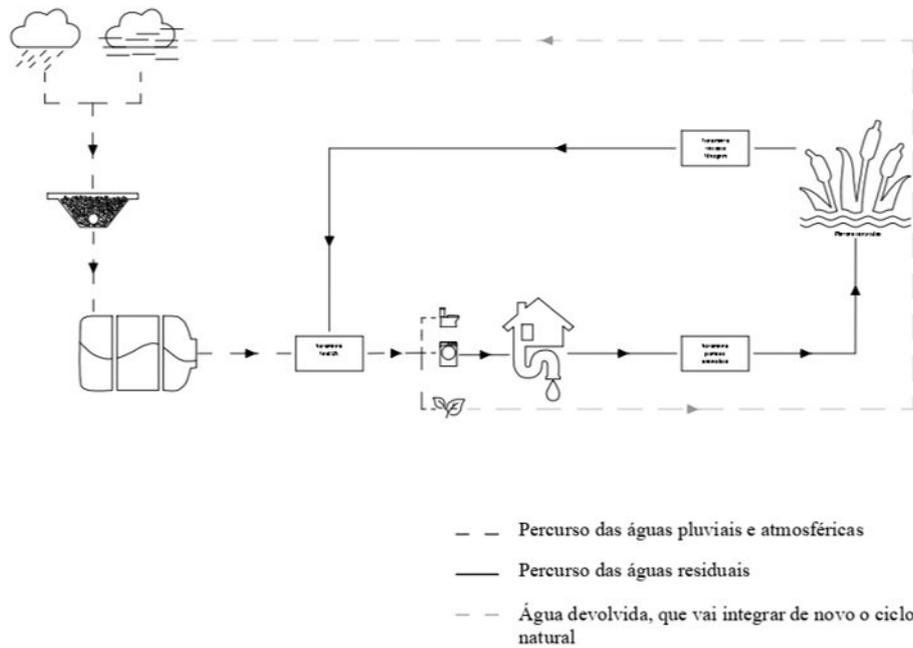


Figura 80 Esquema conceptual do circuito da água no projeto

Tabela 11 Síntese dos volumes de água a aproveitar

<b>Consumo (m<sup>3</sup>/ano)</b>	7358,4
<b>Águas pluviais (m<sup>3</sup>/ano)</b>	1210
<b>Água atmosférica (m<sup>3</sup>/ano)</b>	706,36
<b>Reciclagem de águas residuais tratadas (m<sup>3</sup>/ano)</b>	3495,2
<b>Total a aproveitar (m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>5411,56</b>

Pode observar-se na tabela 11 os volumes de água que se consegue captar e reciclar com os sistemas aplicados no projeto. Verifica-se que o total a aproveitar não é suficiente para cobrir o consumo total anual, mas consegue-se de forma positiva uma autossuficiência hídrica de cerca de 73%, o que faz com que somente seja necessário o abastecimento da água da rede pública para a utilização de água potável para consumo, sendo a restante reciclada para instalações sanitárias, máquinas de lavar roupa, limpezas e irrigação.

- Cidades que prestam serviços ecossistêmicos

A prioridade foi devolver a permeabilidade ao terreno de implantação, deste modo a projeção de um parque urbano e a elevação do piso térreo dos edifícios proporciona a infiltração das águas no solo; o amortecimento do escoamento até à zona do Campo Grande que apresenta um risco de inundação moderado; e a criação de um lugar na paisagem propício para biodiversidade urbana.

- Cidades que compreendem comunidade sensíveis à água

Os sistemas de captação e tratamento de águas foram desenhados de forma visível (sempre que possível) proporcionando a educação não só dos residentes bem como da comunidade para uma utilização sustentável e consciente dos recursos hídricos através do contacto com a água de diversas formas: as gotículas que se fixam na rede da fachada poente; através da cobertura inclinada que conduz a água pelas escadas do edifício de estudo; e o tanque de tratamento com pântanos construídos junto à zona de comércio.

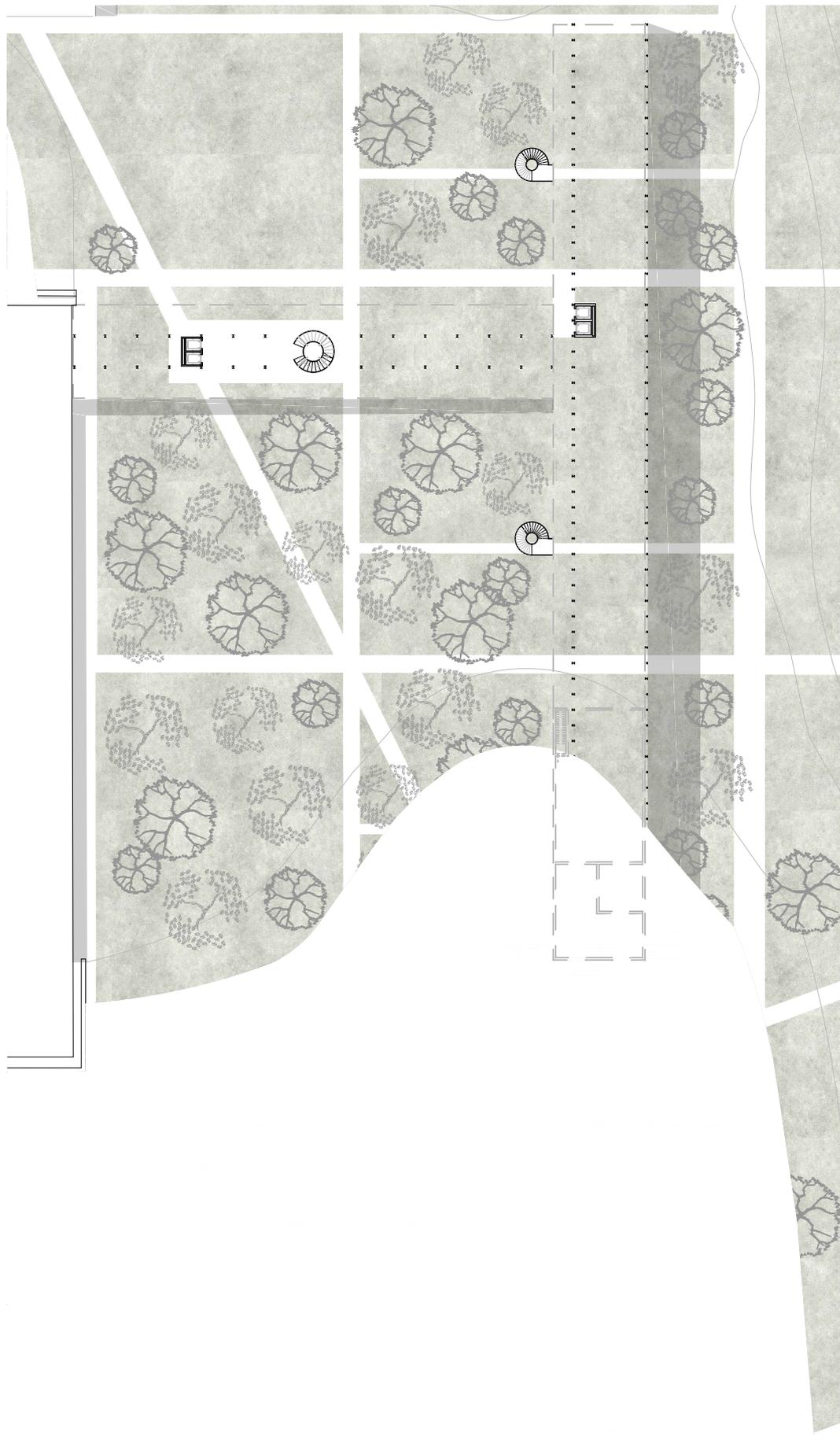


Figura 81 Planta à cota 86



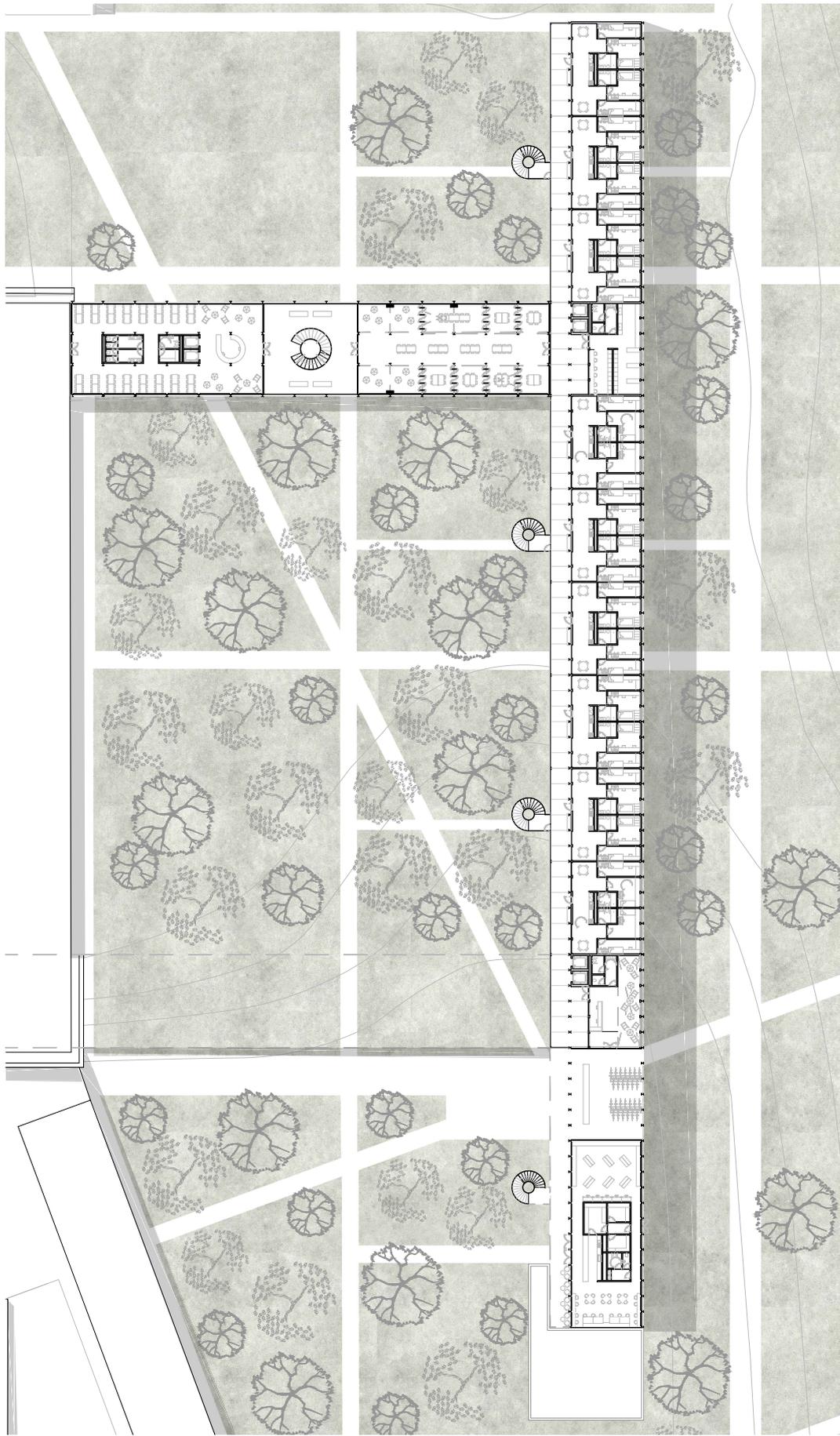


Figura 82 Planta à cota 90 (entrada)

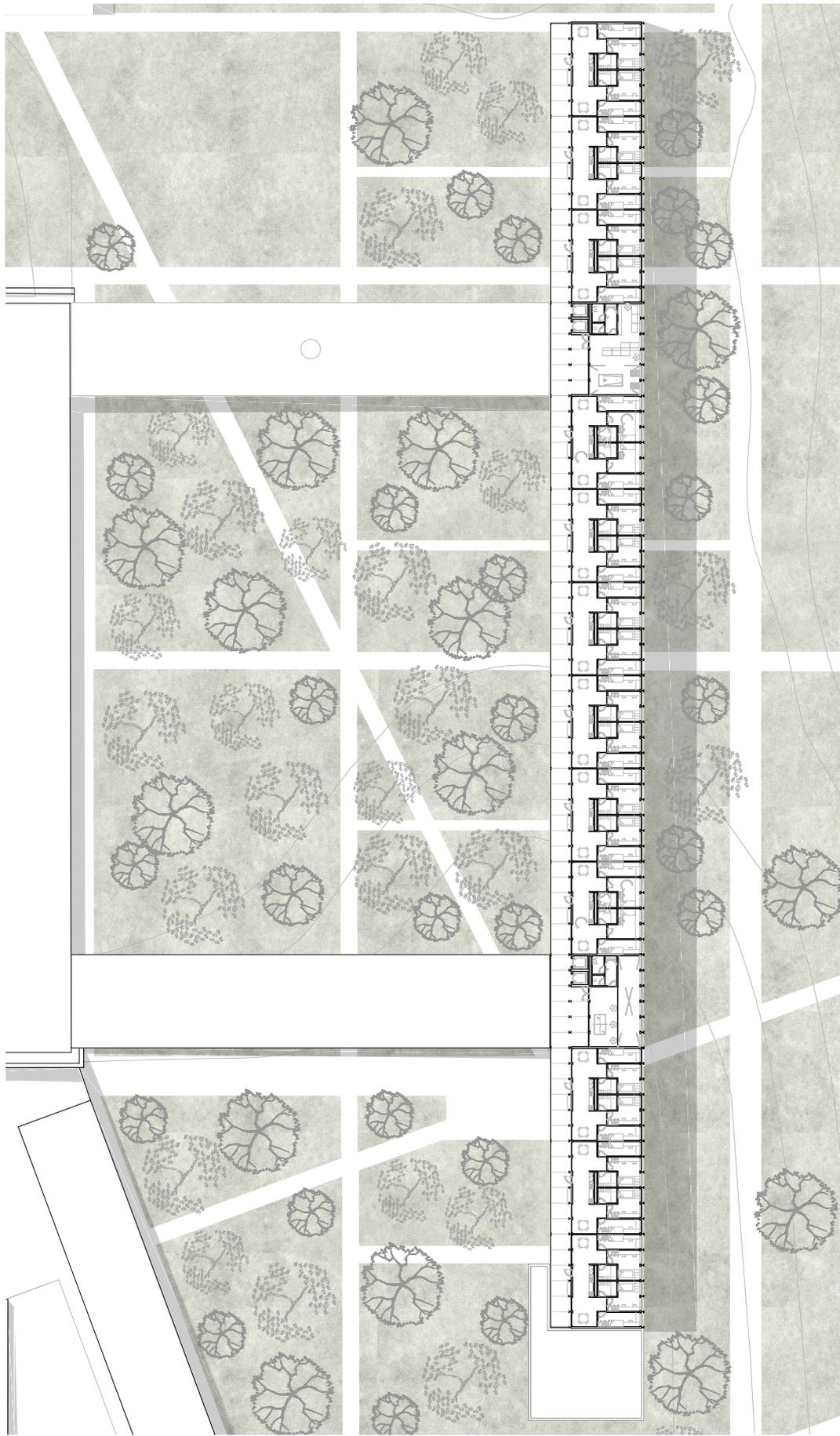


Figura 83 Planta à cota 94

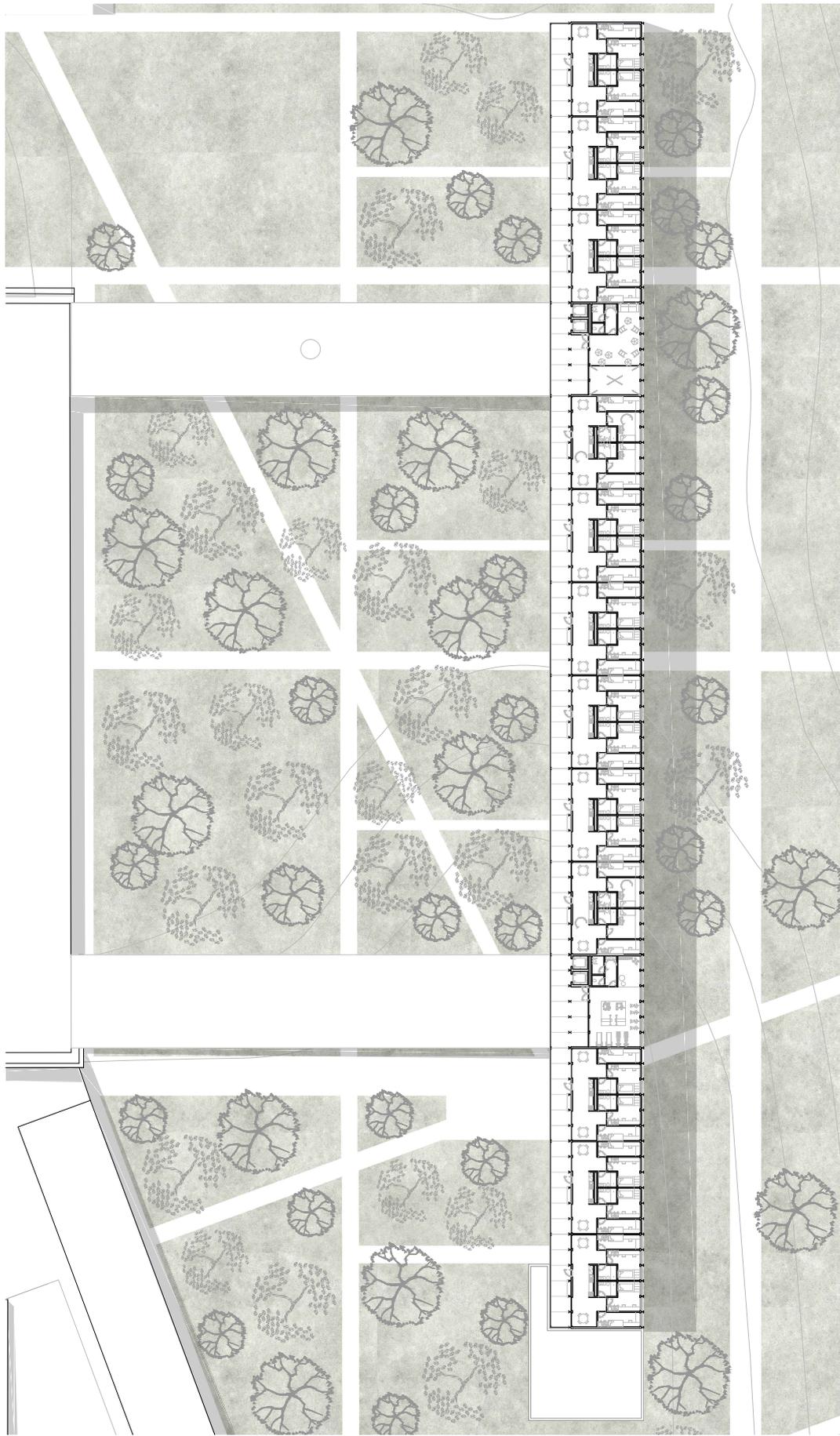


Figura 84 Planta à cota 97



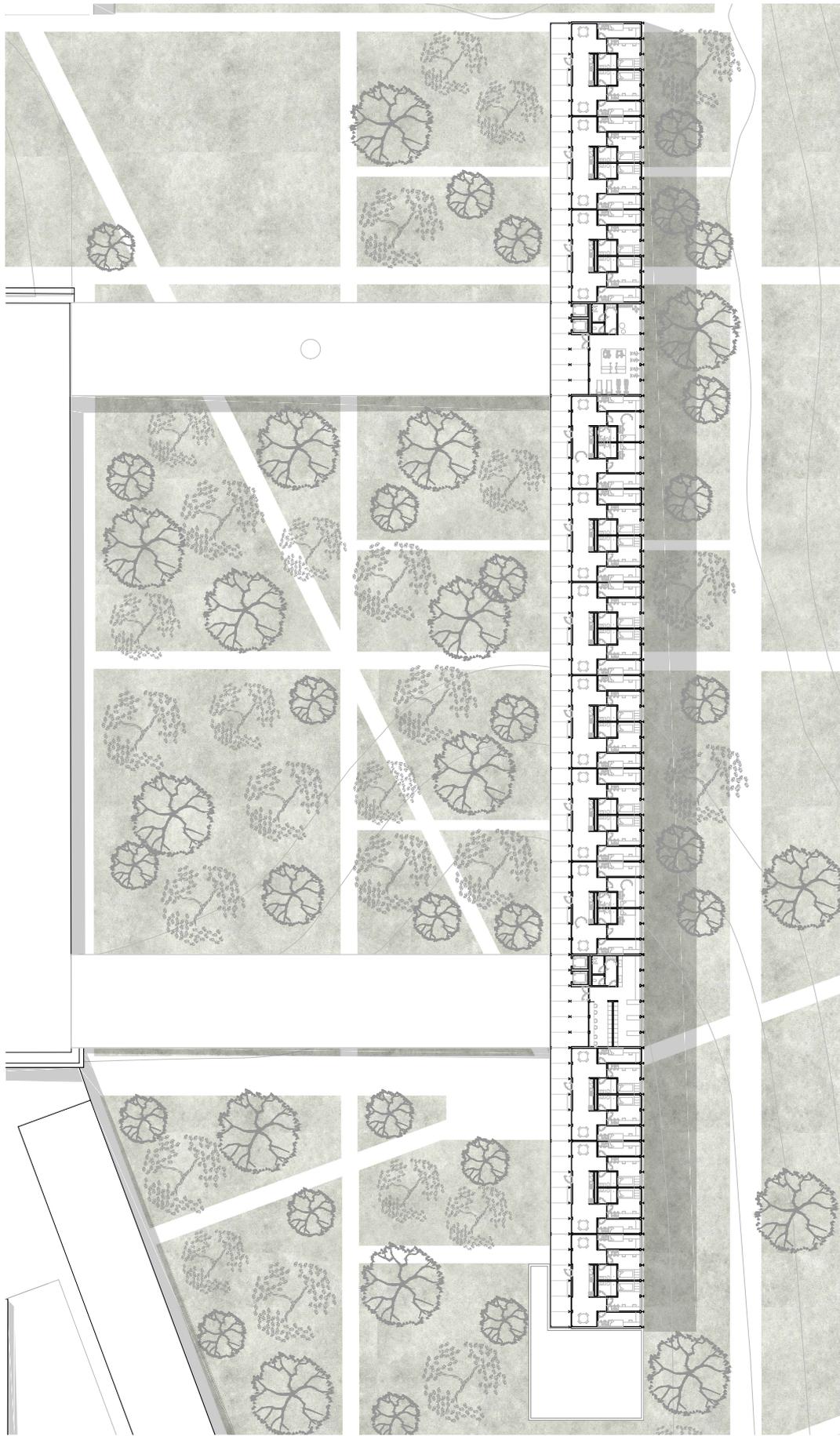


Figura 85 Planta à cota 100



Figura 86 Planta de cobertura



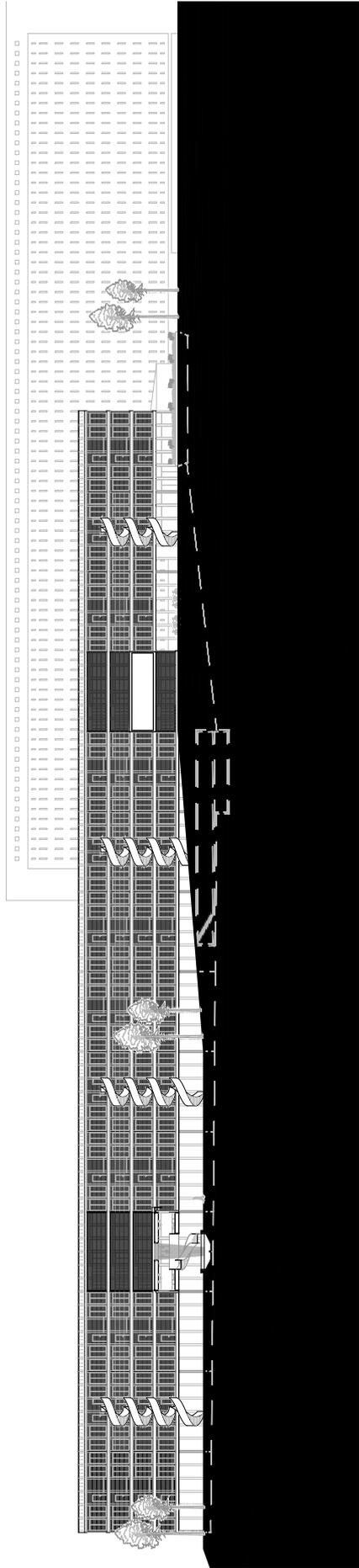


Figura 87 Alçado Poente

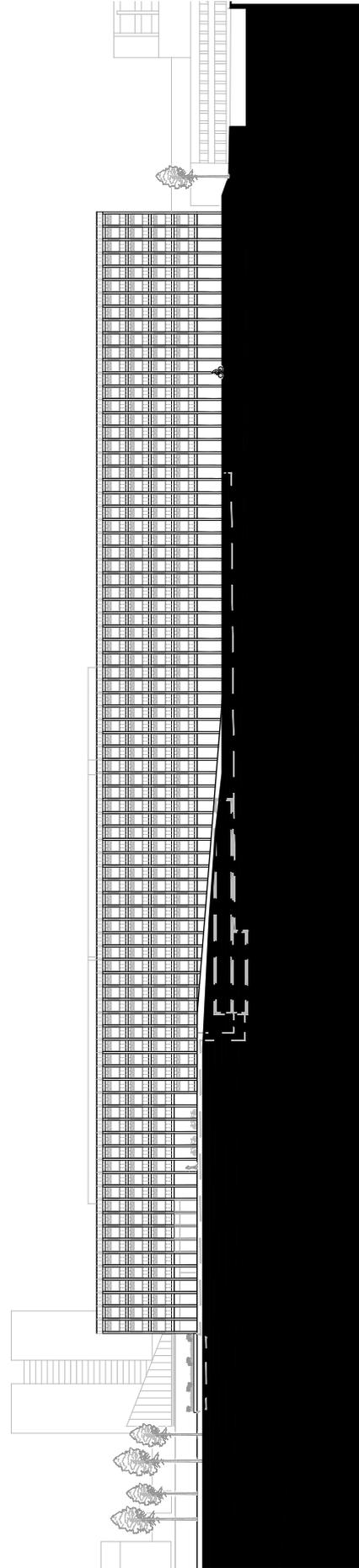


Figura 88 Alçado Nascente

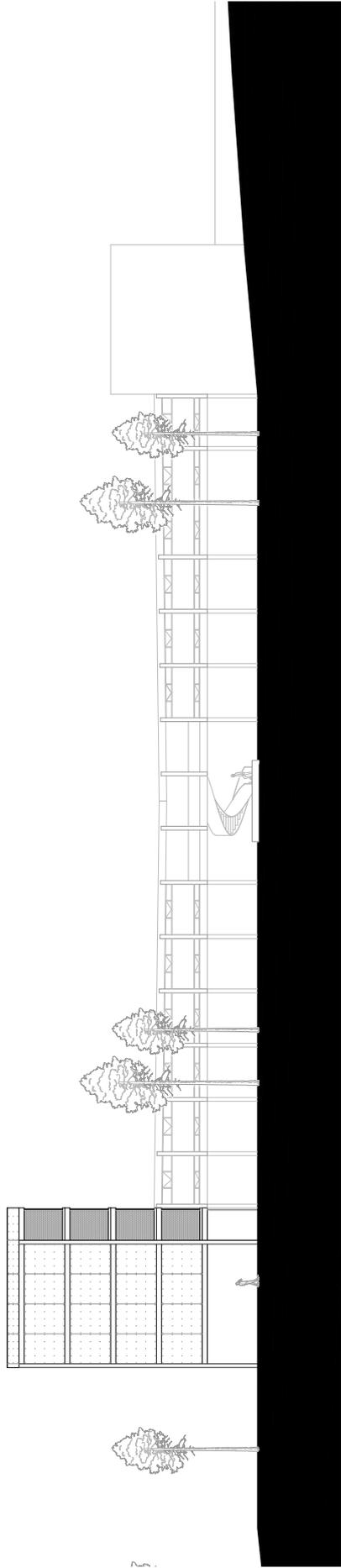


Figura 89 Alçado Norte

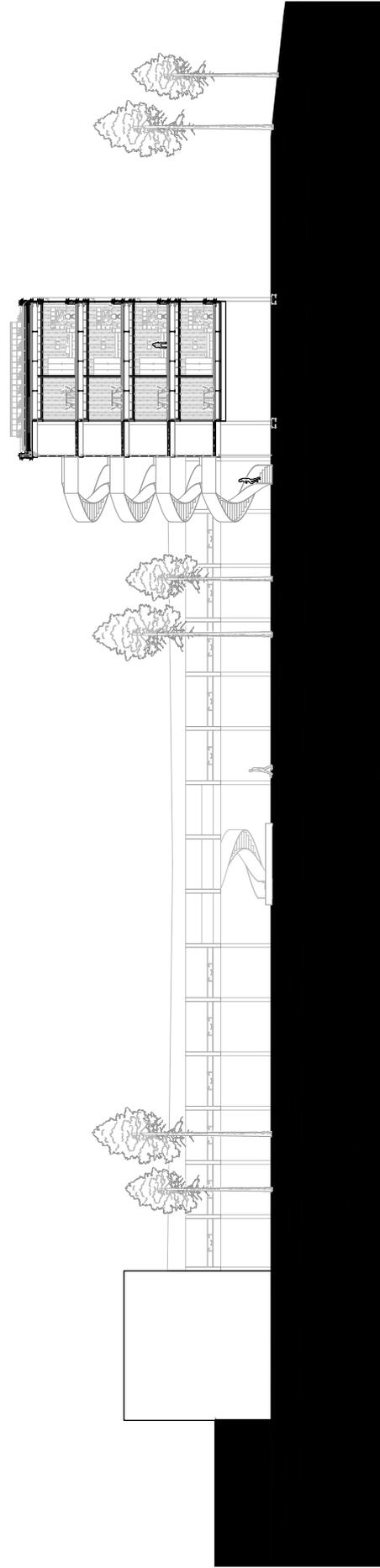


Figura 90 Corte pela tipologia de quartos individuais e alçado sul no centro de estudo

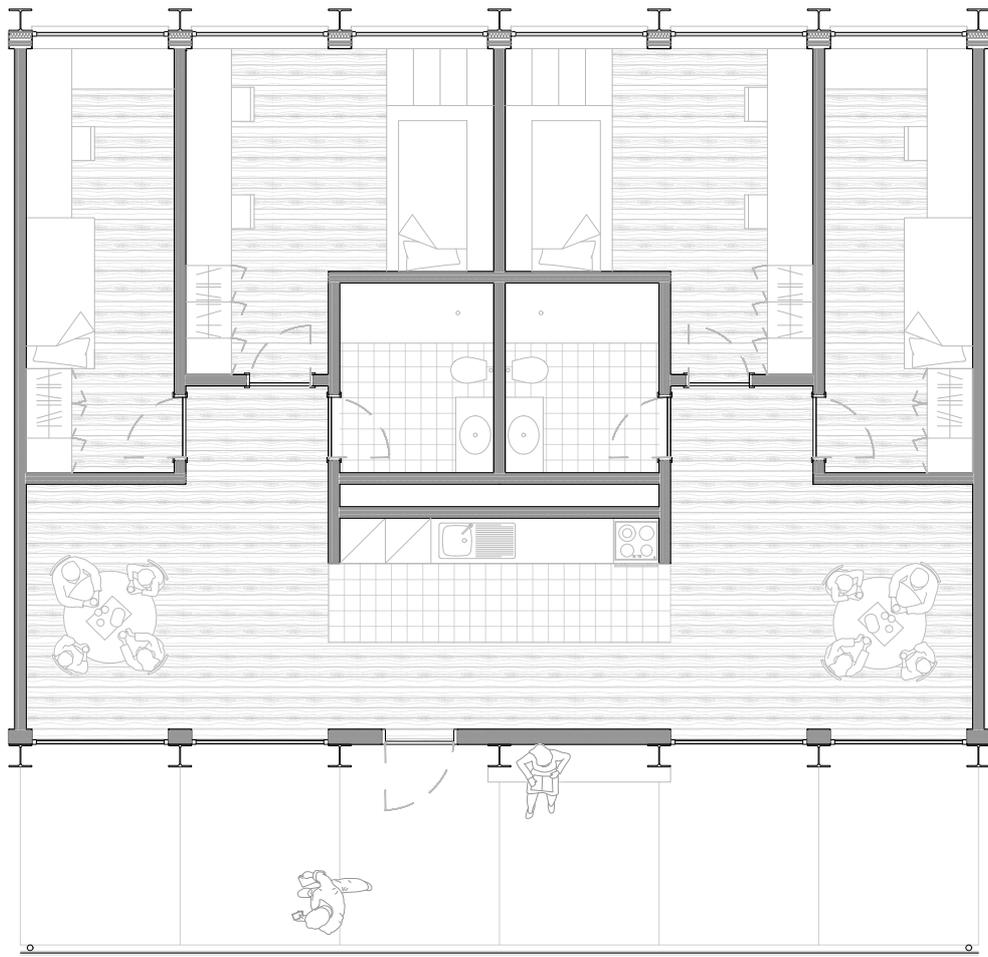


Figura 91 Planta do núcleo tipo

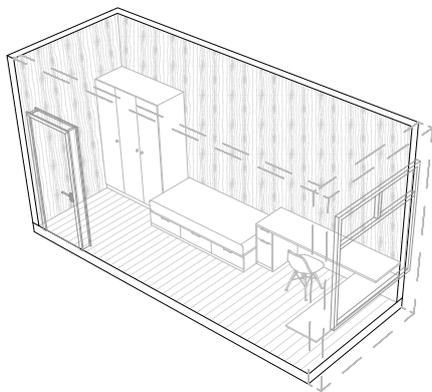


Figura 92 Tipologia de quarto individual 10,9 m<sup>2</sup>

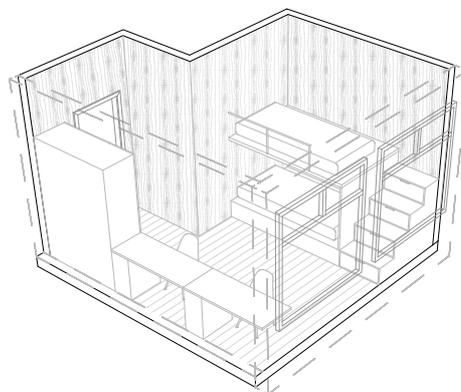


Figura 93 Tipologia de quarto duplo 14,5 m<sup>2</sup>

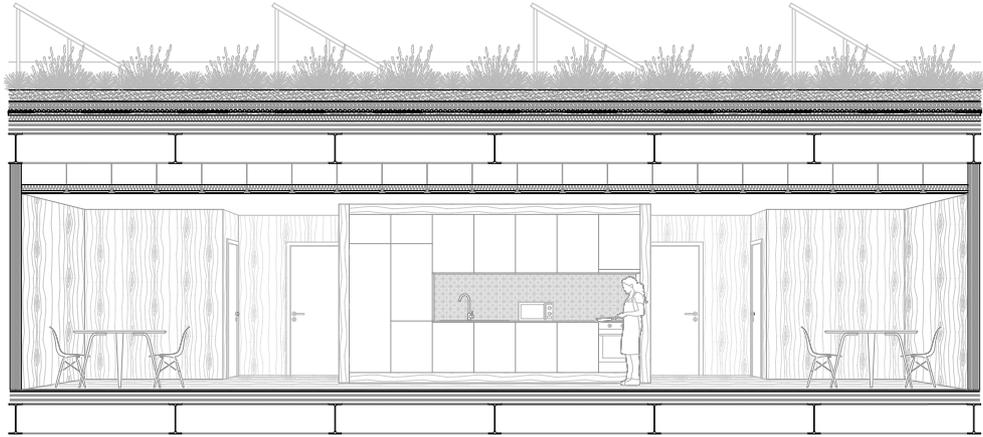


Figura 94 Corte pela área comum do núcleo

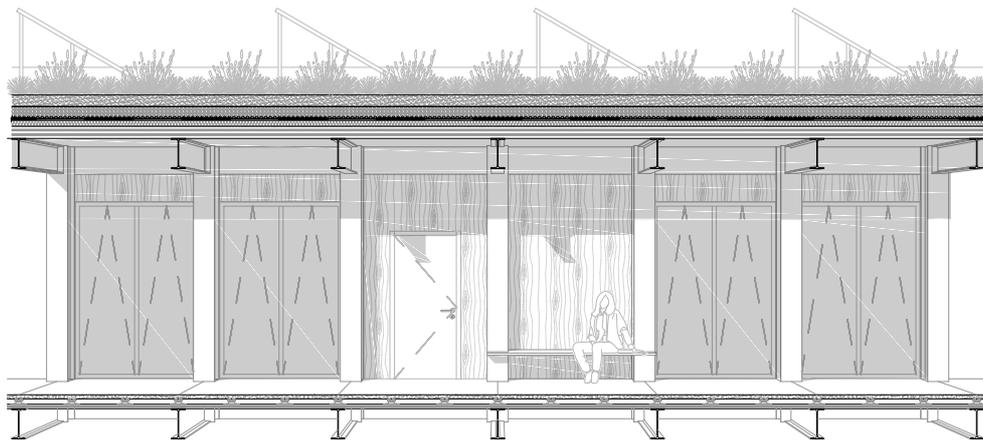


Figura 95 Corte pela galeria

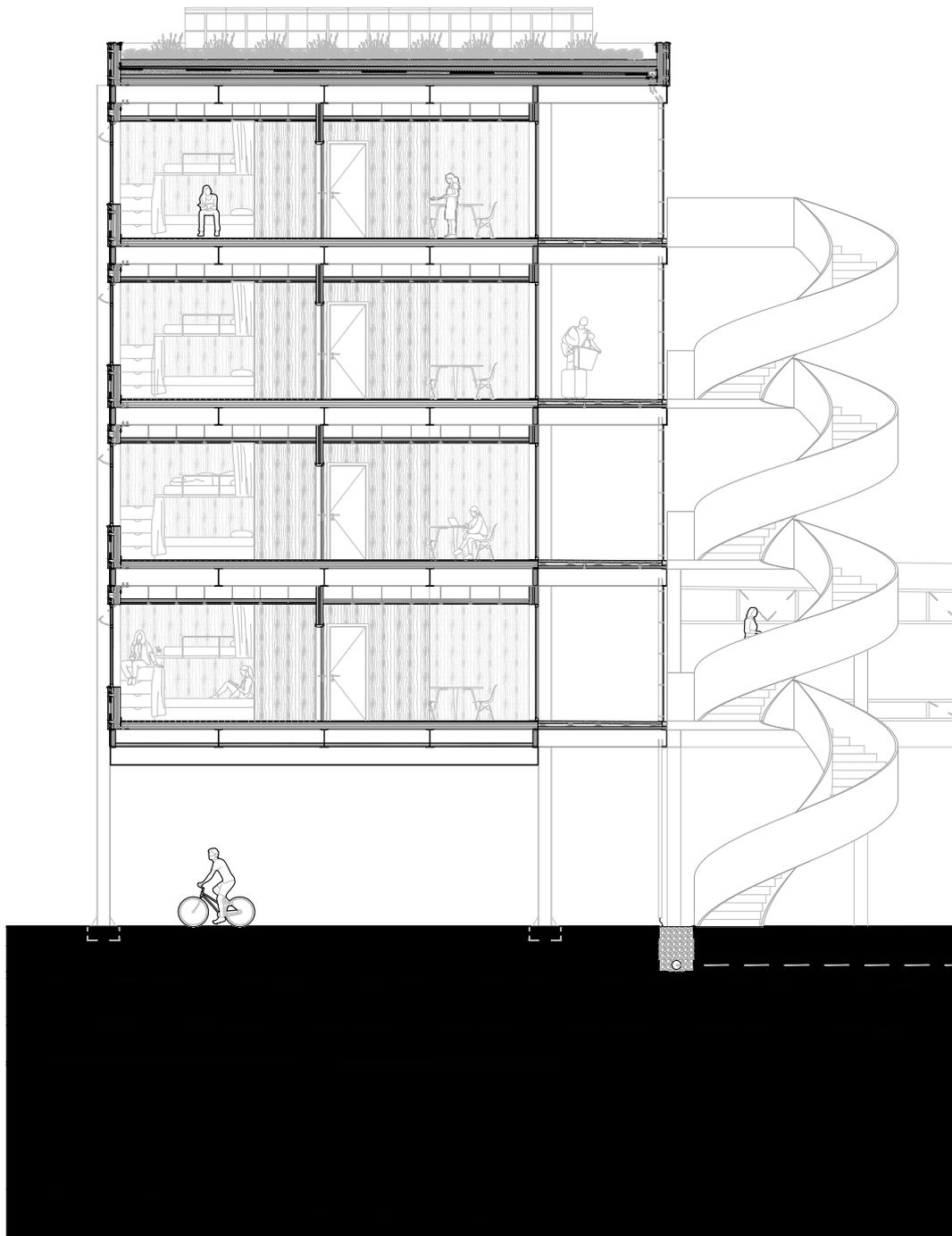


Figura 96 Corte transversal pela tipologia de quarto duplo

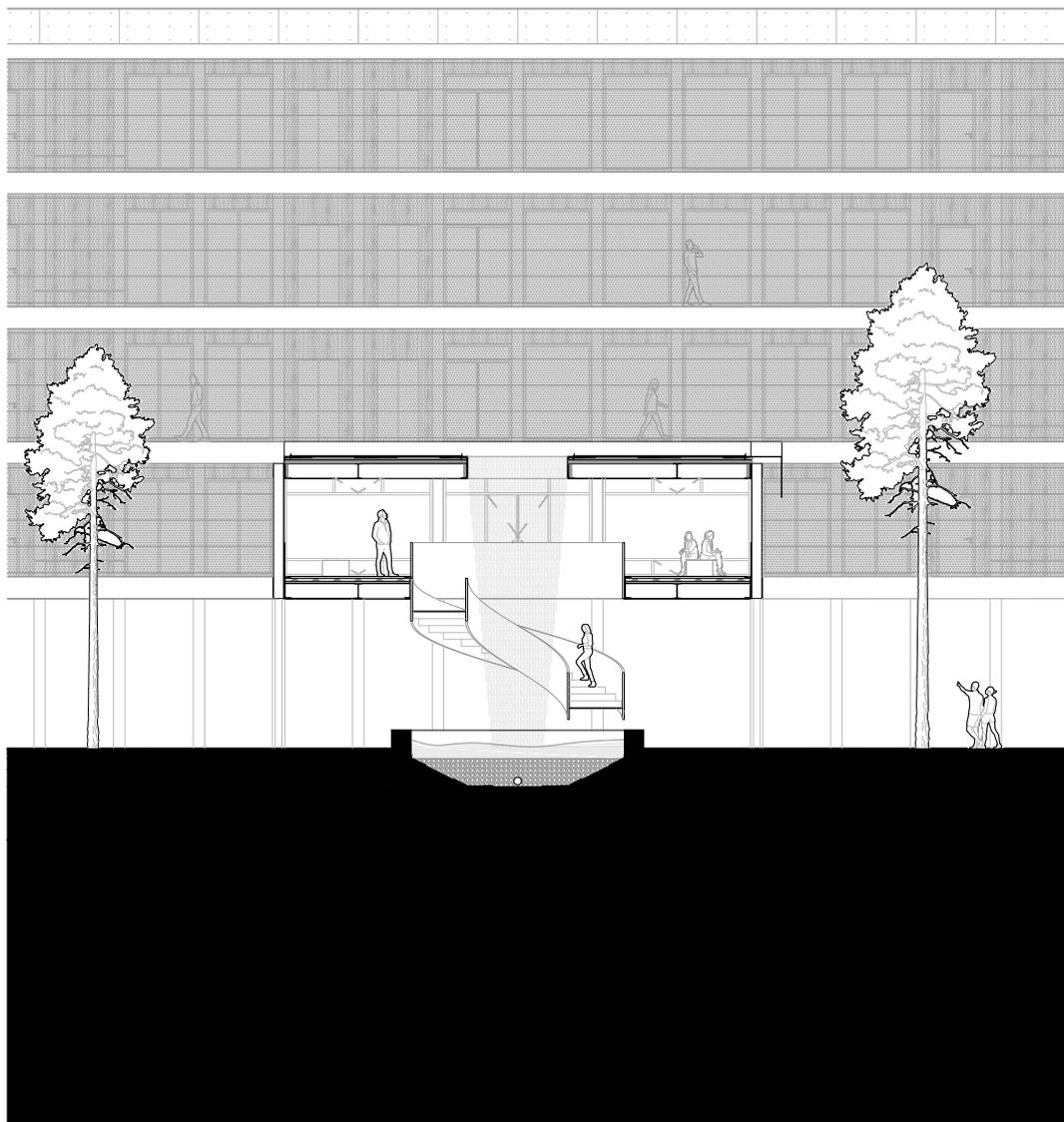


Figura 97 Corte transversal pelo centro de estudo

#### **6.4 Análise crítica da solução arquitetónica integrada**

Destaca-se de forma positiva a eficiência de 73% que o projeto alcançou, através da integração de sistemas que captam água de forma visível pelas coberturas, pela fachada poente com a captação de água atmosférica, e com a reciclagem de águas residuais que integram um sistema de tratamento natural.

Por falta de bibliografia disponível e a informação díspar dos poucos estudos sobre a água incorporada nos materiais, ficou por responder a pegada hídrica indireta do projeto. Deste modo será importante a realização futura de estudos nesta área para que possibilite aos arquitetos a gestão dos materiais a utilizar com a consciencialização da quantidade de recursos hídricos necessários para os mesmos, de forma a poder integrar medidas que compensem o volume dessa água, visto que por vezes os gastos indiretos são bastante superiores aos diretos.

Em relação ao projeto urbano ficaram ainda questões por responder, nomeadamente o desenho de infraestruturas e sistemas para o controlo de cheias e secas; bem como a integração do projeto ao ciclo urbano da água da cidade de Lisboa, com o intuito de compreender o comportamento do ciclo com a aplicação de sistemas descentralizados na cidade.

## 7 Workshop de PFA

Para além do presente ensaio, foi realizado um workshop, no âmbito do FISTA20, com a duração de uma semana de forma a proporcionar uma proximidade e interação entre os alunos das várias turmas como estímulo criativo em conjunto com três ateliers de arquitetura convidados, deste modo os alunos foram repartidos pelos ateliers em grupos de trabalho com cerca de seis pessoas.

No caso do Atelier Embaixada foi proposto como objeto de estudo as Torres do Alto da Eira da autoria dos arquitetos Francisco e Antonieta da Silva Dias, na Penha de França. Foram realizadas visitas ao local e exercícios diários com o intuito de debater o novo paradigma de reabilitação através da experimentação projetual e da produção de críticas através de diversas formas de representação com o intuito de compreender os lugares onde vivemos. Os exercícios consistiam em: análises quantitativas e qualitativas do local; abordagem à ideia de limite físico; processos de subtração e adição desses limites de forma a gerar diferentes espaços.<sup>18</sup>

### 7.1 “*The thickness of the limit*”



Figura 98 Torres do Alto da Eira

O objeto em estudo é entendido como um marco no território, funciona como a porta de entrada ao vale do Alto da Eira e encontra-se integrado numa envolvente urbana maioritariamente constituída por vilas operárias. Tendo como

---

<sup>18</sup> Os desenhos e todos os processos de representação ilustrados neste capítulo são da autoria do grupo: Ana Rodrigues; Beatriz Beato; Daniel Martins; David Carvalho; Iolanda Rosado; e Simão Abreu.

base para o desenvolvimento do exercício o tema “*Thickness of the Limit*” analisou-se e destacou-se qualitativamente o objeto de estudo em três aspetos.

Um primeiro que diz respeito à proporção e à altura das torres pois estas apesar da sua presença no território não têm escala de torre comparativamente a outros edifícios em altura na cidade. Um segundo ponto qualifica o embasamento do edifício como um limite, uma barreira física e visual à permeabilidade urbana. E por último, destaca-se o saguão interior pela atmosfera e o espírito de comunidade existente, consequência da apropriação dos moradores, comparando deste modo a torre a uma vila operária na vertical.

A proposta pretende deste modo libertar o chão permitindo a continuidade de outrora, entre as vilas operárias e o vale. No seguimento das qualidades existentes no interior do edifício subtrai-se um rasgo ao longo da torre de modo a acentuar a sua verticalidade e presença e simultaneamente sublinhando a importância do espaço coletivo interior. Levando ao limite esta área de coletiva é ainda subtraído às tipologias os espaços de entrada de modo a aumentar a qualidade desta área como a introduzir um filtro entre os espaços coletivos e os espaços privadas, ou seja, a casa.

Em consequência da libertação do piso térreo há uma reorganização da hierarquia dos programas e das diferenças entre o que é privado, semiprivado e público e nesse sentido o piso de serviços e áreas comerciais é realojado no primeiro piso das torres, mantendo a relação com o exterior através da varanda existente. Dado que o coração e vida existente neste caso de estudo encontra-se no interior propõe-se que esta rompa com as duas torres e criando-se um espaço coletivo que ligada a meio as duas torres. Este espaço coletivo é uma estrutura modelar, leve que permite a flexibilidade e versatilidade dos modos de apropriação do espaço. Esta estrutura, a qual foi denominada como nuvem, é uma adição e pelo seu carácter ganha uma autonomia formal contrastando com a austeridade e robustez presente nas torres.



Figura 99 Representação crítica da falta de estrutura para assumir o nome de torre



Figura 100 Representação crítica, de como se o bairro operário assumisse o centro da torre

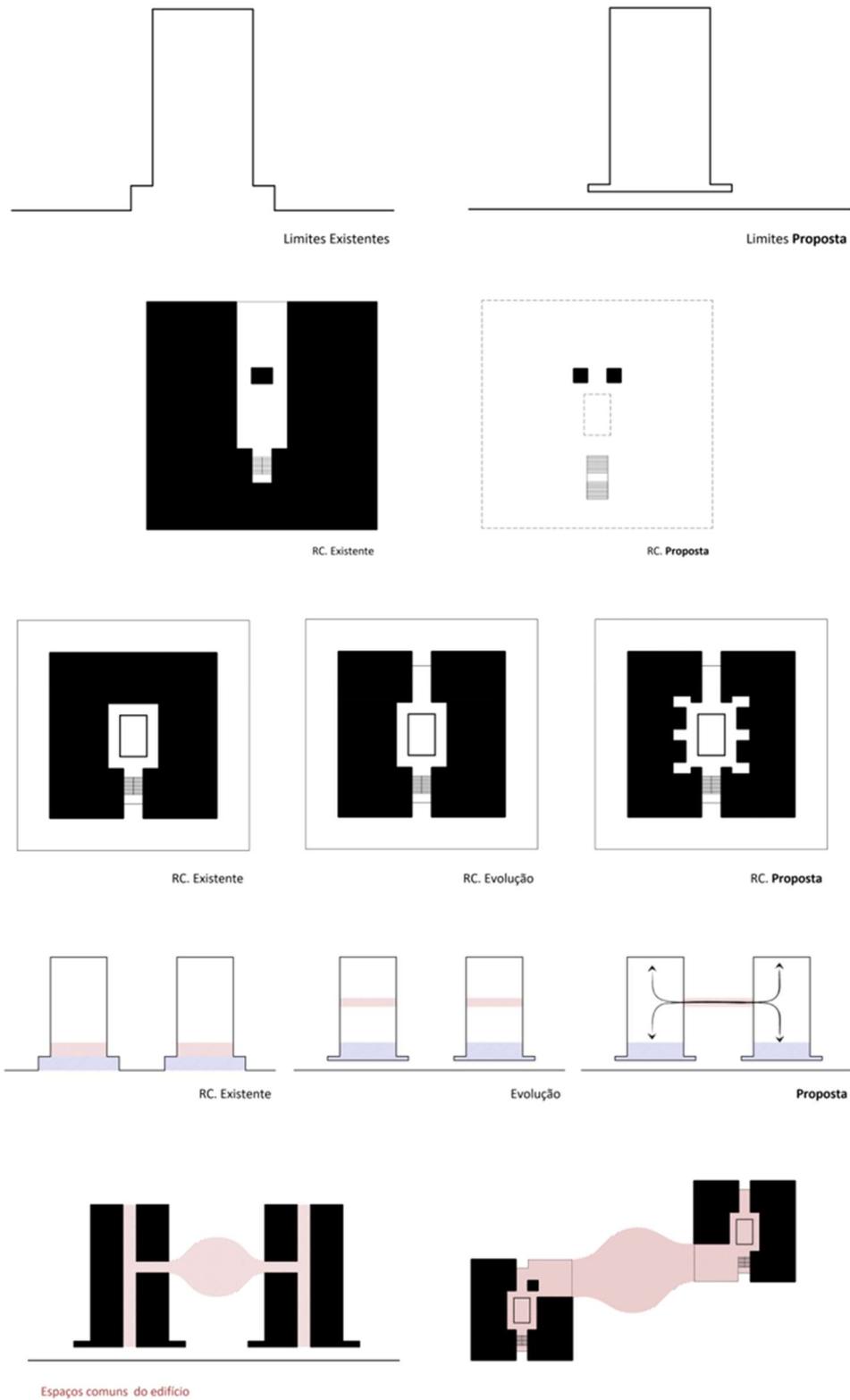


Figura 101 Processo crítico projetual

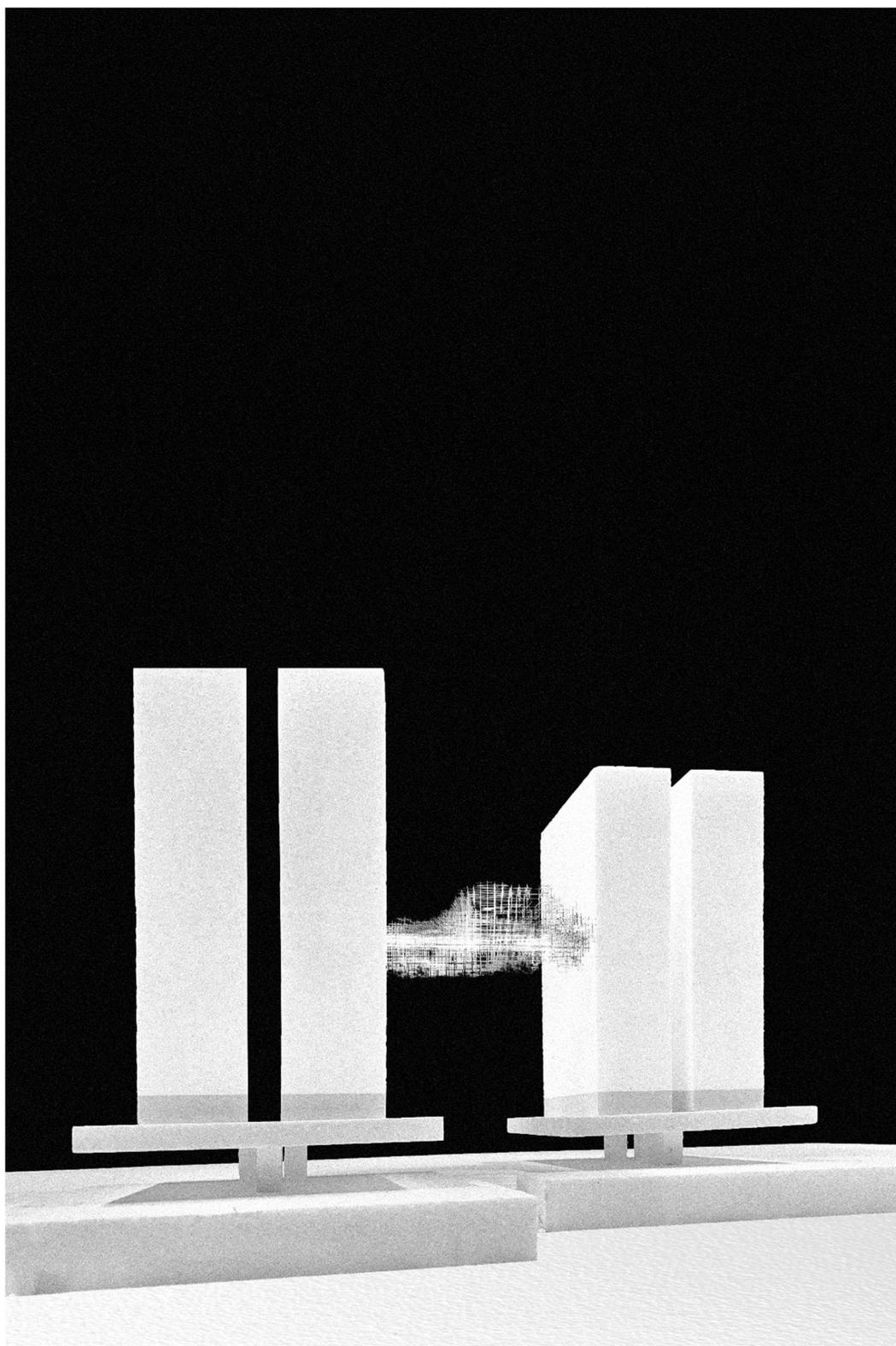


Figura 102 Maquete conceptual da proposta

## Conclusão

Este ensaio teórico-prático teve como ponto de partida compreender os novos desafios hídricos que as cidades enfrentam, derivados de uma rápida urbanização provocada por um crescimento demográfico; das alterações constantes nos padrões climáticos que afetam sobretudo o ciclo natural da água, e a incapacidade de resposta das infraestruturas hidráulicas.

Deste modo, têm sido desenvolvidas soluções holísticas e existem novas formas de construir a cidade aliadas a um desenho urbano que co-habite com as oscilações da presença da água, seja em situações de fenómenos de precipitação extrema ou de seca severa.

Exemplo disso é o conceito de Cidade Sensível à Água, que se rege por três princípios: cidades como bacias hidrográficas, onde existe uma variedade de fontes alternativas dentro do perímetro urbano, permitindo que as cidades disponham de recursos hídricos em quantidade e de qualidade a um custo mínimo com menor impacte ambiental, o que inclui águas pluviais urbanas, provenientes das coberturas, águas residuais recicladas e água dessalinizada, sustentadas por uma variedade de infraestruturas de captação, armazenamento, tratamento e distribuição de água centralizadas e descentralizadas; cidades que prestam serviços ecossistémicos, define que as futuras paisagens urbanas devem ser reforçadas com uma compreensão do funcionamento ecológico e que captem as essências da gestão sustentável dos recursos hídricos através do desenho urbano sensível à água; e cidades que compreendem comunidades sensíveis à água, ou seja que integram a participação da comunidade tanto para a definição do problema da água em meio urbano como para a tomada de decisões na elaboração de estratégias, aplicando uma cogestão entre o governo e a comunidade, os cidadãos vão alterar os seus comportamentos, como contribuir para conservar os recursos hídricos.

A integração do ciclo natural da água é um princípio que está fortemente representado nos casos de estudo analisados, como por exemplo o caso do *Kendeda Building* que adotou sistemas de águas pluviais e águas cinzentas que, em conjunto, fornecem todas as necessidades de água potável para a operação do edifício, enquanto recicla as águas residuais e pluviais para recarregar o aquífero

circundante. Também no caso do Chulalongkorn University Centenary Park, o parque urbano é desenhado de forma a complementar o ciclo natural da água através da criação de diversos espaços que interagem com a sociedade local, permitindo a vivência de novas experiências em comunhão com a problemática do excesso de água na cidade.

Baseado nestas premissas foi integrado em projeto arquitetônico, nomeadamente numa residência de estudantes medidas que permitem uma autossuficiência hídrica do edifício em cerca de 73%. Este resultado positivo, foi possível com recurso à aplicação de sistemas de captação de águas pluviais pelas coberturas dos edifícios; captação de água atmosférica através de uma fachada; e por fim a reciclagem das águas residuais através de processos naturais de pântanos construídos. De forma a consciencializar a comunidade para as problemáticas da água, e como uma tentativa de integrar arquitetonicamente sistemas hidráulicos foram projetados pontualmente espaços onde a água age como um elemento transformador do espaço, o que permite acentuar o seu valor de bem essencial.

## Referências bibliográficas

- ADP. (s.d.). *O ciclo urbano da água*. Obtido em 25 de Junho de 2020, de Águas de Portugal: <https://www.adp.pt/pt/>
- ANP. (s.d.). *Pegada Hidrica*. Obtido em 10 de Janeiro de 2020, de Associação Natureza Portugal: [https://www.natureza-portugal.org/o\\_nosso\\_planeta/agua/pegada\\_hidrica/](https://www.natureza-portugal.org/o_nosso_planeta/agua/pegada_hidrica/)
- ANQIP. (2011). ETA 0905 - Especificação Técnica sobre Sistemas Prediais de Reutilização e Reciclagem de Águas Cinzentas (SPRAC). Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais.
- ANQIP. (2015). ETA 0701- Especificação Técnica sobre Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP). Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais.
- AQUALONIS. (2019). Obtido em 11 de Fevereiro de 2020, de Aqualonis- obtaining Drinking Water with Fog: <https://www.aqualonis.com/>
- ARCADIS. (2016). *Sustainable Cities Water Index - Which Cities are the Best Placed to Harness Water for Future Success?*
- Archeevo. (s.d.). *Escola Secundária da Cidade Universitária*. Obtido em Novembro de 2019, de archeevo - Secretaria- Geral da Educação e Ciência: <http://arquivo-ec.sec-geral.mec.pt/details?id=50974>
- ASHBY, M. F. (2009). *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*. Estados Unidos: Elsevier.
- BALLARD, W. B., WILSON, S., CLARKE, U. H., ILLMAN, S., SCOTT, T., & KELLAGHER, R. (2015). *The SuDS Manual*. Reino Unido: CIRIA.
- BARBOSA, M. (30 de Julho de 2019). *O clima do planeta é uma constante mutável*. Obtido em 17 de Janeiro de 2020, de <https://www.tempo.pt/noticias/ciencia/o-clima-do-planeta-e-uma-constante-mutavel.html>
- BARDHAN, S., & CHOUDHURI, R. (2015). Studies on Virtual Water Content of Urban Buildings in India. *International Conference on Sustainable Technologies in Building & Environment 2015*. Índia: Indian Journal of Science and Technology.
- BARROSO, L. P. (2010). *Construção Sustentável- Soluções comparativas para o uso eficiente de água nos edifícios de habitação*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologias.
- BERGE, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. Reino Unido: Elsevier Ltd.
- BROWN, D. C. (Fevereiro de 2011). *H2Otel: A New Model for Integrating Water Systems and Coastal Architecture*. University of Florida: Massachusetts Institute Of Technology.
- BROWN, R., KEATH, N., & WONG, T. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science & Technology*, 847-855.



- GAIO, S. (2016). *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Georgia Tech. (s.d.). *Kendeda Building for Innovative Sustainable Design*. Obtido em Agosto de 2020, de Georgia Tech: <http://livingbuilding.gatech.edu/kendeda-building-innovative-sustainable-design>
- Georgia Tech. (s.d.). *Water Petal*. Obtido em Agosto de 2020, de Georgia Tech: <http://livingbuilding.gatech.edu/water-petal>
- GONÇALVES, M. (2016). *Análise de soluções de controlo na origem como medida de compensação dos efeitos das alterações climáticas em sistemas de drenagem urbanos: Caso de Estudo da Av. Almirante Reis*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- GRANT, G. (2016). *The Water Sensitive City*. Reino Unido: Wiley-Blackwel.
- HOEKSTRA, A. Y., & MEKONNEN, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *PNAS- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237. Obtido de <https://www.pnas.org/content/pnas/109/9/3232.full.pdf>
- HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., & MEKONNEN, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 151.
- IPMA. (s.d.). *Clima*. Obtido em Abril de 2020, de Portal do Clima : Alterações Climáticas em Portugal: <http://portaldoclima.pt/pt/>
- IWA. (6 de Junho de 2016). *What role for desalination in the new water paradigm*. Obtido em 24 de Março de 2020, de IWA- International Water Association: <https://iwa-network.org/news/what-role-for-desalination-in-the-new-water-paradigm/>
- IWA. (s.d.). *The Journey to Water-Wise Cities*. Obtido em 26 de Junho de 2020, de IWA- International Water Association: <https://iwa-network.org/projects/water-wise-cities/>
- JOUSTRA, C., & YEH, D. (2014). Decision Support Modeling for Net-Zero Water Buildings. *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014* (pp. 3176-3187). Geórgia, Estados Unidos da América: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- JOUSTRA, C., & YEH, D. (2015). Framework for net-zero and net-positive building water cycle management. *Building Research and Information*, 43, 121-132.
- KARAMOUZ, M., MORIDI, A., & NAZIF, S. (2010). *Urban Water Engineering and Management*. Nova Iorque: CRC Press.

- LBC. (2019). *Living Building Challenge 4.0: A Visionary Path to a Regenerative Future*. Seattle, Estados Unidos da América: International Living Future Institute.
- LITTLE. (s.d.). *Little wins in architecture at zero competition*. Obtido em Agosto de 2020, de LITTLE: <https://www.littleonline.com/uploads/news/pdfs/little-wins-in-architecture-at-zero-competition.pdf>
- LOURENÇO, R. (2014). *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis*. Coimbra: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- MANNAN, M., & AL-GHAMDI, S. G. (2020). Environmental impact of water-use in buildings: Latest developments from a life-cycle assessment perspective. *Journal of Environmental Management*.
- MARQUES, M. T. (2013). *Plano Urbano: Av.Lusíadas, Cidade Universitária, Telheiras*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- MATOS, J. d. (2003). Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. *Engenharia Civil*, 13-23.
- MCDONALD, R., WEBER, K., PADOWSKI, J., FLORKE, M., SCHNEIDER, C., GREEN, P., . . . MONTGOMERY, M. (2014). Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environmental Change*, 96-105.
- Melbourne Water. (2005). *WSUD Engineering Procedures: Stormwater*. Austrália: CSIRO Publishing.
- MOORE, C. W. (1994). *Water and Architecture*. Londres: Harry N. Abrams.
- N7A. (s.d.). *Chulalongkorn University Centenary Park*. Obtido em Agosto de 2020, de LILA - Landezine International Landscape Award: <https://landezine-award.com/chulalongkorn-university-centenary-park/>
- NEVES, M. V., & AFONSO, A. d. (2010). Especificações Técnicas para o Aproveitamento da Água das Chuvas e das Águas Cinzentas nos Edifícios. *Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*.
- NPK. (s.d.). *Resultado do concurso público de conceção para elaboração do projeto do parque urbano da Praça de Espanha*. Obtido em Agosto de 2020, de Câmara Municipal de Lisboa: [http://www.cm-lisboa.pt/fileadmin/VIVER/Urbanismo/urbanismo/unidades/poente\\_orient/Pra%C3%A7a\\_de\\_Espanha\\_-\\_O\\_Caminho\\_da\\_%C3%81gua\\_compressed.pdf](http://www.cm-lisboa.pt/fileadmin/VIVER/Urbanismo/urbanismo/unidades/poente_orient/Pra%C3%A7a_de_Espanha_-_O_Caminho_da_%C3%81gua_compressed.pdf)
- Ó, A. d., SILVA, L. N., MORGADO, Â., & BARATA, M. (2011). *Water Footprint in Portugal: An analysis of the external footprint of consumption*. Itália: WWF Mediterranean Programme Office.
- OPUR. (s.d.). Obtido em 16 de Abril de 2020, de OPUR- International Organization For Dew Utilization: <https://www.opur.fr/>
- PEDROSA, P. S. (2009). *Cidade Universitária de Lisboa (1911-1950): Génese de uma difícil territorialização*. Lisboa: Edições Colibri.

- PEDROSO, V. M. (2009). *Medidas para um uso mais eficiente da água nos edifícios*. Lisboa: LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- PORDATA. (s.d.). *Precipitação total*. Obtido em Agosto de 2020, de PORDATA: Base de dados Portugal contemporâneo: <https://www.pordata.pt/Portugal/Precipita%c3%a7%c3%a3o+total-1070-10197>
- Ramboll . (s.d.). *MCLAREN TECHNOLOGY CENTRE*. Obtido em Agosto de 2020, de Ramboll Studio Dreiseitl: <http://www.dreiseitl.com/en/portfolio#mclaren-technology-centre>
- RAPOSO, F. (2013). *Manual de boas práticas de coberturas verdes: Análise de casos de estudo*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- r-barc. (s.d.). *Swenson Civil Engineering Building*. Obtido em Agosto de 2020, de AIA- The American Institute of Architects: <https://www.aiatopen.org/node/58>
- RODRIGUES, C. A. (2015). Um Modelo para a Avaliação da Eficiência Hídrica em Edifícios. *Tese de doutoramento* . Aveiro: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil.
- RODRIGUES, J. (2017). *Water sensitive cities: A vision for Lisbon's Alcântara watershed*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.
- ROSSI, E., & GONÇALVES, L. (2012). *Ecotécnicas de drenagem urbana: urbanização de impacto ambiental reduzido*. São Paulo.
- SANTOS, C., PINTO, F. T., CHENG, C.-Y., & LEITE, D. (2011). Otimização do Consumo de Água em Edifícios. Implementação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais e Reutilização de Águas Cinzentas. *6ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SCHARNKE, M. R. (2010). *ATRAPANIEBLAS - Fog as a Drinking Water Resource*. Alemanha: Hamburg University of Technology.
- SHARAN, G. (2006). *Dew Harvest To Supplement Drinking Water Sources in Arid Coastal Belt of Kutch*. Foundation Books.
- SILVA-AFONSO, A., & PIMENTEL-RODRIGUES, C. (2017). *Manual de Eficiência Hídrica em Edifícios*. ANQIP- Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais.
- SINDUSCON-SP. (2019). *Guia Metodológico de Cálculo de Pegada Hídrica Para Edificações*. São Paulo: SindusCon-SP - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo.
- SIPA. (s.d.). *Cidade Universitária de Lisboa*. Obtido em Novembro de 2019, de SIPA- Sistema de Informação para o Património Arquitetónico: [http://www.monumentos.gov.pt/site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=14821](http://www.monumentos.gov.pt/site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=14821)

- SLA. (s.d.). *The Soul of Norrebro booklet*. Obtido em Agosto de 2020, de Nordic Innovation: [https://www.nordicinnovation.org/sites/default/files/inline-images/Soul%20of%20Norrebro\\_booklet.pdf](https://www.nordicinnovation.org/sites/default/files/inline-images/Soul%20of%20Norrebro_booklet.pdf)
- SOUSA, S. B. (2015). *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em zonas urbanas: estudo exploratório no Pólo II da Universidade de Coimbra*. Coimbra: Faculdade de Ciencia e Tecnologias da Universidade de Coimbra - Departamento de Engenharia Civil.
- SPONSH. (2018). Obtido em 6 de Fevereiro de 2020, de Sponsh-Water for everyone: <https://sponsh.co/home/>
- Sponsh Foundation. (2019). Obtido em 7 de Fevereiro de 2020, de Sponsh Foundation - We bring water where there is no more: <http://sponshfoundation.org/>
- STEPHAN, A., & CRAWFORD, R. H. (2014). A comprehensive life cycle water analysis framework for residential buildings. *Building Research & Information*, 685-695.
- susdrain. (s.d.). *suds components*. Obtido em 2020, de susdrain: <https://www.susdrain.org/>
- The Climate Reality Project. (6 de Maio de 2016). *How is climate change impacting the water cycle?* Obtido de The Climate Reality Project: <https://www.climateRealityproject.org/blog/climate-change-impacting-water-cycle>
- TUCCI, C. (2008). Águas urbanas. *Estudos Avançados*, 22(63), 97-112.
- U.S.Army. (s.d.). *Army Net Zero*. Obtido em 26 de Junho de 2020, de U.S.Army: <https://www.asaie.army.mil/public/es/netzero/>
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2019). *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind*. Paris: UNESCO.
- UNISDR; CRED. (2015). *The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015*. UNISDR- United Nations Office for Disaster Risk Reduction; CRED- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
- United Nations. (s.d.). *Water*. Obtido em 10 de Janeiro de 2020, de United Nations: <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/>
- UNRIC. (s.d.). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Obtido em 15 de Janeiro de 2020, de Nações Unidas - Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental: <https://unric.org/pt/Objetivos-de-Desenvolvimento-Sustentavel/>
- USGBC. (2020). *LEED Zero Program Guide*. Obtido de U.S. Green Building Council: <https://www.usgbc.org/resources/leed-zero-program-guide>
- Water by Design. (2014). *Bioretention Technical Design Guidelines (Version 1.1)*. Brisbane, Austrália: Healthy Waterways Ltd.

- WONG, T. H. (2007). *Water Sensitive Urban Design – the Journey Thus Far. BEDP Environment Design Guide.*
- WONG, T., & BROWN, R. (2009). The water sensitive city: principles for practice. *Water Science & Technology*, 673-682.
- WONG, T., ALLEN, R., BROWN, R., DELETIC, A., GANGADHARAN, L., GERJAK, W., . . . WALSH, C. (2013). *blueprint2013 - Stormwater Management in a Water Sensitive City.* Melbourne, Austrália: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.
- WSUDG. (2017). *Water sensitive urban design guideline: Applying water sensitive urban design principles to NSW transport projects.* Austrália: NSW government-Transport Roads and Maritime services.
- YANG, H., ZHU, H., HENDRIX, M., LOUSBERG, N., WITH, G. d., ESTEVES, C., & XIN, J. (2013). Temperature-Triggered Collection and Release of Water from Fogs by a Sponge-Like Cotton Fabric. *Advancer Materials*, 1150-1154.

## Anexos

### Cálculos

Área de captação cobertura da residência = 2079,75 m<sup>2</sup>

Área de captação cobertura do cento de estudos = 808,03 m<sup>2</sup>

Precipitação média anual (2009-2019) = 797,3

Consumo anual

$(80 * 252) * 365 = 7.358.400 \Rightarrow 7.358,4 \text{ m}^3$

Para os cálculos do volume de águas pluviais a captar, o dimensionamento do depósito e o volume de águas residuais a reciclar, foram utilizadas como base as fórmulas presentes na ETA 0701 (ANQIP, 2015) e na ETA0905

Volume anual a aproveitar:

$$V_a = C * P * A * \eta_f$$

Onde:

V<sub>a</sub>- Volume anual de água da chuva a aproveitável (litros)

C- Coeficiente de escoamento (relação entre o volume total de precipitação num determinado período de tempo, tendo em atenção as retenções, absorções e desvios das primeiras águas)

P- Altura da precipitação acumulada no período considerado (mm)  
(normalmente utiliza-se a precipitação média anual)

A – Área de captação (m<sup>2</sup>)

$\eta_f$  - Eficiência hidráulica da filtração

O valor de C varia com a altura da precipitação, pelo que se recomenda a utilização do valor de 0,8 que corresponde a coberturas impermeáveis mais comuns. Para coberturas verdes é recomendado o valor de 0,5. Também para a eficiência hidráulica ( $\eta_f$ ) é recomendado a utilização do valor de 0,9, correspondente para filtros com manutenção e limpeza regulares.

$$V_a (\text{suspensão}) = 0,8 * 797,3 * 808,03 * 0,9 = 463.845,47 \text{ l}$$

$$V_a (\text{residência}) = 0,5 * 797,3 * 2079,75 * 0,9 = 746.183,11 \text{ l}$$

$$V_a (\text{Total}) = 1210 \text{ m}^3$$

Para a estimativa do volume de água a captar com a rede que compõe a fachada poente, utilizou-se a média diária de 1,3 l/m<sup>2</sup> estabelecidos pela empresa Sponsh que está a desenvolver o material.

$$\text{Área de captação} = 1990,32 \text{ m}^2$$

Dias com humidade relativa acima dos 70% em Lisboa- 273 dias

$$1990,32 * 1,3 * 273 = 706.364,57 \Rightarrow 706,36 \text{ m}^3$$

Dimensionamento do depósito:

$$V = \text{Min} \{V_1 \text{ ou } V_2\}$$

Com:

$$V_1 = 0,0015P * A * N$$

$$V_2 = 0,003 * U * C_{AE} * N$$

Onde:

V<sub>1</sub>- Volume aproveitável (litros)

P- Pluviosidade média anual local (mm)

A – Área de captação (m<sup>2</sup>)

N- Número máximo de dias de retenção da água no reservatório (geralmente, 20 a 30 dias, mas pode considerar-se um valor superior até 90 dias, quando as condições de armazenamento sejam adequadas)

V<sub>2</sub>- Volume consumido (litros)

U- Número de habitantes, utentes ou operários

C<sub>AE</sub>- Consumo anual estimado (litros) (tendo em atenção o número de utentes do edifício)

Para 30 dias

$$V_1 = (0,0015 * 797,3) * 2887,78 * 30 = 103.609,21 \text{ l} \Rightarrow 103,61 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,003 * 252 * 7358400 * 30 = 116.888.512 \text{ l} \Rightarrow 116.888,5 \text{ m}^3$$

Deste modo recomenda-se a utilização de uma cisterna com 103,61 m<sup>3</sup>. Neste caso o depósito também vai armazenar as águas provenientes da rede, como tal deve adicionar-se ao anterior:

$$1990,32 * 1,3 = 2587,42 * 30 = 77.622,6 \text{ l} \Rightarrow 77,6 \text{ m}^3$$

Como tal deve utiliza-se um depósito com 182 m<sup>3</sup>.

Águas residuais a aproveitar:

Está presente na ETA0905

$$252 * 38 = 9576 \text{ l/dia} \Rightarrow 9576 * 365 = 3495240 \text{ l} \Rightarrow 3495,2 \text{ m}^3/\text{ano}$$