



**TÉCNICO**  
LISBOA



**Recursos hídricos urbanos. Gestão pela  
renaturalização e  
serviços dos ecossistemas. Análise de casos.**

**Miguel Torroaes Valente Bochechas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Civil**

Orientador: Prof. Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

**Júri**

Presidente: Prof. Rodrigo De Almada Cardoso Proença de Oliveira

Orientador: Prof. Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Vogais: Prof<sup>a</sup> Ana Fonseca Galvão

**Dezembro 2019**



## Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa



## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar o meu reconhecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho. Em particular agradeço:

Ao meu orientador, Professor Manuel Duarte Pinheiro, pelo tema sugerido e pelo apoio dado na sua realização;

À minha família e amigos pela paciência, incentivo e apoio dado ao longo do meu percurso académico, em especial aos meus pais pela força, incentivo e conselhos dados ao longo da vida;

À Teresa pelo apoio e incentivo dado nesta última fase do meu percurso académico.



## Resumo

Os cursos de água urbanos e os espaços verdes envolventes, têm hoje um papel muito importante no modo de funcionamento das cidades. As funções desempenhadas por estas zonas passam pela regulação de fatores climáticos, preservação da biodiversidade e conservação de ecossistemas, e pela aproximação da população ao meio natural.

O objetivo principal do presente trabalho foi o estudo dos problemas associados aos cursos de água urbanos e de como ultrapassá-los, permitindo o retorno a condições próximas das naturais. Foram analisados diversos casos de intervenções em cursos de água, identificados os métodos utilizados e as diversas problemáticas associadas a estes. Foram também estudados os métodos de classificação e valoração dos serviços prestados pelos cursos de água, utilizando o conceito dos serviços dos ecossistemas e os benefícios inerentes a estes.

Por fim, os métodos e técnicas analisados permitiram a elaboração de propostas de implementação de medidas de renaturalização do vale de Alcântara, em Lisboa. Foram identificadas três zonas principais de atuação, onde, numa primeira fase, será possível aplicar medidas de renaturalização à ribeira de Alcântara. Foram quantificados os benefícios tangíveis e alguns dos benefícios intangíveis, que as alterações propostas poderão devolver à cidade de Lisboa. Os métodos de valoração contribuem para que haja uma melhor aceitação por parte da população das alterações a realizar, e que, sejam atingidos todos os objetivos propostos para as intervenções.

**Palavras-chave:** curso de água, renaturalização, serviços dos ecossistemas, valoração de benefícios





## **Abstract**

Urban watercourses and the green areas surrounding them have a very important role in today's way in which cities operate. These areas perform different roles such as regulating climate factors, preservation and conservation of biodiversity and ecosystems, as well as approaching the natural environment to the population.

The main purpose of this dissertation was to study the major problems associated with urban watercourses and how to overcome them to restore the natural conditions of these places. Several case studies regarding interventions on watercourses were analysed, identifying the different methodologies used and the associated problems. Classification and valuation methods were also analysed in order to use the concept of the ecosystems services and their associated benefits to evaluate the interventions in watercourses.

The last part of this dissertation was the implementation of the studied methods and techniques in a proposal for the renaturalization of the Alcântara valley, in Lisbon. Three main areas were identified, in a first phase, where it will be possible to apply the necessary renaturalization measures to the Alcântara stream. The tangible and some of the intangible benefits that the proposed changes could return to the Lisbon city were quantified. These valuation methods contribute to a better acceptance by the local population of the projected interventions thus allowing to achieve all the objectives of the renaturalization project.

**Keywords:** watercourse, renaturalization, ecosystem services, benefits valuation



## Lista de abreviaturas

O ponto (.) foi utilizado como separador decimal.

Para facilitar a leitura, os números foram escritos em grupos de três algarismos a partir das unidades, separados por um espaço em branco.

A2 – Autoestrada 2

Av. - Avenida

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

CP – Comboios de Portugal

DQA – Diretiva Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000)

EMEF – Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes

IPA – *Importance Performance Analysis*

MEA – *Millenium Ecosystem Assessment*

PES – *Payment for Ecosystem Services*

PWS – *Payment for Water Ecosystem Services*

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SuDS – *Sustainable Drainage Systems*

UN – *United Nations*

TMDA – Tráfego médio diário anual

WTA – *Willing to Accept*

WTP – *Willing to Pay*



# Índice

<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Importância dos ecossistemas e renaturalização na gestão dos recursos hídricos .....	1
1.2. Objetivo e programa de trabalhos .....	2
1.3. Estrutura do documento .....	3
<b>2. Renaturalização dos Recursos Hídricos, serviços dos ecossistemas - Revisão</b>	<b>4</b>
2.1. Enquadramento histórico .....	4
2.2. Problemas atuais .....	6
2.3. Funções dos cursos de água urbanos .....	8
2.3.1. Benefícios ambientais .....	9
2.3.2. Benefícios sociais.....	11
2.3.3. Benefícios económicos.....	12
2.4. Condicionantes à implementação de medidas .....	14
2.5. Serviços dos ecossistemas aquáticos.....	16
<b>3. Metodologias de intervenção</b> .....	<b>21</b>
3.1. Método de avaliação .....	21
3.2. Áreas de atuação.....	22
3.2.1. Controlo dos leitos de cursos de água .....	22
3.2.2. Erosão.....	23
3.2.3. Velocidade do escoamento e infiltração .....	24
3.2.4. Qualidade da água .....	25
3.2.5. Dragagens.....	27
3.2.6. Alterações profundas da envolvente dos cursos de água.....	28
3.3. Requalificação das margens .....	33
<b>4. Análise de casos – Vale de Alcântara</b> .....	<b>42</b>
4.1. Enquadramento .....	42
4.2. Estado atual.....	45
4.3. Alterações propostas .....	48
4.3.1 Praça de Espanha e cruzamento da Avenida de Ceuta com Avenida Calouste Gulbenkian.....	49
4.3.2 Quinta do Zé Pinto.....	51
4.3.3 Avenida de Ceuta.....	56
4.3.3.1 Funcionalidade e acessibilidade .....	56
4.3.3.2 Contribuição para a reabilitação .....	59
4.4. Alterações e valoração dos serviços ecossistemas.....	62
4.4.1 Praça de Espanha e cruzamento da Avenida de Ceuta com a Avenida Calouste Gulbenkian.....	64

4.4.2 Quinta do Zé Pinto.....	66
4.4.3 Avenida de Ceuta.....	67
4.4.4 Resultados globais .....	68
<b>5. Discussão de resultados .....</b>	<b>71</b>
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>75</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>77</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>85</b>

## Índice de figuras

Figura 1 - Esquema de meandrização (adaptado Fernandes, 2018) .....	23
Figura 2 - Situação anterior a) e posterior b) à renaturalização do rio Cheonggyecheon (Island Press, n.d.) .....	29
Figura 3 - Esquema dos declives e dos vários métodos construtivos (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013).....	35
Figura 4 - Esquema gabiões (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013).....	36
Figura 5 - Esquema enrocamento vivo (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013).....	37
Figura 6 - Esquema muro vivo (Adaptado (FEUP e ARHcentro, 2013).....	38
Figura 7 - Esquema faxinas (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013) .....	39
Figura 8 - Ribeira de Alcântara junto ao Aqueduto das Águas Livres, Lisboa 1939 Eduardo Portugal (fonte: Arquivo Municipal de Lisboa / Núcleo de Fotografia) .....	42
Figura 9 - Construção do caneiro de Alcântara – Obras de cobertura da ribeira de Alcântara, fotografias de Mário de Oliveira (fonte: Arquivo Municipal de Lisboa).....	43
Figura 10 - Planta bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara (fonte: adaptado Museu da Fundação Calouste Gubenkian).....	46
Figura 11 - Planta da atual bacia hidrográfica do caneiro de Alcântara (fonte: adaptado de Plano de Drenagem da Cidade de Lisboa 2016-2030) .....	47
Figura 12 - Planta do risco de inundação cidade de Lisboa, escala 1/20000, identificando as 3 zonas estudadas (Adaptado Lxi – lisboa interativa) .....	49
Figura 13 - Bacia de infiltração proposta Avenida Ceuta/Avenida Calouste Gulbenkian, escala 1/1000 (Adaptado Lxi – lisboa interativa) .....	50
Figura 14 - Área verde proposta, Quinta do Zé do Pipo (Adaptado Google Maps).....	52
Figura 15 - Esquema da junção dos 2 ramos do caneiro - planta, escala 1/2000 (Adaptado Lxi – lisboa interativa) .....	53
Figura 16 - Esquema simples da geometria proposta para a ribeira de Alcântara, zona da Quinta do Zé Pinto .....	54
Figura 17 - Esquema junção dos dois ramos do caneiro – perfil (Adaptado cm-Lisboa, n.d.-a) 55	
Figura 18 - Imagem representativa do troço da ribeira a interencionar .....	56
Figura 19 - Esquema das alterações propostas nos acessos da A2 (Adaptado Google Maps) 58	
Figura 20 - Esquema simples da geometria proposta para a ribeira de Alcântara, zona da Avenida de Ceuta .....	60

Figura 214 - Esquema simples da geometria proposta para a ribeira de Alcântara, zona da Quinta do Zé Pinto(1)..... 61



## Índice de tabelas

Tabela 1 – Serviços dos ecossistemas e principais objetivos .....	20
Tabela 2 – Desafios dos cursos de água e soluções de intervenção (1/2) .....	31
Tabela 3 – Métodos de proteção das margens intervencionadas (fonte: Cruz e Fernandes, 2011) .....	40
Tabela 4 - Serviços dos ecossistemas respectivas fontes e valores por hectare e ano considerados .....	65
Tabela 5 - Valorização de cada serviço dos ecossistemas associado aos biomas de cada zona estudada.....	69
Tabela 6 – Valoração dos serviços dos ecossistemas das três áreas estudadas.....	70



## 1. Introdução

### 1.1. Importância dos ecossistemas e renaturalização na gestão dos recursos hídricos

A água doce é um recurso extremamente escasso, que tem necessariamente de ser utilizado com moderação. No planeta Terra, estima-se que, atualmente, apenas 2.5% de toda a água existente seja água doce, e que 1.8% do total de água existente no mundo, esteja retida nos polos, em forma de gelo, ou em glaciares. Restam assim 0.7% de água em estado líquido e doce. No entanto, uma grande fatia desta água encontra-se armazenada em aquíferos subterrâneos que, não estando facilmente acessível, dificulta o seu uso para colmatar as necessidades humanas (Conselho Nacional da Água, n.d.). Os cursos de água são a fonte de água doce mais importante para o uso humano e, sendo a água um recurso natural essencial, a sua preservação, e recuperação torna-se imprescindível. Os cursos de água têm sido sujeitos a uma forte pressão humana, que afeta não só o próprio curso de água, mas também os ecossistemas que os envolvem. Os ecossistemas na envolvente dos cursos de água são muito vulneráveis às alterações realizadas, podendo, em casos extremos, não ser possível a sua total reabilitação/recuperação. Assim, e considerando a reduzida percentagem de água doce disponível, torna-se muito importante e urgente o estudo dos problemas que afetam as linhas de água.

Os números associados à quantidade de água existente no mundo, revelam a real importância de estudar os problemas relacionados com os cursos de água, estando este trabalho focado em analisar esses problemas em ambiente urbano. A análise da problemática relativa aos cursos de água deve ser bastante abrangente, não ficando somente focada na qualidade da água, mas abordando também as alterações físicas que estes foram sofrendo ao longo de anos de ocupação e uso humano. Na verdade, as alterações físicas nos cursos de água criam muitas vezes problemas na qualidade da água, sendo essencial corrigir em primeiro lugar estas situações, de modo a melhorar todas as outras deficiências de forma mais rápida e eficaz (Brantley e Jennings, 2016). A caracterização das alterações físicas, deverá considerar não só, alterações ao nível do leito e margens dos cursos de água, mas também nos ecossistemas das suas margens, os habitats ripícolas.

Em muitas cidades do planeta, os rios e ribeiros foram totalmente alterados fisicamente, de modo a promover o rápido e fácil desenvolvimento do aglomerado urbano. Canalizar ou criar leitos de cursos de água em betão, foi prática comum durante vários anos um pouco por todo o mundo, procurando-se, em geral, o rápido escoamento da água. Com o aumento das zonas impermeabilizadas, passou a existir um maior volume de escoamento superficial, o qual foi encaminhado para as linhas de água, com o intuito de o conduzir para fora dos centros urbanos com a maior brevidade possível. No entanto, linhas de água betonadas não provocam necessariamente um aumento do caudal de água escoada, nem uma redução do tempo que essa água leva a ser escoada. Deste modo, um curso de água, nestas condições, não assegura necessariamente um maior nível de segurança.

As alterações nos cursos de água, ou o seu uso para além do limiar da sustentabilidade, resultam num conjunto de problemas que afetam as diversas funções das linhas de água, podendo em muitas situações resultar em efeitos negativos diretos para o ser humano. Do ponto de vista físico, podem ocorrer alterações do regime de caudais, como cheias e secas, aumento da erosão ou do assoreamento de certas zonas e/ou dificuldades de drenagem dos terrenos adjacentes às linhas de água (Pereira, 2001). Para além da qualidade da água ser também afetada, as alterações realizadas nos cursos de água têm ainda efeitos nos ecossistemas envolventes (Pereira, 2001). Os problemas ecológicos resultantes das transformações das linhas de água fazem-se sentir ao nível da perda de habitats, no aparecimento de espécies invasoras e infestantes, na ocorrência de pragas e doenças, e em alterações na cadeia trófica (Pereira, 2001).

As intervenções efetuadas num curso de água com o objetivo de reverter as alterações a que foram sujeitos são, em geral, agrupadas num único termo de acordo com a abrangência e as ambições ambientais do projeto. O termo mais ambicioso é a renaturalização, que procura restaurar as condições naturais dos sistemas ecológicos. Por outro lado, designa-se por reabilitação as intervenções que têm como foco restituir o curso de água a um estado anterior, que pode ou não ser o seu estado natural primitivo. Por fim, uma recuperação é o termo utilizado quando são melhoradas as condições atualmente existentes, sejam elas naturais ou totalmente artificiais.

Durante o projeto de renaturalização de um curso de água, os problemas devem ser resolvidos utilizando a bacia hidrográfica como unidade de referência, evitando o foco apenas num local da linha de água em questão. O sucesso das medidas a implementar só consegue ser atingido quando existir uma ligação entre os vários sistemas dos cursos de água, tal como existe numa linha de água em estado natural. Para tal, é necessário considerar toda a bacia hidrográfica, e utilizar instrumentos de planeamento amplos, evitando considerar a renaturalização como um projeto isolado (Moreira et al., 2004).

## 1.2. Objetivo e programa de trabalhos

O objetivo do presente trabalho é a análise de vários projetos de renaturalização de cursos de água já executados e a apresentação de uma proposta de renaturalização da ribeira de Alcântara, em Lisboa.

Na revisão bibliográfica efetuada, procurou-se que o espetro de casos analisados fosse o mais vasto possível, cobrindo várias regiões geográficas a nível mundial, com condições edafoclimáticas e topográficas diferentes, analisando-se também locais com diferentes legislação e intervenientes. O trabalho realizado constou da recolha de informações sobre os projetos já executados analisando, nomeadamente, os motivos das intervenções, os vários intervenientes e o respetivo papel, as medidas de mitigação dos problemas existentes e de compensação, caso

tenham sido necessárias. Os entraves à execução do projeto foram também considerados, bem como os benefícios alcançados.

Após a análise de casos bibliográficos, foi estudada uma bacia hidrográfica da região de Lisboa, o vale de Alcântara, apresentando-se as medidas que permitirão, quando implementadas, melhorar, valorizar e recuperar o curso de água em causa, dos danos provocados no passado.

### 1.3. Estrutura do documento

O presente documento é composto por seis capítulos descritivos das várias etapas do estudo, consistindo o atual (primeiro) capítulo, numa introdução ao tema estudado.

O segundo capítulo contém uma análise geral aos cursos de água urbanos: como se desenvolveram ao longo dos tempos até ao estado atual, quais as suas principais funções e quais as condicionantes à implementação de medidas de renaturalização. Por fim são apresentados os serviços dos ecossistemas aquáticos e os diferentes esquemas na sua valoração.

No terceiro capítulo foi definido o método de avaliação e as áreas de atuação no curso de água urbanos a intervir. Foram identificados diversos métodos de requalificação de margens danificadas, e os custos associados a estas alterações.

No quarto capítulo apresenta-se o desenvolvimento dos capítulos anteriores aplicados a um caso de estudo, analisando-se o vale de Alcântara e a ribeira com o mesmo nome. Foram definidas três zonas de atuação e propostas medidas de alteração com vista à implementação de melhorias ambientais e sociais. Foi ainda realizada uma análise económica, permitindo valorizar monetariamente os diversos serviços dos ecossistemas presentes.

No quinto capítulo é feita uma análise dos resultados obtidos, identificando possíveis melhorias de futuro com a apresentação de novos dados.

O sexto e último capítulo resume o trabalho realizado e possíveis desenvolvimentos em estudos e projetos futuros.

Nos anexos apresenta-se dois quadros: a lista de indicadores da análise biofísica dos serviços dos ecossistemas (A1) e a valorização de cada serviço dos ecossistemas associado aos biomas de cada zona estudada (A2).

## 2. Renaturalização dos Recursos Hídricos, serviços dos ecossistemas - Revisão

### 2.1. Enquadramento histórico

Na história da grande maioria das cidades mundiais estiveram sempre presentes linhas de água, que permitiam o abastecimento de água e alimentos, servindo também como zonas de recreio. No caso dos cursos de água de maior caudal, estes eram também utilizados como artérias para navegação (Lovell, 2015). São claros exemplos disso Lisboa, Londres, Paris ou Berlim. Ao longo do tempo foram sendo realizadas alterações dessas linhas de água, de modo a servir, da melhor forma possível, as populações, de acordo com as visões e linhas de pensamento das diferentes épocas. Com o objetivo de melhorar o abastecimento de água, foram construídas pequenas represas ou açudes, encaminhando de seguida a água através de canais, ou bombando no local; noutros locais, tentando aumentar as zonas habitacionais ou desenvolver as vias de comunicação, as margens foram totalmente alteradas, permitindo a edificação de novas construções juntos aos cursos de água, ou mesmo por cima destes. Para além das alterações físicas dos rios e ribeiros, a qualidade da água foi também severamente afetada, uma vez que a grande maioria dos efluentes dos núcleos urbanos eram descarregados nos cursos de água, naturalmente, sem qualquer tratamento, poluindo-os em grande escala (Joshi et al., 2012).

Babilónia foi a primeira grande cidade do mundo antigo, desenvolvendo-se na margem esquerda do rio Eufrates. O rio servia não só como fonte de recursos, mas também como uma importante via de comunicação, razão pela qual a cidade foi construída na margem do rio. Ao nível local, com o intuito de facilitar o uso da água, quer para irrigar os campos agrícolas, quer para o consumo humano, foram construídos diversos canais, que desviavam água do rio Eufrates. Os canais serviam também de linha defensiva, protegendo a cidade de ataques inimigos, criando barreiras ao seu avanço (Nicolet et al., 1996). Ainda na Mesopotâmia, mas na cidade de *Nippur*, foram construídos os primeiros sistemas de recolha de esgotos, que recolhiam as águas residuais urbanas e as devolviam aos rios, sem qualquer tratamento. Outro exemplo de gestão da água em centros urbanos ocorreu ao longo de todo o vale do Indo, tendo existido um cuidado especial na construção das cidades, existindo planeamento urbano e sofisticados sistemas de drenagem urbano de águas residuais (Barros, 2019).

Durante o Império Romano, tal como na Babilónia, foram desenvolvidos diversos projetos de melhoria das condições de vida nas cidades, expandindo não só o abastecimento de água, mas também o saneamento urbano. As alterações nos sistemas de água urbanos, trouxeram evoluções significativas para as populações, reduzindo a insalubridade nos núcleos urbanos. As melhorias surgiram com o desenvolvimento de diversas estruturas hidráulicas, tanto para o abastecimento como para o saneamento. Desenvolveram-se projetos hidráulicos de grandes dimensões, tanto para armazenar água, com a construção de diversas barragens e açudes, como para o transporte até aos centros urbanos, através de aquedutos e condutas. Os sistemas de recolha de esgotos não eram postos de parte pelas autoridades responsáveis, não existindo, no entanto, qualquer tratamento às águas residuais urbanas.

Durante a Idade Média e a Idade Moderna poucos avanços existiram em relação à qualidade de vida das cidades. Em muitos casos é até possível afirmar que houve uma regressão, deixando de parte melhorias no abastecimento de água e no saneamento (Barros, 2019). Com o aumento da população, o problema da poluição e das alterações realizadas nos cursos de água foram aumentando, continuando a não haver mais uma vez qualquer preocupação em relação ao tratamento das águas residuais.

Com o início da revolução industrial, a poluição aumentou consideravelmente (Chadwick, 1842), altura em que a produção de efluentes contaminados alastrou bastante, juntamente com o grande aumento de emissões de gases e partículas poluentes. A tendência crescente dos efluentes nos centros urbanos resultou não só do enorme aumento da produção das unidades fabris, mas também do grande afluxo de população do meio rural para os centros urbanos, devido às elevadas necessidades de mão de obra nas fábricas, e à procura de uma melhor qualidade de vida pelas pessoas (Chen, 2019). Todas estas transformações ocorreram num curto intervalo de tempo, não tendo existido evolução no modo como eram executadas as descargas dos esgotos. O aumento do número de fábricas, e o facto da grande maioria ter sido instalada junto a linhas de água, provocou enormes problemas nos ecossistemas ribeirinhos. A qualidade da água foi severamente afetada com as enormes e descontroladas descargas de poluentes, e as margens e ecossistemas ripícolas foram destruídos para acomodar novas construções (Chen, 2019). Assim, a vivência nas cidades, bem como nos ecossistemas presentes nestas, sofreram enormes alterações, quase sempre prejudiciais para o ambiente e para a própria população. No geral, a maioria das grandes migrações provocam grandes impactes negativos no ambiente, causados, não só pela elevada quantidade de pessoas que se desloca, mas também devido à falta de preparação das infraestruturas para acomodar toda essa afluência (Filho et al., 2009).

No seguimento da revolução industrial, e já na Idade Contemporânea, começaram as primeiras preocupações em relação aos sistemas de saneamento urbano e ao seu controlo. Tal como refere Barros (2017), em França, no ano de 1829, foram implementadas leis que puniam com multas ou penas de prisão quem poluísse os cursos de água, fazendo descargas de produtos ou resíduos que matassem peixes. Começaram também a ser implementados sistemas de controlo dos efluentes, com um insipiente tratamento dos mesmos. No Reino Unido, tal como em França, começou a existir um controlo mais apertado em relação aos efluentes industriais (Barros, 2019).

No século XX os problemas nos cursos de água urbanos continuaram a ser sentidos, não havendo uma tendência clara de abrandamento das ações negativas que continuavam a ser efetuadas. O tratamento dos efluentes, tanto industriais como domésticos, já era realizado em muitos locais, mas era ainda insuficiente. Mesmo atualmente, em pleno século XXI, ações de alteração e destruição dos cursos de água e zonas envolventes continuam a ocorrer na maioria dos países considerados em desenvolvimento e em alguns dos países desenvolvidos (Ryder, 2017). Em geral, este tipo de comportamentos está muito associado a regiões onde a qualidade de vida é pior, e em que muitas das habitações não estão ligadas à rede de esgotos e são ilegais. Pelo contrário, as descargas ilegais de efluentes industriais ou agrícolas nos cursos de água,

não provém de instalações construídas ilegalmente, uma vez que existe um controlo mais apertado sobre estas (Joshi et al., 2012).

Se por um lado o tratamento dos efluentes já tinha alguma expressão nos anos 70-80 do século XX, e existia desde há algum tempo esforço de limitar ou acabar com efluentes não tratados (Joshi et al., 2012), as alterações físicas realizadas nos cursos de água continuavam sem estudos prévios, e a serem largamente implementadas (Zhao et al., 2013). As motivações que levavam à sua realização eram variadas, mas no geral, as linhas de água eram vistas como um entrave ao desenvolvimento dos centros urbanos. Não era realizada qualquer análise sobre os impactos que estas modificações tinham na população urbana e/ou nos ecossistemas envolventes das linhas de água (Island Press, n.d.).

Com todas estas alterações físicas, químicas e ecológicas, os cursos de água passaram de locais limpos e agradáveis, a locais sujos e desagradáveis, fontes de maus odores e doenças. Surgiu assim a necessidade de ultrapassar estes problemas, e a solução que, à luz dos conhecimentos da altura, pareceu mais apropriada foi encanar muitas das linhas de água, que passavam nos centros urbanos (Benepe, 2015). Esta solução permitiu eliminar certos problemas sanitários e visuais e, simultaneamente, aumentar a área de construção, tanto de edifícios, como de vias de comunicação, necessária ao rápido crescimento que os centros urbanos estavam a ter. No entanto, canalizar cursos de água, aumentou ainda mais os problemas ambientais destas zonas urbanas, que, em certos locais, eram já muito acentuados, como a destruição de ecossistemas e habitats e uma redução da infiltração. Este tipo de soluções permitia cobrir alguns problemas identificados no passado, não considerando os problemas que poderiam ser causados a nível ambiental.

## 2.2. Problemas atuais

Os problemas causados nos cursos de água urbanas diretamente relacionados com o aumento da população urbana têm tendência a agravar-se no futuro, uma vez que a população urbana cresce de ano para ano. O ano de 2007 foi um marco de viragem para a população mundial, passando a existir mais população urbana do que rural (Ritchie e Roser, 2019). Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2014, cerca de 54% da população mundial já habitava em áreas urbanas, prevendo-se que este valor cresça para 66% no ano de 2050 (Melo, 2008). De acordo com este estudo, o conceito de área urbana é definido como um conjunto de terrenos urbanos, com pelo menos 20ha que distam entre si menos de 200m e têm mais de 2000 habitantes. É necessário, no entanto, ter alguma cautela na utilização deste conceito pois a definição deste tipo de áreas, pode variar de país para país ou, mesmo dentro de um país, de instituição para instituição.

Com o aumento da população urbana, aumenta naturalmente a área construída, e a área de solo impermeabilizada, tornando-se, assim, imprescindível atuar, não só ao nível dos rios e ribeiros, como ao nível dos espaços verdes em geral. O aumento e melhoramento destes espaços vai



contribuir não só para a recuperação dos cursos de água, mas também para uma melhor gestão dos recursos hídricos. Estender a área das zonas verdes permitirá reduzir o pico de cheia e aumentar o tempo de concentração através do aumento da infiltração, retenção e evapotranspiração. Deste modo, diminuir-se-á a probabilidade de ocorrência de cheias e aumentar-se-á o escoamento base dos cursos de água fora dos períodos de precipitação (Brantley e Jennings, 2016; Haase et al., 2014). Além disso, os espaços verdes urbanos ao diminuírem o escoamento superficial, reduzem também a quantidade de poluentes que são arrastados pelas águas pluviais para os ecossistemas fluviais (Costa, 2010). Os benefícios resultantes de melhorias nestes locais são assim inúmeros, tanto para os ecossistemas envolventes, como para as populações citadinas, resultando, não só, num aumento do bem-estar geral, como numa redução dos efeitos negativos de grandes eventos pluviosos (Elmqvist et al., 2015).

Sem alterações no planeamento dos centros urbanos, e continuando a tendência de crescimento populacional nestas áreas, o futuro dos cursos de água com características naturais está condenado. Se as alterações descontroladas realizadas no passado continuarem a ser utilizadas, continuar-se-á a destruir habitats e ecossistemas fluviais. Estes tipos de modificações não poderão continuar a ser promovidas, e as anteriormente executadas, terão de ser reabilitadas, procurando recuperar o estado natural dos cursos de água, renaturalizando-os. No entanto e apesar de ser esse o principal veículo ideológico, a reposição das características naturais das linhas de água urbanas não tem apenas motivações ambientais, mas também económicas e sociais.

Ainda que a tendência de crescimento da população urbana ocorra a nível mundial, muitas das cidades europeias estão a perder população residente na sua zona central, levando a um aumento das áreas devolutas (Haase et al., 2014). Esta redução da população nos centros urbanos não significa que a população urbana esteja a diminuir, mas sim que, por motivos económicos, tem ocorrido um êxodo de residentes do centro para a periferia das grandes cidades, como é o caso da cidade de Lisboa (PORDATA, 2015). Com este novo paradigma dos grandes centros urbanos, principalmente dos europeus, torna-se necessário reinventar a ocupação a dar às áreas abandonadas.

Esta problemática foi analisada por (Haase et al., 2014) para a cidade alemã de Leipzig, onde foram estudados os espaços devolutos, e os possíveis usos de cada um deles. Baseado num sistema de classificação com dois fatores, o estado de contaminação do solo e a sua cobertura, estes autores conseguiram propor uma nova utilização dessas áreas. Com a implantação de zonas verdes, as quais poderão até servir para a produção local de alimentos, o amortecimento de cheias é realizado, alimenta-se aquíferos e cursos de água e promove-se um retorno ao estado natural das linhas de água (Haase et al., 2014). Os benefícios diretos e indiretos para as populações são assim garantidos, levando, também, a uma valorização dos centros urbanos.

O aumento dos espaços devolutos, quer no contexto português, quer internacionalmente, ocorre em maior número em zonas industriais obsoletas. Os aglomerados industriais localizam-se em

diversas partes das cidades, estando, no entanto, muito associados às zonas ribeirinhas. A identificação e tratamento destes locais é, assim, de extrema importância, tanto pela valorização em si, mas também com o objetivo de atingir uma boa recuperação dos habitats e ecossistemas existentes no espaço urbano. Classificar os espaços considerando a contaminação dos solos proporciona intervenções adequadas nos locais afetados por poluentes, resultando numa melhor qualidade da água dos cursos de água adjacentes (Haase et al., 2014). Controlando e eliminando os solos contaminados evita-se a lixiviação de muitos poluentes para as massas de água.

Na recuperação de espaços abandonados, devem ser tidas em consideração as questões ecológicas e ambientais, promovendo-se a continuidade ecológica, através da criação de espaços verdes que, estando nas margens de cursos de água, devem fomentar a vegetação ripícola mais adequada às condições locais.

### 2.3. Funções dos cursos de água urbanos

Os cursos de água urbanos tiveram um papel fundamental no desenvolvimento das cidades mundiais, mas a sua importância tem sido gradualmente alterada. Atualmente são raros os casos onde a água para consumo humano é proveniente dos cursos de água urbanos. Na maior parte das situações, opta-se por captar água em albufeiras, enviando-a depois para os centros urbanos. O mesmo ocorre com as águas residuais. Com a introdução dos sistemas de esgotos e estações de tratamento, evitou-se que os cursos de água servissem de esgotos das cidades. Assim, o papel das linhas de água que cruzam as zonas urbanas passou a ter um cariz mais ambiental e social (Elmqvist et al., 2015).

Na recuperação e renaturalização das linhas de água urbanas é fundamental ter em atenção as atuais funções destes sistemas e a sua constituição. Só abordando de uma forma holística o problema se conseguirão obter os melhores resultados.

Os sistemas ribeirinhos são compostos por 4 componentes interdependentes (Pereira, 2001): o leito do curso de água, o corpo de água, a galeria ripícola e o sistema antrópico.

O leito do rio é a zona para onde é drenada, e por onde escoam, a água do escoamento superficial. É nesta zona onde se encontra a zona hiporreica (*hyporheic zone*, na terminologia anglo-saxónica), região do leito onde se dá a filtração de partículas, suavização das variações de temperatura, e onde a água é exposta às populações microbiais, importantes elementos, responsáveis pelas transformações biogeoquímicas que ocorrem nos cursos de água (Schirmer et al., 2014). Estas funções intensificam-se com a variabilidade morfológica destas zonas, permitindo aumentar o grau de limpeza natural da água dos cursos de água (Schirmer et al., 2014). O leito dos rios é também o local onde se dá a diminuição da velocidade do escoamento, o que contribuirá para uma distribuição mais homogênea da humidade do solo nos terrenos limítrofes e permitirá uma maior diversidade de ecossistemas ribeirinhos.

O corpo de água, a segunda componente dos cursos de água, é essencial para a existência de fauna e flora aquática. A qualidade da água é fulcral aos sistemas ribeirinhos, pois, só com água em boas condições, os ecossistemas e as atividades humanas poderão prosperar (Pereira, 2001).

A galeria ripícola é zona que ocupa parcialmente o leito dos cursos de água, principalmente os taludes, ocupando uma faixa variável consoante as características da linha de água (Pereira, 2001). Apresenta diversas funções benéficas, tanto do ponto de vista ambiental, como para as populações. Tem um papel bastante importante como fonte de abrigo e de alimentação para fauna terrestre e anfíbia, criando também boas condições para o desenvolvimento e proliferação de espécies aquáticas. Reduz o teor de nutrientes dissolvidos e em suspensão no corpo de água, reduzindo também a luminosidade e a temperatura nas massas de água. A vegetação ripícola tem ainda um papel muito importante na consolidação das margens dos cursos de água, podendo, diminuir o efeito das cheias nos terrenos adjacentes, limitando a perda de bens (Pereira, 2001). A escolha do tipo de vegetação a utilizar é muito relevante no sucesso do desenvolvimento de uma galeria ripícola adequada.

A quarta componente dos sistemas ribeirinhos é constituída pelos sistemas antrópicos, sistemas que resultam da ação do homem sobre os habitats, referindo-se às zonas construídas ou agrícolas (Pereira, 2001). Os sistemas antrópicos são muitas vezes responsáveis pela poluição, tanto nas cidades, através da chuva que funciona como veículo de dispersão dos poluentes presentes nos pavimentos citadinos, como nos campos agrícolas, através da lixiviação de fertilizantes, pesticidas e herbicidas. Embora o tema deste trabalho sejam os cursos de água urbanos, como já foi referido anteriormente, é fulcral abordar todo o sistema, analisando toda a bacia hidrográfica, e não apenas um pequeno troço da linha de água (Cruz e Fernandes, 2011).

### 2.3.1. Benefícios ambientais

As funções e benefícios ambientais retirados das renaturalizações dos cursos de água, e das zonas verdes envolventes, são de longe os mais importantes, e relativamente aos quais se deve ter maior preocupação, já que uma melhoria, ao nível ambiental pode em muitos casos, reverter-se em ganhos económicos e sociais para as populações.

As renaturalizações das linhas de água aumentam as áreas verdes adjacentes a estas, havendo melhorias ao nível da vegetação ripícola. A reintrodução deste tipo de habitat aumenta a biodiversidade, tanto de plantas como de espécies animais presentes, restabelecendo muitos dos ecossistemas degradados. A reintrodução e/ou requalificação de ecossistemas no espaço urbano, permite também reduzir a poluição que se faz sentir na maioria dos centros urbanos mundiais, tanto ao nível da poluição atmosférica como da poluição da água, atuando como filtros naturais. É claro que a intensidade destes benefícios não se fará sentir da mesma maneira em todos os locais, dependendo das condições climáticas locais, do tipo de vegetação indígena e da intensidade de poluição em cada local (Elmqvist et al., 2015).

Na execução das renaturalizações, as espécies vegetais utilizadas devem respeitar as condições edafo-climáticas locais, devendo-se privilegiar as espécies autóctones presentes nos ecossistemas recuperados. A opção por este tipo de vegetação tem, não só, um papel muito importante no processo de regresso às condições naturais existentes junto aos cursos de água, mas também de um uso apropriado dos recursos naturais. A aposta em vegetação local faz com que sejam necessários menos recursos, quer durante a plantação, quer posteriormente, na fase de manutenção das plantas. Em geral, este tipo de vegetação é mais rústica, com menores necessidades hídricas e de fertilização. (Pataki et al., 2011). Em certos locais, onde o clima é mais árido, as exigências de rega de alguns espaços verdes são tão grandes que levam a um consumo excessivo de água. O elevado uso deste recurso natural, reduz os efeitos benéficos globais dos espaços verdes junto aos cursos de água, podendo até, em certos casos, considerar-se o seu impacto como negativo (Pataki et al., 2011). Nestes locais é imprescindível optar por espécies que necessitem de menores quantidades de água, e que estejam adaptadas a esse tipo de clima, sendo assim fulcral a escolha de espécies autóctones. Contudo este tipo de escolhas é em muitos casos difícil de implementar, uma vez que é largamente influenciado pelos hábitos culturais da população local. Por exemplo, no estado da Califórnia, Estados Unidos da América, os espaços verdes são em muitas situações constituídos por relvados, facilmente observável através de plataformas como o *Google Maps*<sup>1</sup>, que necessitam de grandes quantidades de água para se manterem. Em média, na Califórnia, o consumo de água por dia e por habitante é de 322 litros (Brown, 2017), ao contrário de Portugal continental, onde o consumo médio é de 171 litros por dia e por habitante (PORDATA, 2019). A diferença denota bastante as diferenças culturais e os hábitos das duas populações.

Outro dos benefícios ambientais da renaturalização dos cursos de água é a redução da quantidade de carbono presente na atmosfera. Este efeito ocorre de duas formas distintas. A primeira é o sequestro direto pelas zonas verdes e linhas de água. A segunda é através da redução da temperatura dos centros urbanos (ver 2.3.2), resultando num menor consumo de energia para o arrefecimento dos edifícios. Considerando que a maior fatia de energia elétrica produzida em Portugal é de origem fóssil, energia termoelétrica (PORDATA, 2018), uma redução no consumo traduz-se numa redução do volume de carbono emitido para a atmosfera. A quantidade de carbono sequestrada terá de ser analisada caso a caso, considerando as espécies vegetais utilizadas, a idade e a densidade de plantação. No caso do arrefecimento dos edifícios, a distância a que se encontram as árvores dos prédios é bastante importante para a determinação da redução da temperatura, que pode mesmo não ocorrer (Pataki et al., 2011).

O processo de renaturalização de cursos de água aumenta, na maioria dos casos, a área permeável dos centros urbanos, não só através do processo de alteração dos leitos dos rios e ribeiras, mas também das suas margens. Este processo de remoção das zonas pavimentadas, cria condições para a redução do escoamento superficial, reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de cheias nos centros urbanos intervencionados. Este é talvez o benefício ambiental

---

<sup>1</sup> [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps)

mais visível, e valorizado, diretamente pela grande maioria da população. No entanto, do ponto de vista ambiental, existem também outros benefícios que importa realçar. A qualidade da água nos cursos de água tem tendência a melhorar, uma vez que, com a infiltração aumenta a capacidade de filtragem, retendo uma parte da poluição presente na água escoada superficialmente dos centros urbanos (Schirmer et al., 2014). A qualidade da água pluvial urbana é, em muitos casos, comparada às águas residuais urbanas tal é o nível de poluição, proveniente não só do lixo urbano que continua a existir, mas também dos combustíveis e óleos dos veículos que circulam em grande escala nas cidades (Costa, 2010).

O aumento da infiltração nos centros urbanos melhora também o regime hidrológico. Ao aumentar o tempo de concentração, há uma renovação gradual da água nas linhas de água, limitando-se, assim, quer a sua estagnação, quer o desaparecimento total da água nos períodos de maior escassez. Os aquíferos são também muito beneficiados, existindo uma maior renovação das suas reservas, permitindo restabelecer, em parte, as condições naturais que os caracterizavam. As melhorias ao nível da infiltração são de extrema importância no paradigma mundial. Atualmente, devido às alterações climáticas e com a perda de vegetação arbustiva e arbórea, devido à expansão agrícola e urbana, como devido aos incêndios florestais, o volume de água escoada superficialmente aumentou consideravelmente, levando a diversos problemas. A magnitude destes eventos varia bastante, podendo originar problemas como erosão e/ou maiores volumes de escoamento durante as chuvadas (Müller, 2017). Esta problemática irá, no entanto, depender de local para local, estando inteiramente ligada ao clima, ao tipo de solo e às condições a montante do local intervencionado.

### 2.3.2. Benefícios sociais

Um dos efeitos benéficos diretos para as populações urbanas, associadas às das linhas de água renaturalizadas e aos habitats ripícolas na envolvente destas, é o efeito de arrefecimento das cidades. Este efeito, produzido pelos espaços verdes urbanos em geral, é neste caso proporcionado pela massa de água e pela vegetação adjacente a ela. Com um pequeno aumento das áreas verdes urbanas, conseguem-se grandes reduções da temperatura média do ar. Um estudo realizado em Manchester, Reino Unido, refere que um aumento de 10% da área de coberto vegetal, resultou numa redução da temperatura ambiente entre 3°C a 4°C (Gill et al., 2007). Mais uma vez, a quantificação da redução da temperatura irá depender muito do tipo de clima e da vegetação presente no local a analisar, devendo ter-se cuidado com a extrapolação dos resultados de outros estudos.

Muitos dos benefícios considerados apenas sociais, são difíceis de quantificar, e muitos destes só o poderão ser à posteriori, abrangendo diversas áreas, desde a saúde pública aos serviços culturais prestados.

A saúde da população urbana, tanto física como psicológica, é positivamente afetada por melhorias nos espaços verdes e zonas ribeirinhas urbanas. A redução da poluição atmosférica,

referida como um benefício ambiental, tem um papel fundamental na melhoria da saúde pública dos centros urbanos, uma vez que o aumento de casos de doenças respiratórias está diretamente relacionada com o aumento da poluição ambiental (Associação latino-americana do Tórax, 2017). Ainda que as doenças respiratórias sejam as que mais facilmente se relacionam com a poluição atmosférica, estudos científicos associam a poluição a outros tipos de distúrbios, como, por exemplo, doenças do fígado, do sistema reprodutor ou do sistema cardiovascular (Mendes et al., 2017). Não menos importantes, são os problemas do foro psicológico, que afetando uma quantidade significativa de pessoas, têm tendência a diminuir, ou a serem totalmente ultrapassados, em presença dos espaços verdes e das zonas ribeirinhas (Loboda e Angelis, 2005). Estes locais promovem a prática de atividade física que, por sua vez reduz os níveis de stress, de ansiedade e melhora o estado emocional dos habitantes dos centros urbanos (Calmeiro e Matos, 2004). O bem-estar, e a satisfação em geral, podem aumentar apenas com uma boa vista, por exemplo, para uma zona verde, no local de trabalho, reduzindo assim o stress provocado pela atividade (Lee et al., 2009).

No âmbito dos benefícios sociais, podem também ser classificados os serviços culturais dos espaços verdes e linhas de água urbanas. Estes benefícios, ou serviços, são ainda mais subjetivos que os identificados anteriormente, e por isso mais difíceis de quantificar. Passam pela análise da paisagem urbana resultante dos projetos de arquitetura, design, planeamento urbano e engenharia. Neste âmbito surge o biomimetismo, o conceito que estuda as formas da natureza, e as procura copiar, oferecendo soluções mais naturais e resolvendo problemas de eficiência no quotidiano (Ferreira, n.d.). A renaturalização das linhas de água urbanas permite não só estudar e implementar soluções em consonância com um desenvolvimento futuro da sociedade mais natural e sustentável, em conformidade com as leis da natureza, mas também a aplicação, nos locais degradados, de soluções estudadas em rios selvagens ou em florestas com uma influência mínima do Homem.

Os benefícios culturais dos espaços ribeirinhos recuperados, e dos espaços verdes urbanos em geral, passam também pelo fornecimento de locais calmos e harmoniosos para a realização de eventos culturais, como espetáculos de música ou exposições, e também como espaços de lazer em geral. Promove-se assim a utilização desses locais por parte da população, para atividades desportivas, de entretenimento e educacionais, tanto para adultos como para os mais jovens, podendo ter um papel fundamental no desenvolvimento cognitivos das camadas mais jovens (Elmqvist et al., 2015).

Para além dos benefícios sociais diretos que as intervenções de renaturalização das linhas de água urbanas têm, outros há que estão dissimulados nos benefícios ambientais e económicos.

### 2.3.3. Benefícios económicos

Os benefícios económicos de intervenções desta envergadura não podem ser ignorados, e devem ser utilizados para convencer os intervenientes mais céticos. A renaturalização de um curso de água irá valorizar os imóveis na sua envolvente, como foi demonstrado num estudo realizado na cidade chinesa de Guangzhou (Chen, 2017). A valorização dos imóveis acontece

não só por ser mais agradável viver junto a um curso de água renaturalizado, ou dos espaços verdes que nascem junto destes, mas também pela redução dos níveis de poluição. A redução da poluição do ar e da água, eliminará a maioria dos odores considerados desagradáveis, que afastam parte da população. A poluição sonora é também diminuída com a renaturalização, criando-se barreiras à propagação do som com o desenvolvimento da vegetação ripícola. Zonas anteriormente degradadas ou sem uso por parte das populações, passariam a fazer parte integral da cidade, desenvolvendo ao mesmo tempo a economia local. Por exemplo, em Lisboa, no Parque das Nações, não foi realizada uma renaturalização das margens do rio, mas sim uma recuperação. No entanto, só as renaturalizações efetuadas de descontaminação dos terrenos, evitando novas escorrências para o rio, levaram a uma valorização dos terrenos e imóveis nas imediações (Filipe, 2009).

A redução da amplitude de variação térmica do ar nas imediações dos cursos de água renaturalizados, como referido anteriormente, pode reduzir as necessidades de aquecimento ou arrefecimento do ar, diminuindo os custos operacionais com apartamentos ou escritórios nas imediações (Chen, 2017).

Os benefícios considerados sociais podem também ser analisados como benefícios económicos, tanto do lado da saúde, reduzindo os encargos com tratamentos físicos e/ou psicológicos, ou pelo lado cultural, promovendo outras atividades económicas. Por exemplo, a valorização de espaços degradados ou abandonados leva ao aparecimento de pequenos negócios, como a instalação de cafés ou restaurantes nos novos espaços verdes contíguos aos cursos de água renaturalizados.

Considerando as funções e benefícios das renaturalizações dos cursos de água urbanos, a área onde existe o maior ganho possível será ao nível ambiental, no entanto isto só acontecerá se existirem planos e projetos corretamente executados, ou vontade de seguir esse caminho. Os planos para recuperações ou renaturalizações são o primeiro ponto fulcral das intervenções, existindo em muitas situações a classificação das intervenções como recuperações e não como renaturalizações. Em Melbourne, na Austrália, foram realizadas intervenções junto ao rio *Yarra*, numa antiga zona industrial, tentando transformar o rio como parte da cidade e não como um local para “fugir” da cidade, transformando-o num rio urbano, tal como o rio Sena, em Paris. O projeto inicial servia o propósito de uma recuperação da zona ribeirinha, não atingindo os objetivos ecológicos (Sandercock e Dovey, 2002). O mesmo ocorreu em Lisboa, no Parque das Nações, onde foi dada grande importância ao espaço público e aos equipamentos sociais, recuperando a zona ribeirinha, devolvendo o rio à cidade, mas apenas no aspeto social. Estas transformações resultam em margens muito betonadas e impermeáveis, onde não existe qualquer recuperação ambiental, podendo resultar em efeitos negativos, não só para os habitats circundantes, como para as populações, aumentando o risco de cheia (Filipe, 2009). Estas alterações são, no entanto, positivas, isto porque as áreas em questão foram melhoradas e valorizadas, deixando ainda em aberto, projetos de intervenção de âmbito mais ambiental.

## 2.4. Condicionantes à implementação de medidas

O primeiro passo de uma intervenção de renaturalização de cursos de água urbanos será a identificação dos locais a intervencionar.

O tipo e foco das intervenções a realizar irá variar consideravelmente consoante o local do curso de água. A localização é um importante fator a considerar na realização deste tipo de projetos, tal como uma análise às alterações que foram executadas no passado, e à deterioração a que foram sujeitos os cursos de água. No entanto, quando se refere à localização, é bastante importante ter em consideração não só o país, como a região ou a cidade onde este pertence. O conhecimento da localização ao nível micro é um dos fatores mais importantes para uma correta definição e caracterização dos projetos, pois os hábitos culturais das populações variam muito de local para local, influenciando largamente os alicerces dos projetos. No entanto, diferentes abordagens deste problema continuam a existir, mesmo com a criação de legislação específica que procure garantir uma boa qualidade ecológica das massas de água. É, por exemplo, o caso da DQA – Diretiva Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000), diretiva europeia desenvolvida com o intuito de preservar as massas de água dos países europeus. Esta diretiva foi introduzida na legislação dos diversos países europeus, juntando-se às normas individuais de cada um dos estados membros (Parlamento Europeu, 2014). Zingraff-Hamed et al. (2017) relatam como, baseado em legislação idêntica, várias cidades de França e da Alemanha tiveram projetos de reabilitação de cursos de água muito diferentes. Analisando os objetivos, motivações e medidas aplicadas nos diversos projetos, estes autores concluíram que em França é dada uma maior atenção aos espaços verdes como zonas de utilização por parte da população. Ao contrário, na Alemanha, é dado um maior valor aos espaços verdes com objetivos ecológicos. A educação ambiental é outro fator que influenciou bastante os resultados (Zingraff-Hamed et al., 2017).

O clima é outro dos fatores condicionantes dos projetos de renaturalização. Ocorrendo ao nível *macro*, do país ou região, define o tipo de curso de água, quer relativamente ao caudal a escoar, quer à sua natureza, torrencial ou não. O clima influencia, também, o tipo de vegetação, tanto dos ecossistemas ripícolas como das áreas verdes em redor dos cursos de água que, por sua vez, influenciará as espécies animais presentes. O conhecimento prévio destes fatores tem um papel preponderante no bom desempenho ambiental das intervenções: permite a reposição da fauna e flora locais, tanto no curso de água propriamente dito, como na vegetação envolvente, repondo o normal escoamento (Binder et al., 2015).

As características físicas do local são também determinantes na recuperação e desenvolvimento natural do curso de água, intervindo ao nível do declive e da sua orientação, mas também na aceitação das alterações por parte da população local. O aspeto físico dos locais a intervencionar irá moldar a perceção e ligação que um indivíduo tem com esse espaço. O interesse que os habitantes locais terão ou não pela realização de renaturalizações ou reabilitações dos cursos de água, está ligada a dois conceitos. O primeiro refere-se aos laços sociais criados com os cenários, ou espaços urbanos, o segundo refere-se à satisfação que o local poderá provocar,



criando-se uma ligação, seja ela devido às necessidades da população, ou por causa das qualidades emocionais. Este segundo ponto é bastante importante, uma vez que quanto maior for a ligação da população a um local, maior será a tendência a ocorrerem comportamentos e intenções que sejam benéficos do ponto de vista ambiental (López-Mosquera e Sánchez, 2011; Shafaghat et al., 2017).

A localização deste tipo de projetos deve analisar não só os aspetos naturais, como o clima, o solo e a topografia, mas focar-se também na história e cultura do local. Analisar e compreender estes pontos, embora menos objetivos, revela-se imprescindível à implementação dos projetos. Estes tipos de recuperações/renaturalizações não podem ser realizados sem a aceitação social, levando a que, antes, durante e após a renaturalização se divulguem os motivos e objetivos dos projetos. O aspeto cultural é aqui imprescindível, moldando o modo como serão apresentadas ao público as intervenções a efetuar e influenciando o modo como serão planeados e posteriormente executados os projetos. Por fim, os aspetos culturais influenciam também o modo como estes “novos” locais serão utilizados pelas pessoas, tornando-os espaços de convívio, de passagem ou, caso não exista uma boa aceitação por parte da população, em locais vazios, e em parte abandonados (Levin-Keitel, 2014). A apresentação dos projetos ao público deverá ser feita tendo em conta os aspetos culturais que, para além das crenças e motivações das diversas populações, passa também pela educação ambiental de cada comunidade (Levin-Keitel, 2014).

Outra condicionante do sucesso de uma renaturalização de um curso de água urbano é a questão política. A identificação dos locais a intervencionar terá muitas vezes uma motivação principalmente política, pois só com vontade por parte dos políticos se consegue realizar intervenções desta natureza. Aqui podem começar os problemas deste tipo de projetos, onde os vários interesses e *lobbys* procuram intervir para tentarem obter o maior proveito a seu favor. Este foi o caso de Singapura. Só após a independência conseguiu desbloquear os entraves que existiam à implementação dos projetos de melhoria do rio Singapura e da baía *Kallang* (Hattam, 2012; Tortajada, 2012). Até então, não tinha existido vontade política para realizar as alterações necessárias.

Durante o processo de planeamento das obras a realizar, é necessário incluir todas as entidades envolvidas, discutindo e apresentando todos os requisitos e objeções. Este processo será dos mais complicados de ultrapassar, estando a sua dificuldade dependente da quantidade de entidades/intervenientes presentes. Em zonas urbanas de maiores dimensões, torna-se muitas vezes complicado atender a todas as exigências impostas pelos vários intervenientes. Estes podem variar bastante consoante o local, mas abrangem institutos governamentais, tanto estatais como municipais, o público em geral, organizações não governamentais, industriais, agricultores, etc. Todos estes intervenientes poderão ter propostas e exigências que devem ser tidas em consideração no momento de planear (Shafaghat et al., 2017). A dificuldade de diálogo e entendimento entre todas as partes envolvidas aumenta consideravelmente, quando os diversos organismos públicos presentes nas discussões são geridos por forças políticas de espectros diferentes. No seio das administrações das cidades, ou mesmo nas diversas

instituições do governo central, ocorrem muitas vezes problemas desta natureza (Levin-Keitel, 2014), provocando alterações aos objetivos dos projetos e causando atrasos na sua execução. Todos os atrasos que ocorrem durante as fases de planeamento, projeto e execução dos diversos trabalhos terão custos associados. Os atrasos e indecisões de aproximadamente 10 anos que ocorreram em Singapura, levaram, segundo Soon et al. (2008) a um aumento de, aproximadamente, 10 vezes o custo inicial previsto para a limpeza e renaturalização do rio. Durante a execução das obras, se porventura ocorrerem eleições, tanto legislativas como autárquicas, poderão surgir problemas estruturais na execução dos projetos. Caso existam mudanças de governos ou de entidades responsáveis, as linhas de pensamento e a retórica ideológica pode ser totalmente diferente da anterior, podendo levar a grandes alterações dos projetos inicialmente definidos. Em Melbourne, na Austrália, o plano inicial de recuperação da zona ribeirinha, foi totalmente alterado com a mudança de governo, passando de um projeto com objetivos mais sociais, para outro com maior retorno económico para o município (Sandercock e Dovey, 2002).

Os principais motivos de uma renaturalização são múltiplos, como anteriormente referidos, os benefícios ambientais, sociais e económicos, que poderão ser naturalmente muito afetados com a enorme quantidade de intervenientes. Este entrave deve ser combatido através de programas de ensino escolar, não só por serem os mais jovens o futuro, sendo, portanto, necessário transmitir informações e conhecimento sustentáveis, mas também devido ao elevado poder de transmissão de informação e de influência dos jovens nos adultos.

## 2.5. Serviços dos ecossistemas aquáticos

Os serviços dos ecossistemas descrevem os vários benefícios que a sociedade pode extrair dos ecossistemas, tendo sido agrupados pelo *UN Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) em quatro categorias distintas (Alcamo et al., 2003): serviços de aprovisionamento, correspondendo aos recursos passíveis de serem extraídos dos ecossistemas; serviços de regulação, correspondendo aos benefícios provenientes dos processos que regulam o ambiente natural; serviços culturais; e, por fim, serviços de suporte, que agrupam os processos essenciais que mantém a integridade, a resiliência e a funcionalidade dos ecossistemas (Bellver-Domingo et al., 2016; Everard e Moggridge, 2012). A valoração dos ecossistemas deve ser incorporada nas decisões de planeamento e noutros importantes processos de decisão, através do conceito dos serviços dos ecossistemas. Esta análise é bastante importante no caso de cursos de água urbanos.

Os serviços dos ecossistemas são gerados quando um ecossistema, direta ou indiretamente, contribui para as necessidades humanas definidas pela sociedade. Estes serviços são classificados entre essenciais, como a produção de alimentos, até outros focados no divertimento humano, como os serviços recreativos ou culturais. A ligação entre um ecossistema e os benefícios para os humanos, caracterizam os serviços dos ecossistemas. No caso da produção de alimentos como, por exemplo, a produção de peixes, a produção primária, que depende da

organização do ecossistema, suporta as populações de peixe e o funcionamento do ecossistema corresponde por isso a um serviço de suporte. A colheita dos produtos para providenciar comida é considerada como um serviço de aprovisionamento do ecossistema, pois existe um uso direto por parte da população, sendo o valor nutricional dos alimentos o benefício para as populações. Os serviços dos ecossistemas passam assim a ter um valor para a sociedade, sendo esse valor, no caso do exemplo dado, gerado dos benefícios obtidos a partir dos alimentos (Small et al., 2017).

Atualmente o maior foco de conflito ocorre entre as várias áreas de gestão de ecossistemas, isto é, nos vários usos dados aos ecossistemas, e não nos vários dos serviços dos ecossistemas. A grande variedade de beneficiários contribui para uma maior complexidade no que diz respeito aos serviços de ecossistemas (Small et al., 2017). As espécies vegetais são um claro exemplo disso, certas espécies, atualmente consideradas como invasoras ou infestantes, poderão no futuro ser consideradas importantes para diversos usos. Outra situação é o caso dos eucaliptos, essenciais na produção de pasta de papel, utilizada na produção dos vários tipos de papel e largamente utilizados diariamente por todas as sociedades, mas vistos por muitas pessoas como uma praga que facilita a proliferação de incêndios florestais. O mesmo ocorre no caso de um agricultor que utilize bastantes fertilizantes no seu terreno, aumentando o volume de produção da sua exploração, mas que, eventualmente, prejudicará a qualidade da água e os pescadores que se encontram a jusante do local fertilizado, originando fenómenos de eutrofização.

A análise aos serviços dos ecossistemas é a melhor forma de maximizar o seu impacto e os seus resultados, pode ser feita a partir de vários métodos de análise, tanto económicos como sociais. Um dos métodos é o PES (acrónimo de *Payment for Ecosystem Services*), que definirá um valor monetário para os serviços dos ecossistemas, chocando com o modelo tradicional de proteção ambiental que se baseava na regulação para prevenir, corrigir e punir comportamentos prejudiciais (Bellver-Domingo et al., 2016). O objetivo principal do PES é o encorajamento de mudanças benéficas ao nível do uso e da gestão dos ecossistemas, atingindo assim o financiamento da conservação destes. Esta abordagem leva a um uso mais sustentável dos ecossistemas, permitindo assim a redução, ou mesmo eliminação, dos intervalos de tempo necessários para a recuperação dos ecossistemas. Os métodos de análise económica permitem a alteração de comportamentos dos prestadores de serviços, obtendo-se uma maior eficiência financeira, juntamente com a preservação e valorização dos ecossistemas (Bellver-Domingo et al., 2016).

Uma boa análise dos serviços dos ecossistemas é fulcral para quantificar o PES, permitindo desse modo a obtenção do melhor rendimento possível. A quantificação dos custos associados aos serviços dos ecossistemas não consegue ser realizada toda do mesmo modo, sendo bastante difícil quantificar certos custos. A eficiência pode assim ser garantida com uma redução dos custos dos PES, sendo, no entanto, afetada a operação e a obtenção dos objetivos iniciais. Este problema pode ser ultrapassado caso as instituições realizem melhores previsões dos custos, não devendo, em todo o caso, ser utilizados parâmetros sociais, uma vez que o PES não

foi projetado para cumprir esses parâmetros (Bellver-Domingo et al., 2016). A esfera de influência dos PES pode ser definida por diferentes estudos, que diferem quanto à influência do estado. O teorema *The Coase* afirma que os PES devem ser privados, não existindo qualquer influência do estado, já o teorema de *Pigouvian* afirma que deve ser mantido na esfera pública, uma vez que os serviços dos ecossistemas são públicos, e devem continuar a ser (Bellver-Domingo et al., 2016).

Outro esquema utilizado na valoração dos serviços dos ecossistemas, mais concretamente nos ecossistemas aquáticos, é o PWS (acrônimo de *Payment for Water Ecosystem Services*), desenvolvido especialmente para promover a conservação da água (Bellver-Domingo et al., 2016). Utilizando o teorema de *The Coase*, o PWS pode ser utilizado por empresas de abastecimento de água, tanto engarrafada como doméstica, que paguem a agricultores com vista a melhorarem os métodos de produção. Os pagamentos que se realizem tem como objetivo a redução da contaminação da água, melhorando os ecossistemas ao mesmo tempo que se reduzem os custos associados com o tratamento da água (Bellver-Domingo et al., 2016). Os métodos utilizados, tanto o PES como o PWS, permitem que, aos olhos da sociedade, a conservação e gestão dos ecossistemas sejam vistos como um investimento, e não como um custo.

A análise IPA (sigla de *Importance Performance Analysis*) é outro método de valoração dos serviços dos ecossistemas, permitindo uma melhor gestão e utilização destes no futuro. Este método relaciona a satisfação que os diversos grupos sociais têm com os vários serviços dos ecossistemas, providenciados por rios urbanos. Este tipo de esquema é muito utilizado na análise de mercados, nomeadamente para estimar a diferença entre a importância dada pelas comunidades e o desempenho dos serviços dos ecossistemas preconizado por rios urbanos (Hua e Chen, 2018). Utilizar a análise IPA possibilita assim a obtenção de uma imagem mais realista de onde devem ser realizadas as melhorias, priorizando os serviços dos ecossistemas que colmatem as necessidades dos diversos grupos sociais.

O método do atributo (ótimo) é outro dos métodos referentes à valoração dos serviços dos ecossistemas, que permite não só a sua análise como uma otimização do seu desempenho. Este método requer, em primeiro lugar, a escolha do atributo ótimo que maximize cada um dos serviços do ecossistema. Este atributo ótimo corresponderá ao atributo que tiver o maior efeito no serviço do ecossistema. No caso de existirem vários atributos que provoquem o mesmo efeito no serviço do ecossistema, o atributo ótimo será aquele que, com o menor valor, maximize a produção do serviço do ecossistema (Wu e Li, 2019). Caso dois serviços do ecossistema partilhem o mesmo atributo ótimo, maior será a probabilidade de formarem relações sinérgicas. O mesmo ocorre se dois ecossistemas diferentes partilharem mais do que um atributo ótimo. Por outro lado, dois serviços de ecossistemas que tenham atributos ótimos mais contraditórios, formarão, com uma maior probabilidade, relações de troca (Wu e Li, 2019). Os atributos dos ecossistemas a analisar são, por exemplo, o tamanho, a escala, a estrutura, a composição de espécies, os declives, etc.

Na tabela 1 foram compilados os serviços dos ecossistemas identificados nos vários casos de estudo analisados, realçando-se a importância para a realização da tabela, da reabilitação realizada num curso de água urbano no leste de Londres, no Reino Unido (Everard e Moggridge, 2011). Os serviços dos ecossistemas foram agrupados de acordo com a classificação proposta pelo *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) (Alcamo et al., 2003).

Tabela 1 – Serviços dos ecossistemas e principais objetivos

Serviços dos ecossistemas		Objetivo principal
Serviços de aprovisionamento	Abastecimento de água	Armazenamento de água potável, promoção e uso de água reciclada para rega e indústria, e para a recarga de aquíferos.
	Produção de alimentos	Produção de alimentos em locais destinados
	Produção de materiais primários	Manutenção periódica da vegetação para a produção de combustíveis e /ou fibras
Serviços reguladores e de suporte	Regulação da qualidade do ar e sequestro de carbono	Melhoria da qualidade do ar, aprovisionamento de partículas. Redução das emissões. Maior taxa de sequestro de carbono
	Regulação do clima	Regulação da temperatura local, tal como dos níveis de humidade, precipitação, efeitos de microclima
	Regulação da qualidade da água	Melhoria da qualidade da água; Vegetação do leito dos cursos de água, colocação em zonas estratégicas de SuDS ( <i>Sustainable Drainage Systems</i> ) promove a purificação da água
	Regulação de desastres naturais	Certas espécies vegetais como árvores e arbustos grandes podem reduzir a velocidade de tempestades, medidas de mitigação e proteção contra cheias, redução dos elevados volumes a escoar, promover infiltração, adaptação às alterações climáticas e mudanças da precipitação
	Prevenção da erosão	Vegetação colocada em locais estratégicos para controlar a erosão
	Formação de solo	Produção de solo a partir da promoção da degradação de elementos dos espaços verdes, ou com a promoção de realização de compostagem
	Manutenção de populações e habitats	Promover a reinstalação de diversas espécies animais, aquáticas e terrestres, aumentando assim a biodiversidade.
Serviços culturais/sociais	Herança cultural, educação, valor estético	Herança histórica, promoção e manutenção, de cursos de água em locais tradicionais e com valor histórico; promover o estudo e a educação ambientalmente sustentáveis; execução com sentido estético
	Turismo e recreação	Criação de locais atraentes a visitantes, atrações tanto para turistas como para locais, promovendo as relações pessoais

### 3. Metodologias de intervenção

#### 3.1. Método de avaliação

O processo de renaturalização de cursos de água urbanos é de elevada complexidade, começando pela necessidade de uma forte vontade política para a realizar, passando posteriormente pelo processo de implementação propriamente dito. A primeira fase deste longo processo é a perceção da necessidade de realizar alterações ao nível dos cursos de água e de sensibilização das diversas entidades responsáveis por intervenções desta natureza, demonstrando a importância da sua realização. O passo seguinte revela o primeiro grande desafio das renaturalizações, passando pela criação de um projeto que tenha a aceitação tanto das várias entidades intervenientes, como do público em geral. Os impactos ambientais positivos resultantes das intervenções a implementar, estão naturalmente relacionados com o número de entidades intervenientes, levando a impactos positivos inferiores caso existam mais entidades (Levin-Keitel, 2014). O processo de sensibilização e de promoção das ideias será realizado com base nos serviços dos ecossistemas, de onde sairão os diversos benefícios extraídos dos ecossistemas.

No processo de reabilitação/renaturalização de cursos de água, os serviços dos ecossistemas são utilizados como veículo de análise e classificação, permitindo definir as áreas e locais onde deveriam ser efetuadas mudanças. São definidos os serviços dos ecossistemas considerados relevantes para o estudo de cursos de água, englobando não só os serviços dos ecossistemas aquáticos, mas também aqueles que relacionam a água com a terra, como as zonas florestais, agrícolas, ripícolas ou pantanosas. Um dos métodos utilizados para a reabilitação de cursos de água considerando os serviços dos ecossistemas, seleciona diversos indicadores relativos a cada serviço, facilitando assim o processo de decisão. Dentro de cada serviço, os indicadores foram separados em 3 categorias distintas, sendo elas: Capacidade Natural (*Natural capacity*), Fluxo de Serviço (*Service flow*) e Benefício Social (*Social benefit*). Os indicadores são separados pelo tipo de informação que fornecem, tendo o artigo de Grizzetti et al., (2016) utilizado diversas referências bibliográficas de modo a compilar diversos indicadores (ver A.1.) A estrutura criada para a avaliação dos serviços deve ser simples o suficiente para todos os intervenientes poderem utilizar, ao mesmo tempo que fornece informação precisa para ser utilizada como ferramenta de trabalho.

A avaliação dos serviços dos ecossistemas permite assim avaliar economicamente cada serviço, utilizando métodos de quantificação como PES, ou no caso dos cursos de água o PWS. A avaliação económica de alguns serviços é mais fácil de obter do que a de outros, podendo esta ser obtida a partir de dados que permitam facilmente chegar a um valor monetário. Por outro lado, alguns serviços devem ser analisados economicamente a partir dos métodos WTP e WTA, “*Willing to Pay*” e “*Willing to Accept*” respetivamente. Estes métodos baseiam-se em inquéritos à população, avaliando quanto estão dispostos a pagar por mudanças benéficas na qualidade ou quantidade dos recursos, ou dispostos a receber referente à degradação de algum serviço ou bem, respetivamente (Zhao et al., 2013). Embora seja preferível uma quantificação com base em

dados concretos, estes métodos podem ser utilizados em todos os indicadores dos vários serviços dos ecossistemas, até porque na maioria das vezes não temos acesso ou não existem dados concretos.

Analisando todos os indicadores, e aplicando os vários métodos económicos referidos, chega-se a um resultado mais aproximado do valor real dos benefícios das reabilitações e renaturalizações. Com uma análise económica aos vários serviços, as intervenções terão um melhor desempenho, passando a focar-se nos pontos essenciais. Após esta última análise é possível definir as áreas prioritárias a intervir, identificando os processos de alteração que mais beneficiarão, não só o projeto em si como as populações locais, e aquelas que utilizarão o local.

### 3.2. Áreas de atuação

A análise aos cursos de água, e às intervenções a realizar, devem ter por base o normal funcionamento destes, isto é, antes de qualquer alteração humana. As funções e serviços dos ecossistemas dos cursos de água devem por isso ser mantidas ou readmitidas, passando pela manutenção do normal transporte de água e sedimentos, à manutenção dos vários habitats existentes, tanto no curso de água propriamente dito como nas áreas envolventes, por exemplo nas zonas ripícolas. A conservação da biodiversidade e das funções ecológicas, a garantia de um abastecimento de água seguro, e por fim, a manutenção do aspeto estético e recreativo, que caracteriza os cursos de água, também devem necessariamente ser consideradas durante a realização das intervenções (Schirmer et al., 2014) (Brantley, 2016). Assim, um curso de água saudável deve permitir a estabilidade e diversidade do leito e das margens, através de raízes de árvores e arbustos, preferencialmente autóctones, evitando grandes fenómenos de erosão, que poderão afetar não só o leito dos cursos de água, mas também as suas margens. Os fenómenos de erosão extrema provocam danos ambientais, podendo resultar também em problemas diretos às populações mais próximas das linhas de água afetadas (Miller et al., 2012).

#### 3.2.1. Controlo dos leitos de cursos de água

Atualmente, muitos cursos de água estão limitados lateralmente devido à pressão exercida pelas populações nos cursos de água. Esta pressão não significa obrigatoriamente que existam grandes alterações no leito e margens, consistindo muitas vezes apenas numa ocupação do leito de cheia das linhas de água, resultando em limitações impostas ao normal fluxo do escoamento para os caudais mais elevados. Esta ocupação surge não só com a construção de zonas edificadas, mas também com terrenos agrícolas ou florestais de produção, que impõem limites que naturalmente não existiriam, aos cursos de água.

Em condições naturais, um curso de água molda o seu percurso através de diversos fenómenos de erosão, criando uma sucessão de zonas de erosão, de transporte e de deposição de sedimentos. A criação de meandros, meandrização (Pereira, 2001), num curso de água ocorre



naturalmente, devendo ser promovida, sempre que possível, em processos de renaturalização (figura 1). Este tipo de fenómeno ocorre principalmente em cursos de água mais velhos que, devido à deposição de sedimentos, têm tendência a formar zonas com um maior número de meandros. As zonas dos cursos de água onde ocorrem estes fenómenos são de extrema importância, de onde resultam diversos benefícios ambientais, originando, do mesmo modo, diversos benefícios diretos para as populações. Existe uma clara redução da velocidade do escoamento, permitindo a criação de locais mais calmos e recatados que favorecem a fixação de certas espécies animais e vegetais; uma grande diversidade de ecossistemas ribeirinhos; uma melhor drenagem dos terrenos contíguos às linhas de água, e uma melhoria na qualidade dos solos nas imediações das linhas de água (Pereira, 2001).

Os benefícios enunciados representam claras melhorias ambientais, pois promovem a instalação de novas espécies vegetais e animais, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade da água e do espaço envolvente, ao mesmo tempo que beneficia as populações circundantes. O esquema seguinte demonstra as várias zonas de meandros de um curso de água (Fernandes, 2018).

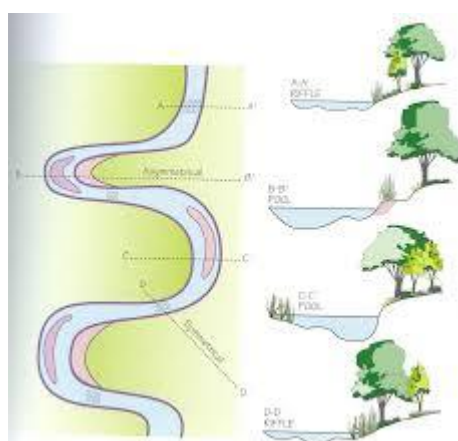


Figura 1 - Esquema de meandrização (adaptado Fernandes, 2018)

### 3.2.2. Erosão

A erosão descontrolada que ocorre, muitas vezes, nos cursos de água, deve-se, em parte, às políticas negativas que são tomadas relativamente às linhas de água. A ocupação dos leitos de cheia, e a limitação do espaço onde a linha de água pode fluir naturalmente, originam cursos de água mais retilíneos e com velocidades do escoamento mais elevadas, o que pode originar graves problemas de erosão. Os impactos da erosão nas margens dos cursos de água levam a problemas de segurança estrutural nas infraestruturas envolventes, perda de propriedade, e a problemas ambientais, como a destruição dos habitats ripícolas (Brantley, 2016). Caso a área não esteja limitada, os fenómenos de erosão das margens, devido à velocidade do escoamento, podem, em casos extremos, levar a uma redução do nível da água, provocado pelo aumento da largura do curso de água (Brantley, 2016). A redução do nível de água cria diversos problemas às espécies aquáticas presentes, alterando de forma notável os habitats e ecossistemas locais.

O aumento da erosão das linhas de água, leva de igual modo ao incremento do volume de sedimentos transportados, podendo, em certas situações, criar diversos problemas à fauna existente, e, em casos mais extremos, provocar o assoreamento das linhas de água. A montante dos locais assoreados podem ocorrer inundações, sendo os eventuais prejuízos variáveis consoante o local.

Do outro lado do espectro, com o normal escoamento da água interrompido, o transporte de sedimentos será particularmente afetado junto a barragens e açudes, onde ocorrerá a deposição de sedimentos em larga escala. Como consequência haverá uma redução do volume de sedimentos transportados para jusante. As alterações no leito dos cursos de água, em particular quando estes são entubados ou betonados, com o conseqüente aumento da velocidade do escoamento, contribuem também significativamente para a diminuição da deposição de sedimentos do leito da linha de água (Miller et al., 2012).

A estabilidade do leito e a sua diversidade terão de ser reintroduzidos caso os leitos estejam demasiado alterados. Para garantir esta diversidade, mantendo o leito estável, será necessário garantir que existem os sedimentos apropriados, não só em tamanho como em resistência, evitando uma elevada erosão dos mesmos. Em linhas de água de aluviões, é expectável que se garantam intervalos de rápidos com zonas mais lentas, promovendo a meandrização, e em linhas de água de maior declive, é indispensável que se garantam zonas de redução de velocidade da água, mantendo assim condições o mais natural possível (Brantley, 2016).

Garantir aquelas condições é essencial de modo a evitar o excesso de erosão e de infraescavação, promovendo melhores condições aos habitats a interencionar, possibilitando a existência de fauna aquática, evitando zonas de velocidades extremas, nem demasiado elevadas nem demasiado baixas, ou, por outro lado, os sedimentos, não poderão ser nem muito grosseiros nem demasiado finos.

Em muitas situações, de modo a salvaguardar condições para a estabilidade e estabelecimento de fauna e flora locais, é evitada a remoção de materiais que são arrastados pelos cursos de água, normalmente durante eventos de maior caudal, como ramos, raízes e folhas. Manter este tipo de resíduos no leito dos cursos de água é essencial de modo a manter o estado natural de um curso de água, permitindo a criação de locais calmos ou esconderijos para espécies mais vulneráveis, e zonas de ensombramento, reduzindo a temperatura da massa de água (Pereira, 2001).

### 3.2.3. Velocidade do escoamento e infiltração

Tanto a redução da velocidade do escoamento, como o seu aumento, podem causar problemas às linhas de água, sendo assim essencial a reposição das suas condições naturais. O retorno ao estado natural de um curso de água pode, em muitos casos, ser uma tarefa complexa, dado não ser totalmente conhecido como atuava o curso de água em estado natural, considerando que em muitas situações, as transformações sofridas em toda a sua bacia hidrográfica são bastante

consideráveis. Será assim necessário a realização de estudos que mostrem como irá o curso de água comportar-se, adaptando-se posteriormente as melhores soluções para os vários locais.

Velocidades do escoamento anormalmente elevadas relativamente ao que seria expectável num determinado local podem introduzir diversos impactes nos ecossistemas locais e nas populações que habitam nas suas imediações. A título de exemplo indica-se a destruição de ecossistemas e habitats de diversas espécies, ou mesmo a destruição de propriedades. Velocidades elevadas do escoamento reduzem ainda a capacidade de infiltração, reduzindo, desse modo, o abastecimento das reservas dos aquíferos. Por outro lado, velocidades reduzidas em locais onde a velocidade natural expectável fosse superior, podem criar problemas aos ecossistemas aquáticos através da reduzida renovação de oxigénio dissolvido, do elevado aumento de matéria orgânica, ou da excessiva deposição de sedimentos, prejudicando as espécies locais. Acresce o facto de massas de água estagnadas levarem ao aumento da probabilidade de proliferação de pragas e doenças, prejudicando não só os ecossistemas, mas também as populações, podendo originar problemas de saúde pública.

Os estudos referentes ao funcionamento natural dos cursos de água, embora necessários à elaboração de corretas renaturalizações, realizando-as da melhor forma possível, são de difícil execução, sendo antes utilizadas técnicas construtivas anteriormente testadas no terreno. A dificuldade aumenta com o grau de alteração a que os cursos de água foram sujeitos, deixando de existir dados que forneçam a informação necessária à renaturalização. O conhecimento do tipo de solo naturalmente presente no local da renaturalização é outra das medidas de estudo de grande importância. Os modelos de estudo do escoamento superficial do local serão largamente influenciados por este fator, existindo um maior escoamento para solos com menor capacidade de infiltração, e de forma análoga, um menor escoamento superficial para solos com maior capacidade de infiltração, solos argilosos e solos arenosos respetivamente (Gill et al., 2007). O artigo de Gill et al. (2007), descreve a realização de um estudo sobre o escoamento superficial na cidade de Manchester, que, para uma precipitação de 18mm em solo arenoso, solo com grande capacidade de infiltração, revelou ter apenas 32% de escoamento superficial, em comparação com os 74% de escoamento superficial ocorridos em zonas pavimentadas. Em relação a solos argilosos, o mesmo estudo indica que os valores sobem para 76% e 90%, respetivamente (Gill et al., 2007).

#### 3.2.4. Qualidade da água

Um dos problemas que atualmente afeta grande parte dos cursos de água urbanos é, como referido anteriormente, a qualidade da água. Após o processo de definição das áreas a intervencionar, e de concluído o projeto de renaturalização, melhorar a qualidade da água deve ser a primeira intervenção a realizar no terreno. Em meio urbano densamente urbanizado, e especialmente em países em desenvolvimento, onde prevalecem os amontoados de construções ilegais e sem as mínimas condições de habitabilidade, o controlo das descargas que chegam aos cursos de água torna-se bastante complicado, levando a que exista um elevado número de

descargas de efluentes sem qualquer tratamento. O efeito das descargas de esgotos nos cursos de água é nefasto para as populações que habitam nas suas imediações, aumentando a probabilidade de ocorrerem doenças ou a proliferação de pragas.

Ao nível dos ecossistemas, o aumento de qualquer substância que não faça parte do ciclo natural dos cursos de água será prejudicial, seja o aumento da quantidade de matéria orgânica, com a conseqüente diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido ou de substâncias químicas diversas que poderão ter um efeito nefasto. Ultrapassar este problema começa com a eliminação das construções ilegais, realojando a população e, dessa forma, reduzir drasticamente as descargas dos efluentes domésticos. Em certas regiões, onde as condições de vida eram piores, as descargas ilegais correspondiam a latrinas públicas, revelando as terríveis condições de vida de uma grande percentagem da população. Este problema foi sentido em Singapura, quando foram realizadas as primeiras intervenções de renaturalização do rio Singapura (Joshi et al., 2012). Os benefícios sociais têm um impacto bastante superior em casos como estes, onde grande parte da população, que habita nas margens dos cursos de água, vive em condições deploráveis, passando a poder viver condignamente.

Limitar as descargas de poluentes nos cursos de água não é suficiente para garantir uma boa qualidade da água, é apenas o primeiro passo a dar no caminho de uma renaturalização. Depois de realizada a recuperação do leito e margens dos cursos de água, e após estar devidamente enraizada a vegetação, quer no leito, quer na zona ripícola, a qualidade da água vai melhorando, uma vez que estes ecossistemas atuam como filtro de muitos contaminantes presentes na água, ao mesmo tempo que contribuem para equilibrar os níveis de oxigênio e nutrientes. A região por baixo e ao longo do leito dos rios, onde existe uma mistura de água subterrânea com água superficial, é designada de zona hiporreica. O comportamento e a dinâmica do fluxo nesta zona dos cursos de água, leva à filtração de partículas, à suavização das variações de temperatura, e permite também que a água das linhas de água seja exposta à ação das populações microbianas, importantes elementos responsáveis pelas transformações biogeoquímicas. Os benefícios indicados, são intensificados com o aumento da variabilidade morfológica das zona hiporreica, levando assim ao aumento do efeito de limpeza natural da água dos cursos de água (Schirmer et al., 2014).

O problema da poluição das linhas de água não provém apenas dos efluentes domésticos, existindo um forte impacto proveniente de unidades fabris junto de linhas de água. Até à instalação de sistemas de tratamento de esgotos generalizados, as descargas eram, tal como nos esgotos domésticos, realizadas diretamente nas linhas de água sem qualquer tratamento (Chen, 2017). No projeto de renaturalização executado em Singapura, referido anteriormente, as instalações fabris que poderiam ser relocadas foram transferidas para outros locais que ofereciam melhores condições, tanto para as fábricas, como para o desenvolvimento sustentável da cidade. No entanto, as unidades fabris que não puderam ser relocadas no imediato foram equipadas com sistema de controlo de descargas de esgotos, eliminando parte do problema ainda existente, minimizando os prejuízos causados ao projeto de renaturalização (Joshi et al.,

2012). As instalações portuárias são também importantes fontes de poluição, havendo uma elevada concentração de óleos e combustíveis que, por acidente ou desleixo, acabam por correr livremente para os rios e baías, causando diversos problemas ambientais. Em Singapura, de forma a executar a renaturalização corretamente, as entidades responsáveis decidiram realocar as instalações portuárias, libertando espaço vital das margens para uma correta reposição dos habitats ripícolas, contribuindo também para a eliminação de derrames de óleos e combustíveis (Joshi et al., 2012).

As melhorias adotadas no rio *Cheonggyecheon*, em Seoul, Coreia do Sul, levaram a melhorias muito substanciais no ecossistema do rio, passando de um CBO inicial de 150mg/l, para um CBO de 2 a 3mg/l, e para níveis de fósforo e azoto a rondar 1mg/l, que, embora ainda elevados, podem ser considerados aceitáveis (Filho et al., 2009). Com as melhorias na qualidade da água, o rio que era considerado um esgoto, passou a ter várias espécies de peixes, existindo, segundo (Filho et al., 2009), 25 espécies atualmente presentes.

### 3.2.5. Dragagens

Os portos, sejam eles de maiores ou menores dimensões, necessitam de profundidades mínimas para poderem ser utilizáveis, o que leva, normalmente, à necessidade de executar dragagens. Os problemas ambientais inerentes a este tipo de atividade não podem ser todos contabilizados da mesma forma, existindo habitats mais sensíveis do que outros. A remoção de areias e lamas do fundo provoca, de um modo geral, impactes na fauna e na flora existente, problema que é ultrapassado, ou, em certas situações apenas realocado, com a mudança das instalações portuárias. A escolha da localização deste tipo de instalações é, assim, bastante importante, não só devido ao seu impacte nos habitats ripícolas, mas também nos habitats aquáticos em geral.

Durante o projeto e durante o processo de execução dos trabalhos de renaturalização, é necessário considerar a possibilidade de intervir nos cursos de água ao nível das dragagens, como medida de mitigação dos problemas causados pelos anos de existência de unidades fabris e/ou portos nos locais em questão. Dependendo do nível de poluição das zonas a intervencionar, é usual realizarem-se dragagens para a remoção de lamas e areias contaminadas com anos e anos de descargas de efluentes sem tratamento (Joshi et al., 2012).

A execução de dragagens no início de uma renaturalização, permite acelerar o processo de implantação, removendo poluentes e contaminantes dos solos e da água, que dificultariam a instalação e adaptação de espécies de fauna e flora locais. Os materiais dragados podem ou não ser recolocados no leito dos cursos de água após a descontaminação, estando essa opção dependente de vários fatores, que podem não estar diretamente relacionados com questões ambientais. Após identificar os locais a dragar, tanto pela existência de materiais poluentes, como por assoreamento causado por estruturas artificiais, é necessário definir o destino a dar ao material recolhido.

No caso das dragagens executadas com o propósito de eliminar poluentes, a limpeza e posterior reposição pode não ser viável, não só devido ao custo associado, mas também pela reduzida eficácia da limpeza propriamente dita, sendo por vezes preferível a deposição das lamas/areias poluídas em terrenos, aterros, adequados ao armazenamento destes materiais.

O material proveniente de dragagens por assoreamento, após ser analisado para garantir que não tem contaminantes, pode ter dois destinos possíveis: (a) a sua utilização para colmatar falhas de anteriores dragagens ou falhas causadas indiretamente por mão humana, ou; (b) a sua venda para a indústria.

Dragagens executadas para portos ou canais de navegação podem assim ser repostas, acelerando o processo de renaturalização, sem aumentar desnecessariamente os custos do projeto. A venda dos materiais dragados só deverá ser considerada caso não exista qualquer uso a dar no decorrer do projeto, sendo sempre preferível a utilização de materiais locais na execução das intervenções.

A utilização de materiais locais permite que haja um menor impacte nos habitats, causado por componentes provenientes de outras bacias hidrográficas. Reduz ainda a possibilidade de contaminação dos habitats com outras espécies e, ainda, diminuir o impacte do transporte dos materiais a utilizar, ao nível das emissões poluentes.

### 3.2.6. Alterações profundas da envolvente dos cursos de água

Quando maior o nível de alteração em que um curso de água e a sua envolvente se encontram, maiores são as dificuldades de aplicação de uma renaturalização que vá de encontro às necessidades de todos. Esta dificuldade aumenta com o número de pessoas, veículos e construções que se encontram na envolvente das linhas de água, tanto a habitar como diariamente de passagem. Em Seoul, o rio *Cheonggyecheon* é um bom exemplo do que pode ser realizado num curso de água com as características indicadas, e tendo sempre em consideração os problemas sociais e ambientais da zona em questão (figura 2). Nos anos 50 o rio e as suas margens estavam muito degradados e poluídos, as margens eram utilizadas para a construção de bairros de lata, que acolhiam os milhares de refugiados que as várias guerras na península coreana tinham provocado.

O rio era visto como um sinal da colonização e pobreza que advinha das guerras, tornando-se assim necessário transformá-lo, retomando o desenvolvimento da cidade. Esta retoma foi obtida com o encobrimento do rio, visão própria da época, que transformou o rio e as suas margens em vias de comunicação, acomodando milhares de veículos diariamente. As obras decorreram durante vários anos, entre 1955 e 1977, transformando a zona num símbolo de modernização e desenvolvimento (Filho et al., 2009). Após quatro décadas foi decidido, por parte do governo, revitalizar a zona, que era agora considerada obsoleta, demolindo a autoestrada de 4 faixas sobrelevada, bem como a estrada de 10 faixas que percorria as margens do rio *Cheonggyecheon* e transportava mais de 170 000 veículos diariamente (Island Press, n.d.) (figura 2). Com as obras de melhoria do rio e da sua envolvente, os grandes objetivos eram a melhoria da qualidade da água e do ar, da qualidade de vida dos habitantes desta zona da cidade, bem como de quem a frequentava, e por fim voltar a ligar as duas áreas da cidade que eram anteriormente divididas pelas infraestruturas rodoviárias. Para atingir os objetivos pretendidos, para além da remoção da estrada de 10 faixas nas margens do rio e da autoestrada de 4 faixas elevada, que cobria a totalidade do rio, evitando que este tivesse contacto direto com a luz solar, foram eliminadas as descargas de efluentes domésticos na linha de água e foi criada uma extensão de espaço aberto junto ao rio descoberto, permitindo a criação de novos espaços verdes. O leito e parte das margens do rio foram também “limpas” de betão, permitindo a recuperação de parte dos habitats ripícolas naturais do rio



a) Situação anterior à renaturalização.



b) Situação após a renaturalização.

*Figura 2 - Situação anterior a) e posterior b) à renaturalização do rio Cheonggyecheon (Island Press, n.d.)*

A eliminação, ou redução, de vias de comunicação cria novos desafios às cidades, permitindo grandes melhorias na qualidade do ar e redução de ruído. Em Seul, com as intervenções referidas, o volume de veículos foi reduzido em 45%, aumentando o volume de pessoas transportadas nos transportes públicos, e reduzindo os efeitos da poluição. Com o decréscimo de volume de automóveis, os níveis de poluição baixaram 10.3%, e o efeito de ilha de calor baixou 4.5%, levando um maior número de pessoas a utilizar os transportes públicos da cidade. As melhorias são notáveis, permitindo melhorar a saúde da população nas imediações, promovendo ao mesmo tempo o uso dos espaços verdes (Island Press, n.d.).



A grande maioria dos cursos de água urbanos encontram-se alterados ao nível das margens e do leito, e muitos destes têm margens betonadas. Os projetos de recuperação e renaturalização devem ser pensados de modo a alterar profundamente estes locais, tendo, no entanto em consideração os impactes para a população. As zonas onde a pressão urbanística é maior criam maiores dificuldades à execução de projetos ambientalmente mais ousados, não apenas devido à grande quantidade de edifícios construídos nas imediações das linhas de água, mas noutros casos devido ao valor patrimonial do edificado.

Aqueles problemas foram identificados em muitos locais, tais como, em Seul, na Coreia do Sul, na Malásia, em Melbourne, na Austrália, e em Singapura, levando à execução de projetos menos ambiciosos, do que o esperado, pelas entidades responsáveis pela parte ambiental. A estratégia atualmente adotada é a execução de renaturalizações das linhas de água sem prejudicar as zonas urbanas e as populações locais, garantindo a continuidade ecológica dos cursos de água, da morfologia e dos habitats naturais (Filho et al., 2009), mantendo a continuidade, ou reintroduzindo, os processos hidrológicos naturais, restabelecendo assim o equilíbrio hídrico natural da bacia, tais como a infiltração, o escoamento, o armazenamento e a evapotranspiração (Silva e Pires, 2007).

A tabela 2 apresenta um quadro síntese das diversas áreas de atuação, apresentando os problemas, e os respetivos efeitos e soluções identificados para cada área.



Tabela 2 – Desafios dos cursos de água e soluções de intervenção (1/2)

Desafios	Efeitos		Soluções
Controlo dos leitos dos cursos de água	Curso de água limitado, sem margem para se alterar morfologicamente		Livre formação de zonas rápidas com maior transporte de sedimentos, e lentas onde a sedimentação é possível
	Ocupação do leito de cheia e do leito normal por construção, indústrias e zonas agrícolas		Aumento do espaço disponível para os cursos de água, devolver espaço natural
Erosão	Perda de solo e aumento dos sedimentos		Redução da velocidade do caudal escoado
	Destruição de habitats		Estabilização do leito e margens
	Danos nos terrenos envolventes das linhas de água		Reintrodução de habitats afetados
	Aumento da largura do curso de água, reduzindo a altura de água		Proteção das margens, evitando a sua destruição
Velocidade de escoamento	Elevadas	Destruição de ecossistemas e habitats	Criação de zonas de acalmia do escoamento, reduzindo a velocidade
		Menor infiltração	Criação de zonas com menores desníveis, desacelerando os escoamentos
		Destruição de propriedades	Aumento de espécies de fauna e flora, permitindo o controlo de pragas e doenças, e da matéria orgânica
	Reduzida	Reduzida renovação de oxigénio	
		Elevado aumento da matéria orgânica	
		Proliferação de doenças e pragas	
Reduzida qualidade da água	Descargas de efluentes, aumento do nível de matéria orgânica, dos níveis de oxigénio ou de químicos		Controlo de descargas, eliminação de descargas ilegais, Tratamento dos efluentes domésticos e industriais
	Perda de espécies de fauna e flora		Deslocar fábricas e instalações portuárias para locais menos sensíveis
	Doenças e pragas		Reintrodução de espécies de fauna e flora, permitindo a filtração da água e eliminação de doenças e pragas

Tabela 2 – Problemas dos cursos de água e soluções de intervenção (2/2) (cont.)

Problemas	Efeitos		Soluções
Dragagens	Negativos	Perda de habitats	Limitar a execução de dragagens
		Perda de espécies animais e vegetais	Escolha de locais mais profundos para portos
		Criação de novos canais de navegação, aumento do tráfego e problemas provocados por barcos e navios	Menor utilização de agregados de cursos de água
	Positivo	Remoção de elementos tóxicos e poluentes de lamas e areias contaminadas	Sistema de recolha e encaminhamento adequado
		Remoção de material de zonas assoreadas por ação humana, como é o caso de barragens e açudes	Utilização dos materiais em zonas apropriadas
Pressões urbanísticas e alterações profundas da envolvente de linhas de água	Eliminação das zonas ripícolas		Reintrodução das galerias ripícolas, plantação de diversas espécies vegetais
	Destruição das margens e leito dos cursos de água, encanar e margens artificiais, limitando os cursos de água		Desencanar as linhas de água
	Aumento do tráfego automóvel levou à criação de mais vias de tráfego		Redução do volume de tráfego automóvel que circula nas imediações dos cursos de água
	Maior grau de alteração nas margens e leito		Promoção de planos que evitem os mesmos erros de ordenamento no futuro
	Maiores dificuldades de implementação de medidas de renaturallização sem prejudicar as zonas urbanas e as populações		Planos de execução mais complexos, promovendo benefícios sociais e ambientais, sem prejudicar as populações

### 3.3. Requalificação das margens

Margens de cursos de água bastante alteradas necessitam de intervenções profundas, que permitam uma renaturalização, não deixando, no entanto, de garantir que se mantém o nível de proteção anterior. A substituição dos métodos de proteção clássicos anteriormente utilizados, deve ser realizado utilizando métodos naturais que permitam a reabilitação de ecossistemas e dos habitats. O modo e tipo de estruturas a aplicar, tanto nas margens como no leito das linhas de água, irá depender bastante do grau de alteração existente, bem como da localização e do propósito da intervenção. Margens fortemente alteradas, que eram protegidas utilizando blocos ou paredes de betão, ou zonas fortemente compactadas e impermeabilizadas, passam a estar bastante desprotegidas e vulneráveis à erosão, especialmente em locais de elevado caudal, com fortes correntes. O revestimento, ou revestimentos a utilizar, irão depender dos graus de exigência pretendidos, ao nível da permeabilidade ou impermeabilidade, da robustez, da flexibilidade, da rugosidade, da durabilidade e da economia, e adaptá-los a cada obra (Silva e Pires, 2007).

Num projeto interventivo que vise a regularização de um sistema onde as margens tenham sido total ou parcialmente alteradas, o revestimento vegetal é fundamental, contribuindo para a melhoria das condições bióticas e abióticas, como a estabilização de taludes, redução da velocidade do escoamento e da erosão (Pereira, 2001).

Os métodos de estabilização das margens, utilizando sistemas construtivos vivos, só devem ser considerados quando estão garantidas as condições necessárias para um desenvolvimento saudável, podendo estes enfrentar fenómenos naturais extremos, e na forma mais intensa possível. O modo de cobertura das margens, de onde deverão ser obtidos os maiores ganhos nas áreas beneficiadas com uma renaturalização, será o modo de cobertura vegetal, garantindo a estabilidade do ecossistema, aumentando a sua resiliência.

A utilização de plantas no controlo da erosão é possível dado que as raízes ao crescerem criam uma malha de tecido lenhoso, fixando o material constituinte das margens, minimizando a erosão (Silva e Pires, 2007). A parte das margens mais condicionante será a que estará mais tempo em contacto com a água, normalmente com maiores declives, em talude, e não o terreno adjacente, considerado como leito de cheia, que estará em contacto com a água apenas durante eventos extremos.

A fixação dos taludes das margens, poderá ser realizada através da utilização de ramos, troncos, árvores ou raízes, permitem a redução da velocidade do escoamento junto à margem, ao mesmo tempo que possibilita a criação de habitats para espécies de fauna aquáticas, como peixes ou invertebrados (Silva e Pires, 2007). A utilização de árvores e plantas no geral para estabilizar os taludes das margens, e utilizando-os também no restante leito de cheia, é uma ótima solução de melhoria dos espaços verdes de lazer para usufruto da população. Outro claro benefício deste tipo de solução é, como referido anteriormente, o poder de filtração da água que está associado a este tipo de vegetação, que melhorará os níveis de qualidade da água.

Na escolha do tipo de vegetação a utilizar nas margens, as espécies autóctones devem prevalecer sobre todas as outras opções, devendo ser plantadas espécies, em particular de árvores em todos os estágios de crescimento. Colocar plantas em vários estágios de crescimento permite uma renovação faseada, evitando assim a possibilidade de perda de suporte das margens por morte de grande parte das plantas no mesmo intervalo temporal, diminuindo o poder de autorregeneração (Pereira, 2001).

Outro ponto importante, que não deve ser renegado num projeto desta natureza, é a utilização de espécies com as várias funções necessárias para uma boa manutenção dos ecossistemas, considerando sempre a utilização de espécies de carácter pioneiro, por forma a criar as melhores condições para o desenvolvimento da cobertura vegetal pretendida (Pereira, 2001). A vontade de obter um estágio de desenvolvimento estável no menor intervalo de tempo possível leva, por vezes, a que possam ser tomadas medidas erradas quanto à escolha das espécies a utilizar, podendo comprometer toda a viabilidade da renaturalização.

A localização onde serão colocadas as diversas espécies a utilizar irá influenciar bastante o modo de proteção e consolidação das margens, conferindo armação e agregação dos solos. O modo de funcionamento do sistema radicular de cada árvore varia consoante a espécie, uma vez que certos sistemas radiculares desenvolvem-se abaixo do nível médio da água, como é o caso do freixo-comum (*Fraxinus angustifolia*), do salgueiro-branco (*Salix alba*) ou do amieiro (*Alnus glutinosa*), enquanto que outras espécies desenvolvem os seus sistemas acima do nível médio da água, como é o caso do choupo branco (*Populus alba*) (Cruz e Fernandes, 2011). Assim, no desenvolvimento das galerias ripícolas renaturalizadas, o primeiro tipo de espécies garantirá uma boa consolidação das margens na zona mais perto da massa de água, enquanto o segundo tipo terá um papel fundamental em zonas mais recuadas da galeria ripícola, onde o solo não estará permanentemente encharcado.

Um dos métodos frequentes de estabilização das margens é a utilização de estacas vivas, estacas com capacidade de reprodução vegetativa, dispostas em padrões predefinidos, que se desenvolverão rapidamente em árvores. O material para as estacas deve ser proveniente de podas, variando o diâmetro entre 3 e 8 cm, e com um comprimento entre os 0.40 e 1.5 m (FEUP e ARHcentro, 2013). Dependendo do local de execução do projeto, as espécies a considerar para a execução de estacas vivas variam bastante, podendo considerar-se a caso de exemplo o salgueiros-branco (*Salix alba*) e os sabugueiros (*Sambucus nigra*) (FEUP e ARHcentro, 2013). Caso não sejam definidos limites, os efeitos obtidos podem ser os contrários aos pretendidos. Este método, tal como outros enunciados, não deve funcionar sozinho uma vez que os resultados obtidos estariam longe dos desejados. As estacas vivas transformam-se em árvores ao fim de algum tempo, devendo estar intercaladas com diversas outras espécies de plantas.

No campo das coberturas vegetais, a utilização de sementeiras é um ótimo método de estabilização de solos que, escolhendo corretamente as espécies a utilizar, permite obter resultados muito positivos num curto intervalo de tempo. Este método deve incluir uma mistura de vários tipos de espécies, que, como no caso da utilização de plantas de maior porte e árvores,

deve contemplar um vasto leque utilizações, desde pioneiras, a plantas de enraizamento profundo e superficial. A mistura de vários métodos é muitas vezes desejada, obtendo-se uma proteção mais eficaz das margens. Podem ser criadas estruturas tanto em pedras como com a utilização de materiais vegetais mortos, intercalados com vegetação viva, garantindo uma proteção extra às margens. A execução deste método, junto a cursos de água, é normalmente realizado manualmente, devido a dificuldades de acesso, podendo em certas situações ser realizada utilizando o método de hidrossementeira, espalhando a mistura de sementes, água e fertilizantes utilizando um dispersador (FEUP e ARHcentro, 2013).

No que toca à proteção das margens em relação ao efeito erosivo dos caudais de cheia, a escolha do tipo de vegetação a colocar é de elevada importância, uma vez que apenas a vegetação considerada elástica protege eficazmente as margens. Este tipo de vegetação submerge e inclina sobre a margem, permitindo aumentar a proteção contra a erosão. A redução da velocidade e da secção de escoamento é pouco significativa, permitindo escoar maiores caudais.

A vegetação elástica nunca deve ter plantas com caules superiores a 3/4 cm (Cruz e Fernandes, 2011). No que diz respeito à vegetação rígida e densa, o seu efeito de proteção contra eventos de elevado caudal, prende-se com o possível retardamento, ou desfasamento, dos caudais de ponta de cheia, reduzindo assim um pouco o poder erosivo do escoamento. A vegetação rígida e densa tem como grande desvantagem o aumento do nível da água, levando à possibilidade de inundação das áreas adjacentes (Cruz e Fernandes, 2011).

A proteção das margens dos cursos de água pode ser, devendo-o ser em muitos casos, realizada utilizando materiais não vegetais, como gabiões, enrocamentos ou geotêxtil (figura 3). A utilização deste tipo de materiais está normalmente associada a taludes com uma maior instabilidade ou declive, podendo funcionar como suporte para uma camada de vegetação (Silva e Pires, 2007).

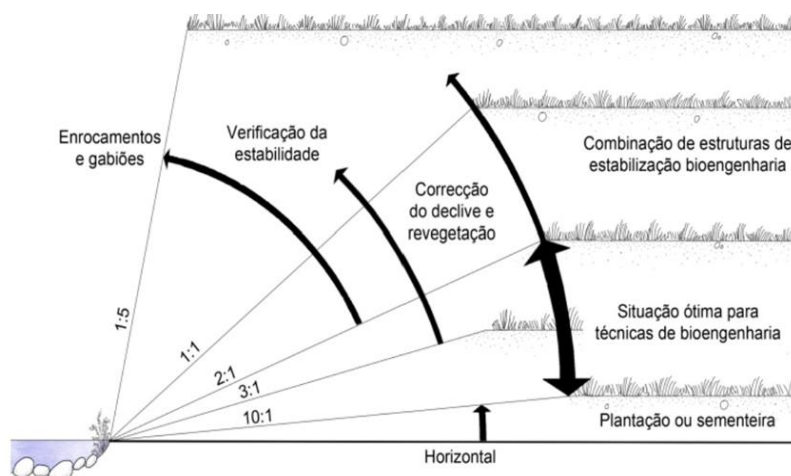


Figura 3 - Esquema dos declives e dos vários métodos construtivos (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013)

O uso de gabiões deve ser incorporado sempre com medidas vegetativas, evitando a criação de problemas estruturais de futuro, não criando em simultâneo nenhuma dificuldade à instalação de fauna aquática (figura 4). A instalação de fauna aquática diversificada só é potenciada se estiverem implementadas condições morfológicas e de escoamento diversificadas, existindo zonas de maior e menor corrente (Cruz e Fernandes, 2011). A solução de gabiões deve ser adotada em cursos de água onde a velocidade da corrente é mais elevada, e/ou quando as margens apresentam instabilidade gravítica (FEUP e ARHcentro, 2013). Segundo a FEUP e ARHcentro (2013), a estimativa dos custos de intervenções utilizando gabiões encontra-se entre os 70 e os 100 €/m<sup>3</sup>, aumentando os custos associados caso seja necessário utilizar material pedregoso que não seja característico do local da intervenção.

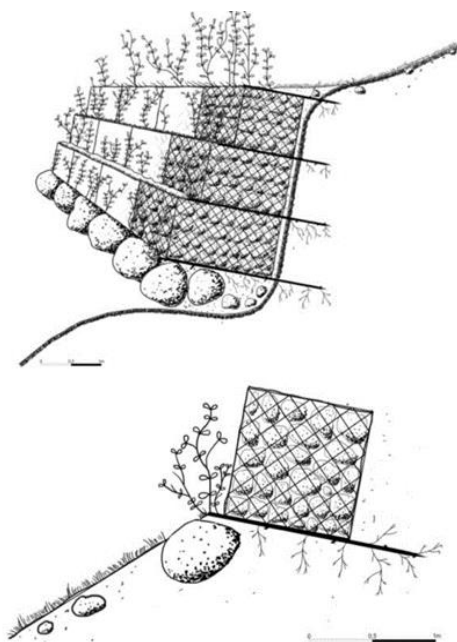


Figura 4 - Esquema gabiões (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013)

O sistema de proteção das margens das linhas de água com enrocamento vivo consiste na utilização de pedras de diâmetros variados, arrumadas com o objetivo de formarem um maciço que evitará a lixiviação do solo das margens (figura 5). Os diâmetros das pedras a utilizar serão definidos após serem determinadas as condições do escoamento, nomeadamente a sua velocidade e turbulência, e as propriedades físicas das rochas a utilizar (Silva e Pires, 2007). As rochas escolhidas devem ser características da região, evitando mais alterações às características dos cursos de água, juntamente com uma poupança referente aos custos de transporte dos materiais. As estacas devem ser colocadas entre as pedras por forma a atingirem o solo. O método do enrocamento vivo é preferencialmente aplicável nas margens de cursos de água com uma elevada velocidade do escoamento, e onde o volume de sólidos transportados é significativo. Como referido anteriormente, devem-se utilizar estacas vivas, devendo sempre ser feita uma adaptação à zona em questão. Os custos estimados deste tipo de intervenção variam entre os 35 e os 70 €/m<sup>3</sup> (FEUP e ARHcentro, 2013).

Para cursos de água urbanos de elevada velocidade de escoamento, com margens densamente urbanizadas, e onde não existe a possibilidade de aumentar a área do leito das linhas de água, o enrocamento é uma ótima solução de adaptação (figura 5). Esta solução permite também significativas melhorias estéticas às margens e leitos de cursos de água urbanos confinados, permitindo não só a proteção necessária às margens, criando também condições para a instalação de diversas espécies de plantas (Silva e Pires, 2007).

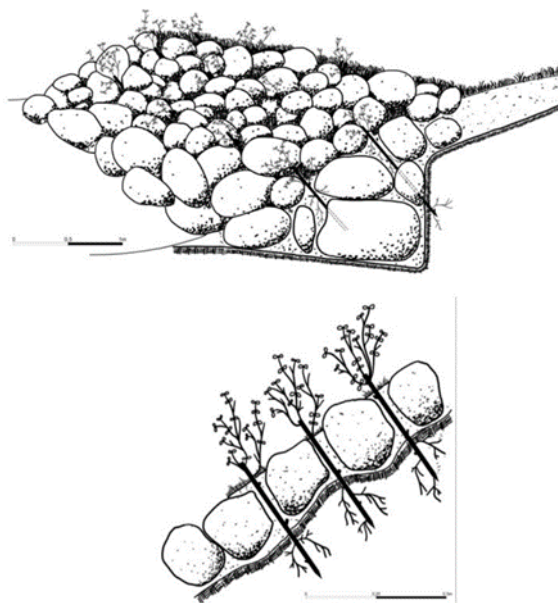


Figura 5 - Esquema enrocamento vivo (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013)

A utilização de geotêxtil na proteção de taludes atua como um reforço na proteção, seja num sistema de proteção com vegetação, seja num sistema de proteção utilizando enrocamento. Num sistema vegetal, onde a vegetação protege as margens da erosão, é necessário um coberto denso e com um bom sistema radicular. Por forma a garantir um sistema de raízes mais forte, que segure o solo durante o escoamento de caudais elevados e com grandes velocidades, o sistema radicular da vegetação ripícola por ser reforçado usando materiais sintéticos. Estes materiais são também utilizados para garantir desde logo que as margens não sofram alterações devido à erosão, evitando assim o compasso de espera até as raízes estarem totalmente desenvolvidas (Silva e Pires, 2007).

Em zonas onde as margens estejam muito alteradas, com a zona erodida de maior altura e dimensão, pode ser necessário recorrer a aterros artificiais na base das margens erodidas. A estrutura de suporte em aterro, deverá ser auxiliada por enrocamento ou por uma estrutura de estacas colocadas de forma a estabilizar a margem, promovendo do mesmo modo o desenvolvimento de vegetação (Cruz e Fernandes, 2011). A vegetação deve ser sempre promovida em projetos de reabilitação e renaturalização, valorizando do ponto de vista ecológico, mas também evitar o uso desnecessário de materiais inertes, ou reduzir ao mínimo o seu uso.

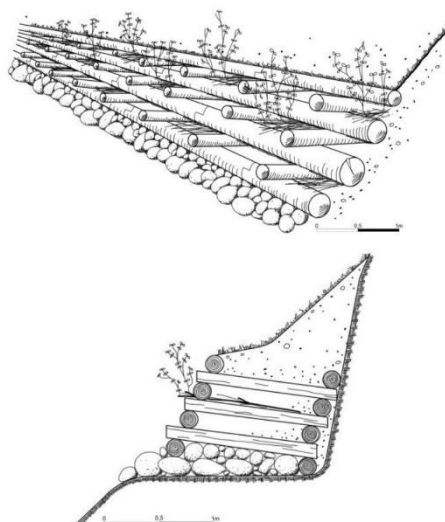


Figura 6 - Esquema muro vivo (Adaptado (FEUP e ARHcentro, 2013))

Outro método de consolidação e recuperação de margens passa pela utilização de um Muro Vivo, ou *Cribwall* (figura 6), composto por uma construção em madeira com a forma de caixa. O interior terá um enchimento de pedras até se atingir o nível médio das águas, sendo a restante área completa com um enchimento que poderá ser bastante variado. O enchimento será complementado com diversas espécies de plantas autóctones, instaladas em torrão, raiz nua ou estacas vivas, como anteriormente referido (FEUP e ARHcentro, 2013). O método de consolidação de Muro Vivo tem, segundo a FEUP e ARHcentro (2013) um custo estimado de 90 a 125 €/m<sup>3</sup>.

Consolidando as margens dos cursos de água ao mesmo tempo que se instalam faixas de vegetação paralelamente a estes é possível utilizando faxinas (figura 7). Este método de consolidação é composto por feixes de ramagens vivas e mortas, entrelaçadas criando rolos com diâmetros entre os 15 e os 20 cm, com um comprimento que pode variar normalmente entre os 2 e os 4m. A instalação deve garantir um bom contacto com o solo, garantindo o desenvolvimento vegetativo da vegetação (FEUP e ARHcentro, 2013). O travamento dos feixes ao solo pode ser realizado com varões metálicos ou barrotes de madeira, sendo que a densidade deverá ser adaptada às condições do local e dos feixes. Esta intervenção tem, segundo FEUP e ARHcentro (2013), um custo de execução que varia entre os 20 e os 40 €/m linear.

A tabela 3 foi apresentada por Cruz e Fernandes (2011), tendo sido baseada noutros trabalhos. É essencial, pois permite uma correta decisão durante o processo de escolha dos diversos métodos de proteção e manutenção das características naturais das margens intervencionadas.



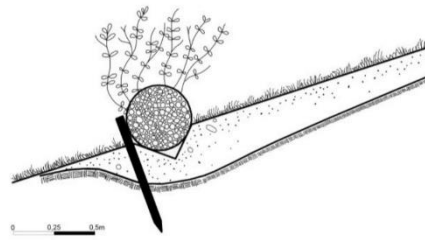
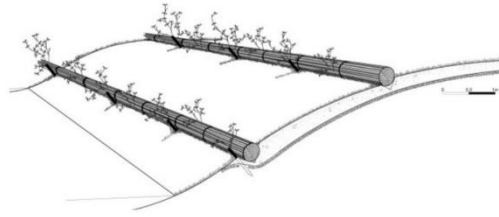


Figura 7 - Esquema faxinas (Adaptado FEUP e ARHcentro, 2013)

Tabela 3 – Métodos de proteção das margens intervencionadas (fonte: Cruz e Fernandes, 2011)

	Função e eficácia					Velocidade da corrente			Resistência à tensão de arraste t		
	Medidas estruturais	Medidas de segurança	Técnicas construtivas superficiais	Técnicas construtivas lineares	Técnicas construtivas pontuais	0 - 1 m/s	1 -3 m/s	> 3 m/s	< 100 N/m <sup>2</sup>	100 - 200 N/m <sup>2</sup>	> 200 N/m <sup>2</sup>
Relvado		X	X			X			X		
Placas de Relva	X	X	X			X	X	X	X	X	X
Entrançados		X		X		X	X	X	X	X	
Fascinas		X		X		X	X	X	X	X	X
Esteira de ramos		X	X			X	X	X	X	X	X
Degraus vivos de consolidação de taludes da margem		X		X		X	X	X	X	X	X
Degraus vivos de consolidação da base da margem		X		X		X	X		X	X	
Fascinas		X		X		X	X	X	X	X	X
Parede de fascinas		X		X		X	X	X	X	X	X
Fascinas sobre faixas de vegetação		X		X		X	X		X	X	
Muro com geotêxtil com e faixas de vegetação		X		X		X	X	X	X	X	X
Muro de madeira "Cribwall" simples		X	X	X		X	X		X	X	
Muro de madeira "Cribwall" duplo		X	X	X		X	X		X	X	
Gabião		X		X		X			X		

Tabela 3 – Métodos de proteção das margens intervencionadas (fonte: (Cruz e Fernandes, 2011))(cont.)

	Função e eficácia					Velocidade da corrente			Resistência à tensão de arraste t		
	Medidas estruturais	Medidas de segurança	Técnicas construtivas superficiais	Técnicas construtivas lineares	Técnicas construtivas pontuais	0 - 1 m/s	1 -3 m/s	> 3 m/s	< 100 N/m <sup>2</sup>	100 - 200 N/m <sup>2</sup>	> 200 N/m <sup>2</sup>
Rede		X		X		X	X		X	X	
Deflector / Esporão		X		X	X	X			X		
Feixes de ramos		X	X			X			X		
Feixes de ramos mortos		X	X			X			X		
Faxinas no talude da margem			X			X	X		X	X	
Geotêxtil cobrindo a margem em talude		X	X			X	X		X	X	
Geotêxtil com estacaria viva	X	X	X			X	X		X	X	
Árvores para proteção de margens	X	X			X	X			X		
Tocos enraizados	X				X	X	X		X		
Estacas de salgueiro em enrocamento	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Estacas de salgueiro em no talude da margem	X	X			X	X			X		
Plantas lenhosas enraizadas	X	X			X	X			X		

## 4. Análise de casos – Vale de Alcântara

### 4.1. Enquadramento

O vale de Alcântara, situado entre as encostas do parque florestal de Monsanto e do bairro de Campolide, foi em tempos coberto por vinhas, pomares, quintas e, na parte mais baixa, pela ribeira de Alcântara. Antes do terramoto de 1 de novembro de 1755 Alcântara era principalmente ocupada por fábricas, tais como de cal, da pólvora, sendo esta posteriormente transferida para a ribeira de Barcarena, e por vários palácios e quintas da nobreza e da família real. A zona de Alcântara servia também de limite da cidade de Lisboa, tendo umas portas como as de Benfica e uma ponte, essencial para o transporte de mercadorias para a cidade. Após a guerra da independência de 1640 foi definido um novo plano de defesa da capital, deixando Alcântara fora das muralhas. Com esta decisão, e juntando o decreto real de 3 de dezembro de 1755 que proibia a construção de qualquer edificado fora das muralhas, resultou numa reduzida construção no vale de Alcântara, permitindo que este continuasse com um mínimo de alterações por mais uns anos (Silva, 1968).

Até ao final do século XIX, apenas o aqueduto das Águas Livres desonava do então ambiente rural que prevalecia no vale. As alterações que originaram o aspeto atual do vale iniciaram-se no por volta do ano 1887, com o fim da construção da linha de caminho de ferro Sintra-Alcântara, contemplando várias obras de arte, como dois viadutos e um túnel, terminando junto à antiga ponte de Alcântara. Foi com a construção da linha de caminho de ferro que, em 1887, começaram as obras de canalização da ribeira de Alcântara, obra essa realizada entre a estação de Alcântara-Terra e o rio Tejo, onde está atualmente a avenida 24 de Julho. Três anos mais tarde, em 1890, com as obras de melhoramento do porto de Lisboa, o caneiro avançou até aos cais, estando neste momento construído onde anteriormente era parte do rio Tejo.



a) Ribeira de Alcântara junto ao viaduto da linha de caminho de ferro.



b) Ribeira de Alcântara junto por baixo do aqueduto das águas livres.

Figura 8 - Ribeira de Alcântara junto ao Aqueduto das Águas Livres, Lisboa 1939 Eduardo Portugal (fonte: Arquivo Municipal de Lisboa / Núcleo de Fotografia)

Mais tarde, já na década de 1940, após o início do plano de florestação de Monsanto, em 1938, começaram novamente obras de modernização da cidade, com a construção de novos eixos rodoviários de ligação à capital. Antes das obras de construção do caneiro de Alcântara, a ribeira apresentava a configuração que mostram as fotografias da figura 8 Foi construído o viaduto Duarte Pacheco, ligando Lisboa à autoestrada Lisboa-Caxias, iniciando posteriormente as obras da avenida de Ceuta, construída, em parte, por cima do caneiro de Alcântara. As obras de canalização da ribeira, da estação de Alcântara-Terra para montante, ao longo de 10km, até ao fim do concelho de Lisboa, foram realizadas entre 1943 e 1967 (figura 9), consideradas necessárias com vista ao fim de epidemias, que se julgavam originarem na ribeira, uma vez que esta era utilizada como um coletor a céu aberto. A construção do caneiro foi necessária de modo a implementar os planos de mobilidade que estavam a ser estudados para a cidade de Lisboa (Viegas e Dias, 1997), e que à época eram considerados a melhor solução para a cidade de Lisboa.



a) Construção do caneiro de Alcântara – Obras de cobertura da ribeira de Alcântara



b) Construção do caneiro de Alcântara – Obras de cobertura da ribeira de Alcântara

*Figura 9 - Construção do caneiro de Alcântara – Obras de cobertura da ribeira de Alcântara, fotografias de Mário de Oliveira (fonte: Arquivo Municipal de Lisboa)*

Com o fim das obras de canalização da ribeira de Alcântara dentro do concelho de Lisboa, em 1967, estava perdido mais um ecossistema ribeirinho num centro urbano português (Viegas e Dias, 1997). No entanto, o que levou à criação do caneiro continuava por resolver, uma vez que continuaram a ser realizadas descargas ilegais na ribeira, acabando por chegar ao rio Tejo sem qualquer tratamento.

As obras de desenvolvimento do vale de Alcântara continuaram com a construção dos acessos do viaduto, de acesso à ponte 25 de Abril, à Avenida de Ceuta (Marques, 2015), e mais tarde com o aumento populacional, Alcântara foi também expandindo, com a construção de bairros como o da Quinta do Jacinto. No fim do século XX, com a decisão de eliminar o bairro do Casal Ventoso, considerado como um dos maiores supermercados de droga da Europa, houve a necessidade de realojar todos os seus habitantes (Garriapa, 2013). Foram construídos vários bairros sociais pela cidade de Lisboa, com o objetivo de eliminar os bairros de barracas, construindo-se dois núcleos no vale de Alcântara, aumentando ainda mais a artificialização do vale.

As obras no vale de Alcântara não mostraram nenhum abrandamento durante largos anos, tendo moldado totalmente o vale, de acordo com uma visão que desleixava os valores ambientais. Para além da ribeira estar totalmente entubada, as margens foram progressivamente destruídas, primeiro com a construção de novas vias de comunicação, e posteriormente com a construção de bairros habitacionais. As construções mais antigas a serem implantadas no vale começaram por aparecer na zona da antiga ponte de Alcântara, no local onde atualmente se encontra a estação de Alcântara-Terra, servindo de bairros habitacionais dos trabalhadores das diversas fábricas que existiam neste local da cidade. Junto ao aqueduto das Águas Livres existiam algumas quintas isoladas, tendo também aparecido algumas fábricas, nomeadamente a fábrica de curtumes, estampagem e tinturaria (Albuquerque, 2014). Posteriormente foram construídos bairros sociais, ocupando terrenos vazios junto da Avenida de Ceuta, a montante da estação de Alcântara-Terra.

A construção do caneiro de Alcântara permitiu que uma maior quantidade de água fosse escoada da cidade de Lisboa, evitando a ocorrência de cheias nas zonas mais baixas da capital, como é o caso de Alcântara. O caudal do escoamento superficial aumentou consideravelmente durante o século XX, correspondendo ao aumento da área construída, diretamente relacionada com o crescimento populacional ocorrido na cidade de Lisboa e nos seus arredores.

Num intervalo temporal de aproximadamente 60 anos, a população da cidade de Lisboa mais que duplicou, passando de cerca de 351 000 no ano de 1900, para cerca de 802 000 no ano de 1960 (Instituto Nacional de Estatística, 1964). Este grande aumento da população residente deveu-se ao êxodo rural, alterando totalmente o modo de funcionamento da cidade, bem como a disposição da população pela cidade. Diversos projetos urbanísticos foram construídos para colmatar a falta de alojamento, alterando o ciclo hidrológico dos cursos de água da cidade. A ribeira de Alcântara foi, naturalmente, afetada com o aumento da construção e alteração do uso do solo, provocando maiores caudais a escoar superficialmente. O aumento dos bairros económicos ocorreu principalmente entre os anos 30 e 60, quando foram construídos os bairros envolventes à avenida de Roma, como é o caso do bairro de Alvalade, o bairro de São Miguel, o bairro do Arco Cego, e os bairros virados para o vale de Alcântara, como o Alvito, o bairro da Serafina e o da Liberdade, e por fim o bairro de Campolide (Branco, 2011).

Entre o fim do século XX e o início do século XXI, a área artificializada aumentou bastante, acompanhando a tendência crescente das áreas impermeabilizadas. Na área da grande Lisboa, onde está incluída a ribeira de Alcântara, entre os anos de 1980 e 2010 a área artificializada aumentou cerca de 58.9%, prejudicando bastante os ecossistemas aquáticos da região, bem como os sistemas de drenagem (Vale, 2014).

Fora dos limites da cidade de Lisboa, mas dentro da bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara, a construção também aumentou, fruto do elevado desenvolvimento da cidade de Lisboa e do aumento dos preços das habitações. Os agregados familiares com menores rendimentos, e uma grande parte dos imigrantes ilegais que chegaram ao país durante o século XX, foram assim obrigados a sair da cidade, ocupando terrenos nas periferias habitando em bairros sem quaisquer

condições. Estes bairros das periferias tinham muitas vezes péssimas condições de habitabilidade e poucos ou nenhuns equipamentos de encaminhamento e tratamento das águas residuais, que seriam descarregadas nas linhas de água mais próximas (Salgueiro, 2012). Estes bairros apareceram também no interior da cidade, junto a bairros burgueses, como foi o caso do já referido bairro do Casal Ventoso, no vale de Alcântara.

A evolução industrial desta zona da cidade, onde estavam presentes diversas unidades fabris como a fábrica de Lanifícios *Dauphins* e a Companhia de Fiação de Tecidos Lisbonenses, impulsionou a construção dos bairros já mencionados (Albuquerque, 2014). A construção foi motivada pela necessidade de instalar os trabalhadores vindos de fora de Lisboa, mas também para melhorar as condições de vida dos mais pobres, que eram obrigados a viver em bairros de lata, especialmente na encosta oriental do vale de Alcântara. Na década de 50 começam a ser desenvolvidos planos com vista à melhoria das zonas circundantes da cidade, zonas estas que eram já ocupadas por muitos bairros de construção ilegal, que colmatavam a falta de habitação na capital. Após a revolução de 1974 e com o fim da guerra nas antigas colónias de África, as condições sociais em Lisboa degradaram-se bastante, aumentando a construção de bairros clandestinos (Marques, 2009).

O aumento deste tipo de bairros deveu-se à falta de preparação que a cidade de Lisboa teve perante o problema dos retornados. A cidade não teve capacidade para receber todos os habitantes das antigas colónias que decidiram voltar, faltando habitação e trabalho para todos, levando à instalação de muitos nos tais bairros ilegais. As redes de saneamento eram muito básicas nos casos em que existiam, descarregando diretamente nas ribeiras mais próximas.

Os planos de limpeza das linhas de água da cidade de Lisboa começaram no fim dos anos 80, com a construção das ETAR (estações de tratamento de águas residuais) do concelho de Lisboa. Neste lote de ETAR construídas está a estação de Alcântara, atualmente intitulada como “fábrica de água”, recolhendo parte das águas residuais do concelho de Lisboa, evitando descargas poluentes na ribeira de Alcântara. A construção desta ETAR permitiu evitar descargas noutras ribeiras, mesmo fora do concelho de Lisboa, como na ribeira de Algés, em Oeiras (Neves, 2017).

Foi aprovado o Plano de Drenagem de Lisboa e o processo de avaliação dos tuneis de drenagem de Lisboa que vão assegurar em caso de precipitação elevada o encaminhamento de parte dos caudais da bacia reduzindo a pressão no troço final da ribeira de Alcântara, bem como outras intervenções (Leboeuf et al., 2015) (APA, 2017).

## 4.2. Estado atual

O documento realizado pela Direção Municipal de Planeamento, Reabilitação e Gestão Urbanística, referente à envolvente do mercado municipal de Benfica (Catarino, 2014), apresenta uma planta, associada de uma descrição dos limites da bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara. A partir da descrição referida, e com o auxílio de cartas militares à escala 1/25000, foi obtido o



valor de 4104 ha para a bacia hidrográfica, valor este que contraria o valor apresentado pela Câmara Municipal de Lisboa para a bacia hidrográfica do caneiro de Alcântara (cm-Lisboa, n.d.-a).

A área referida no site do município lisboeta, de cerca de 3000 ha, é, aproximadamente, 1000 ha inferior ao valor calculado a partir das cartas militares (1/25000) da área em questão, que é de 4104 ha. A discrepância entre estes valores deve-se às alterações realizadas no sistema de drenagem de águas residuais, que junta as águas pluviais com os efluentes domésticos de parte da bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara e descarrega para tratamento na ETAR de Chelas. Campo Grande, Telheiras, parte do bairro de Alvalade e a Alta de Lisboa são as zonas onde houve alterações ao nível do escoamento, deixando, com o sistema atual, de escoar para a zona de Alcântara. O cálculo da área da bacia hidrográfica do caneiro de Alcântara não foi possível de calcular, uma vez que não foram encontrados dados exatos sobre as distribuições dos coletores atuais, tendo sido considerada a área disponibilizada pela câmara municipal.

A planta da bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara está representada na figura 10, enquanto que a atual bacia hidrográfica do caneiro de Alcântara caracterizada no Plano de Drenagem da Cidade de Lisboa 2016-2030 (Leboeuf et al., 2015) está representada na figura 11.



Figura 10 - Planta bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara (fonte: adaptado Museu da Fundação Calouste Gubenkian)

Na cidade de Lisboa, 55% da rede de saneamento é do tipo unitário, servindo para recolher tanto esgotos domésticos como pluviais, e os restantes 45% são do tipo separativo, 25% para drenagem de águas pluviais e as restantes para recolha de esgotos domésticos (cm-Lisboa, n.d.-b). A grande maioria da rede afluenta ao caneiro de Alcântara é do tipo unitário, sendo assim necessário que todo o caudal seja tratado na ETAR (Martins, 2010). Do ponto de vista de uma renaturalização, o facto de grande parte do caudal escoado na bacia do caneiro ser canalizado, devido ao sistema unitário, torna os resultados de uma renaturalização menos satisfatórios. Num sistema do tipo unitário os efluentes domésticos urbanos correm juntamente com as águas pluviais, evitando assim que as linhas de água urbana recebam parte da água precipitada na sua



bacia hidrográfica. Em linhas de água urbanas, com bacias hidrográficas fortemente urbanizadas o problema é ainda mais acentuado, levando a que a maioria da água precipitada não chegue

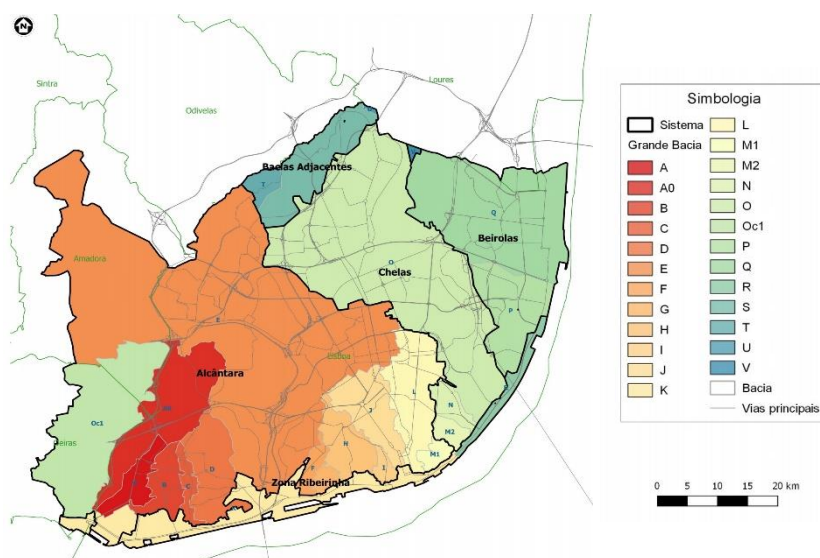


Figura 11 - Planta da atual bacia hidrográfica do caneiro de Alcântara (fonte: adaptado de Plano de Drenagem da Cidade de Lisboa 2016-2030)

às linhas de água. No caneiro de Alcântara, como todos os efluentes urbanos e as águas pluviais são escoados para lá, caso não sejam separados os caudais, ter-se-ia o uma ribeira onde correria esgoto a céu aberto, e não uma renaturalização.

Alterar o modo natural de escoamento das águas pluviais reduziu os fenómenos de cheias na zona de Alcântara, causando, no entanto, mais problemas ambientais a um sistema já muito afetado. Por outro lado, considerando que uma renaturalização integral da ribeira de Alcântara e da sua envolvente, é praticamente impossível, tanto pelo transtorno que tal causaria, bem como dos enormes custos que estariam associados, podemos descartar o impacto que esta alteração teve. No entanto, há um leque variado de ações que podem ser realizadas na zona do vale de Alcântara, beneficiando tanto ambientalmente como socialmente.

Com o modelo atual, apenas a água precipitada nos espaços verdes irá infiltrar-se, mantendo o natural fluxo da bacia hidrográfica. Utilizando os dados da plataforma digital *Lisboa Interativa*<sup>2</sup>, chegou-se a um valor das áreas verdes da capital, dentro da bacia hidrográfica da ribeira de Alcântara, de aproximadamente 971 ha. Como referido anteriormente, parte da água precipitada e escoada superficialmente na bacia hidrográfica é canalizada para a ETAR de Chelas, podendo parte do volume precipitado e infiltrado acabar na zona de Chelas, e não em Alcântara. A área dos espaços verdes na zona referida da bacia é de aproximadamente 242 ha.

<sup>2</sup> <http://lx.cm-lisboa.pt/lxi/>

### 4.3. Alterações propostas

Analisando a origem do caneiro de Alcântara, e o estado atual do terreno, uma renaturalização integral da ribeira seria uma tarefa muitíssimo complicada de realizar, para não se falar em tarefa impossível.

O modo de funcionamento da ribeira de Alcântara e a sua morfologia condicionam o tipo de abordagem que se deve ter durante um processo de renaturalização. O caso do rio *Cheonggyecheon* em Seul, referido anteriormente, era de certo modo semelhante ao da ribeira de Alcântara, mas a uma escala bastante superior. Como referido noutra parte desta tese, o rio era altamente poluído, as descargas eram realizadas diretamente para o curso de água, e estava encanado no troço que atravessava a cidade. A ribeira de Alcântara difere do rio *Cheonggyecheon*, uma vez que a grande maioria da sua bacia hidrográfica está dentro de centros urbanos densamente construídos, limitando largamente o eventual caudal a percorrer a ribeira durante todo o ano, uma vez que a grande maioria dos sistemas de drenagem que compõem a bacia são unitários.

Atualmente, o Decreto Lei n.º23/95, no seu artigo 119º, refere que os novos sistemas de drenagem pública a conceber devem ser principalmente de génese separativa, referindo também o seu artigo (120º) que a remodelação de sistemas existentes deve, sempre que possível, servir para a substituição do sistema unitário para um sistema separativo. Estes tipos de medidas deveriam ser implementadas na cidade de Lisboa, evitando gastos desnecessários no tratamento excessivo das águas pluviais, retomando também parte do escoamento natural dos caudais pluviosos, para as linhas de água. A separação dos sistemas de drenagem citadinos, cria possibilidades de amortização de cheias como as bacias de retenção, ou de redução do escoamento promovendo a infiltração ou a interceção por parte dos espaços verdes. Encaminhar parte dos escoamentos pluviais para as áreas verdes permite aumentar a taxa de infiltração, remediando parte dos danos ambientais causados por uma excessiva taxa de impermeabilização associada aos espaços urbanos, reduzindo desta forma a probabilidade de ocorrência de cheias nas zonas mais baixas, ou planas, da cidade.

As propostas de melhoramento do vale da ribeira de Alcântara apresentadas neste trabalho, servem como uma primeira abordagem à resolução dos problemas sociais e ambientais provocados por anos de alteração. Com vista à sua implantação devem ser realizados estudos e projetos aprofundados, de modo caracterizar e quantificar as medidas propostas.

Com vista ao melhoramento do vale de Alcântara, a primeira intervenção a realizar é a clara separação dos sistemas de drenagem na cidade de Lisboa, principalmente os troços que servem a bacia de Alcântara, separando as águas pluviais dos esgotos domésticos que seguirão para tratamento na ETAR de Alcântara. O processo de transição de um sistema unitário para um separativo já começou a ser executado em partes da região afeta à ETAR, como é o caso da freguesia de Algés, em Oeiras.

Com a implementação de sistemas separativos, reduz-se o esforço colocado no tratamento dos esgotos urbanos, reduzindo também a probabilidade de ser necessário proceder à descarga direta, sem tratamento, no rio Tejo. Atualmente, a capacidade da ETAR de Alcântara está limitada a 3.3 m<sup>3</sup>/s em tempo seco, e a 6.6 m<sup>3</sup>/s em tempo húmido, e uma vez ultrapassado esse limite, o excesso é descarregado diretamente no rio Tejo, sem qualquer tratamento (Frazão, 2011).

Outro problema associado ao sistema unitário são os eventos de precipitação muito intensos que não estavam previstos. Este tipo de fenómenos, mesmo que não ultrapassem o caudal limite da ETAR, podem levar a um mau tratamento dos efluentes, não estando a estação preparada para cobrir um fluxo tão elevado. O modo como estão a ser tratados os esgotos, mais propriamente ao nível dos reagentes, é afetado com o aumento abrupto do caudal afluente, impedindo que seja efetuado um tratamento correto. Antes das alterações à ETAR de Alcântara este problema era sentido, no entanto com as alterações já realizadas este problema foi ultrapassado, servindo a separação dos caudais em tempo seco e tempo húmido para cobrir os picos de caudal. Com o Plano de Drenagem da Cidade de Lisboa 2016-2030 (Leboeuf et al., 2015) passou a ser possível acumular uma maior quantidade de água nos túneis, reduzindo o excesso de caudal a ser encaminhado diretamente para o rio Tejo sem qualquer tratamento.

#### 4.3.1 Praça de Espanha e cruzamento da Avenida de Ceuta com Avenida Calouste Gulbenkian

A recuperação de riachos e ribeiros da bacia hidrográfica de Alcântara está neste momento a ser posta em prática com a execução do projeto de melhoramento da Praça de Espanha (cm-Lisboa, 2019). Seguindo o projeto apresentado, e que se encontra em fase de execução, o riacho do

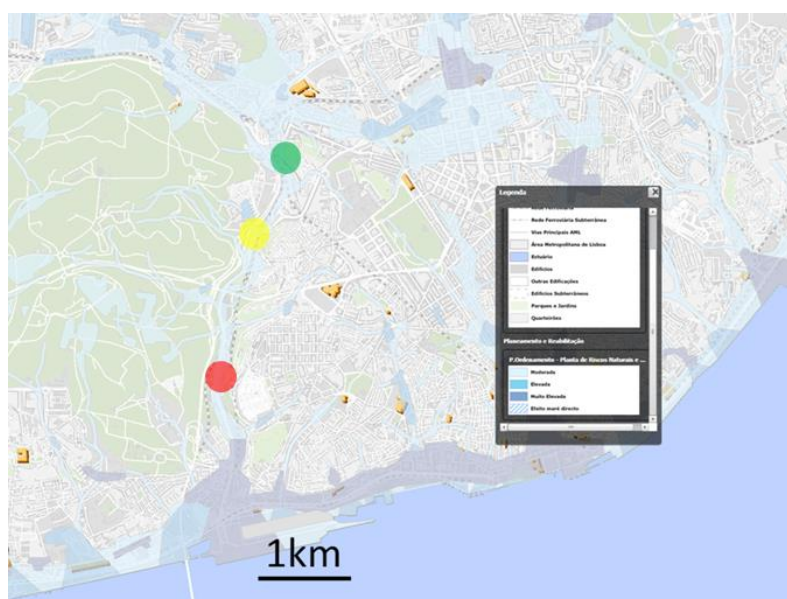


Figura 12 - Planta do risco de inundação cidade de Lisboa, escala 1/20000, identificando as 3 zonas estudadas (Adaptado Lxi – lisboa interativa)

Rego voltará à superfície na Praça de Espanha, juntando-se a uma bacia de retenção, que terá um papel fundamental na gestão dos caudais de fenómenos pluviais extremos. Com as alterações implementadas no sistema viário, as zonas que usualmente ficam inundadas quando ocorrem eventos pluviosos mais intensos, serão substituídas criando a referida bacia de retenção. Consultando a carta de risco de inundação da plataforma *Lisboa Interativa*, é possível constatar que a zona da Praça de Espanha tem risco elevado de inundação, sendo bastante importante a construção da bacia em questão. A construção da bacia atenuará os efeitos de uma eventual cheia naquela zona da cidade, drenando o caudal escoado, provocando também um atraso no escoamento superficial, reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de cheias nas zonas mais baixas da bacia hidrográfica. Esta bacia está em construção, motivo pelo qual é apenas referido, não sendo proposta qualquer alteração.

A figura 10 representa a planta com o risco de inundação de parte da cidade de Lisboa, identifica as zonas com maior probabilidade de inundarem, numa escala de 3 cores. O azul mais escuro representa, risco *Muito Elevado*, enquanto o azul mais claro representa um risco *Moderado*. Juntamente com a planta de risco de inundação estão identificadas as 3 zonas estudadas: zona verde corresponde à Quinta do Zé Pinto, zona amarela corresponde ao cruzamento da Avenida de Ceita com a Avenida Calouste Gulbenkian, e por fim a zona vermelha representa o troço da Avenida de Ceuta estudado.

Outra zona onde existem normalmente problemas de inundações, que são usualmente noticiadas nos meios de comunicação social, é a junção da Avenida Calouste Gulbenkian com a Avenida de Ceuta, no local onde cruzam o viaduto da linha de caminho de ferro (figura 11). Devido às suas características morfológicas, este local funciona como uma bacia, retendo grandes quantidades de água. Prevenindo que ocorrências desta natureza voltem a prejudicar a cidade, propõe-se a criação de uma pequena bacia de infiltração, que será limitada em tamanho pelo espaço e características existentes. O espaço proposto, e disponível para a execução desta



Figura 13 - Bacia de infiltração proposta Avenida Ceuta/Avenida Calouste Gulbenkian, escala 1/1000 (Adaptado Lxi – lisboa interativa)

bacia de infiltração, é relativamente reduzido, sendo limitado por 4 vias de comunicação bastante importantes para a cidade de Lisboa. A Sul e a Norte, a bacia é limitada pelos dois sentidos do fim da Avenida Calouste Gulbenkian, a Este pelo pilar do viaduto da linha de caminho de ferro, e a Oeste pelo talude de uma das vias de acesso do Eixo N/S. No lado Sul, por baixo da Avenida Calouste Gulbenkian, está localizado o caneiro de Alcântara, limitando ainda mais o volume da bacia de retenção. A bacia terá como funções a infiltração de água escoada em excesso, ao mesmo tempo que promoverá a infiltração faseada no solo, contribuindo para a manutenção das reservas de água subterrâneas.

A área do esquema proposto é de, aproximadamente, 2 246 m<sup>2</sup>, dos quais 586 m<sup>2</sup> estarão destinados à bacia de retenção, sendo o seu volume de difícil previsão, dependendo de vários fatores que só poderão ser avaliados com um estudo mais aprofundado. O estudo deve considerar a estabilidade tanto do talude Oeste, como do pilar no lado Este e também do caneiro de Alcântara, para onde será escoado o excesso de água da bacia. A área considerada deve, no entanto, ser reajustada em estudos futuros, tendo em conta as características locais. O plano executado pela câmara municipal, e que está a ser posto em prática, não considera nenhuma obra de minimização de cheias para o local considerado, nem tão pouco aparece assinalado na carta de risco de inundação, continuando, no entanto, a inundar ano após ano.

#### 4.3.2 Quinta do Zé Pinto

A montante do entroncamento entre a Avenida de Ceuta e a Avenida Calouste Gulbenkian, o caneiro circula por baixo da estação de Campolide, acabando por cruzar o parque e oficinas da EMEF-Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário, de Campolide. Neste local, foi decidido não intervir ao nível do caneiro em si, promovendo a requalificação da envolvente através de espaços verdes, como é referido no plano da câmara municipal.



Após o cruzamento das oficinas da EMEF, em direção a montante, propõe-se a criação de um novo parque urbano, onde é devolvido o curso de água (figura 12). Neste pequeno troço, o caneiro seria desencanado, voltando a ribeira de Alcântara a ver a luz do dia (figura 13). A execução desta obra em particular, só poderá ser aprovada quando estiver terminada a execução dos sistemas separativos de descarga de esgotos nos concelhos de Lisboa e Amadora. A antecipação desta solução causaria maus odores no local, o que prejudicaria a utilização do novo espaço verde por parte da população.



Figura 14 - Área verde proposta, Quinta do Zé do Pipo (Adaptado Google Maps)

Naquele novo espaço verde, localizado na chamada Quinta do Zé Pinto, deverá ser evitado o uso de espécies exóticas, ou que estejam pouco adaptadas às condições climáticas no local. Deve ser evitada a colocação de relvados devido às elevadas necessidades hídricas que estão associadas a este tipo de áreas verdes. Embora exista um plano municipal para reutilização da água efluente das ETAR municipais, o consumo de água dos espaços verdes deve ser sempre o menor possível, valorizando ainda mais o papel ecológico que os espaços verdes devem ter. O plano de modernização do vale de Alcântara atualmente em execução por parte da Câmara Municipal de Lisboa, contemplou a construção de um parque urbano no local indicado, não sendo, no entanto, proposta qualquer alteração ao nível da ribeira. Atualmente existe um parque urbano/agrícola onde todos os anos são cultivados diversos cereais.

Na imagem de satélite da figura 12 é possível identificar a zona a intervir, representada a verde, com uma área de aproximadamente 6.36 ha. Estão também representados os troços do caneiro de Alcântara onde deverão ocorrer as modificações necessárias ao processo de renaturalização. O troço representado a vermelho na figura 12 corresponde ao braço de Benfica, originário no concelho da Amadora, percorrendo posteriormente a freguesia de Benfica até se cruzar com o outro braço, representado a azul, com origem na zona de Campolide. O troço do caneiro representado a azul na figura 12, será aquele onde existirão alterações. Na figura 13 é possível visualizar de forma mais clara a interseção entre os dois ramos do caneiro. O território a ser ocupado com o novo espaço verde deve incluir todos os terrenos onde não existam quaisquer construções, bem como os lotes com construções de génese ilegal, devendo os moradores ser realojados noutros locais. Os terrenos privados, incluídos nos lotes a intervir, terão de ser expropriados, criando condições à aplicação das melhorias de beneficiação pretendidas. Os benefícios sociais extraídos desta intervenção serão bastante variados, desde o realojamento de várias famílias que vivem sem condições, como as mais valias do ponto de vista da saúde, tanto física como mental, que os espaços verdes promovem nas populações. Este tipo de zonas dos espaços urbanos atraem a prática de atividades ao ar livre, promovendo estilos de vida menos sedentários.



*Figura 15 - Esquema da junção dos 2 ramos do caneiro - planta, escala 1/2000 (Adaptado Lxi – lisboa interativa)*

Do ponto de vista ambiental são várias as melhorias encontradas. O primeiro ponto a identificar é o reaparecimento da ribeira de Alcântara, curso de água encanado desde os anos 1940/1960, ganhando novamente vida. O processo de desencanar não será de todo fácil, uma vez que nesta zona o caneiro tem uma altura interior de 6.5 m (cm-Lisboa, n.d.-a), a que se junta a espessura da laje e a espessura de terra no topo desta (figura 14). Do lado Oeste será necessário construir um muro de suporte, garantindo a estabilidade do Parque de Material Circulante da CP de Campolide. O segundo benefício ambiental a identificar é a criação de habitats ripícolas que foram extintos há bastante tempo, servindo também de molde a uma eventual extensão de intervenções desta natureza noutros troços da ribeira.

A renaturalização cuidada deste troço da ribeira deve considerar medidas preventivas da ocorrência de erosão, que afetaria negativamente o local. No leito e margens devem ser colocadas espécies de plantas aquáticas que, através das suas raízes segurem o solo, evitando o seu desaparecimento, provocando também alguma resistência ao escoamento, reduzindo a velocidade do escoamento. Estas plantas ajudariam também na filtração da água, evitando o agravar da má qualidade da água. Espécies como a *Carex elata* ou os juncos são boas opções para o leito e margens mais próximas do plano de água (FEUP e ARHcentro, 2013). Ao nível das árvores, o freixo-comum (*Fraxinus angustifolia*) ou o amieiro (*Alnus glutinosa*) são boas opções para as zonas das margens onde a massa de água tem maior efeito, deixando para as zonas mais afastadas da água espécies como o choupo branco (*Populus alba*). A escolha das espécies a utilizar, dentro das famílias enunciadas, deve ficar a cargo de técnicos com maior conhecimento na matéria, como engenheiros agrónomos ou florestais. A geometria proposta para a ribeira renaturalizada será composta por margens com 35° de inclinação, estando o fundo do leito a uma profundidade de 5m, a partir do topo das margens (figura 14). Considerou-se elevar o leito da ribeira, permitindo uma melhor adaptação da ribeira à envolvente, sem prejudicar o normal funcionamento do caneiro a montante e de jusante. A faixa composta pela ribeira e as margens terá aproximadamente 17.3 m de largura, ao longo dos 350 m que se propõem renaturalizar no presente trabalho. A este valor da largura acrescentam-se mais 3 m em cada margem reservado como zona ripícola. A área ocupada pela ribeira será assim de aproximadamente 0.61 ha, enquanto da zona ripícola será de aproximadamente 0.21 ha.

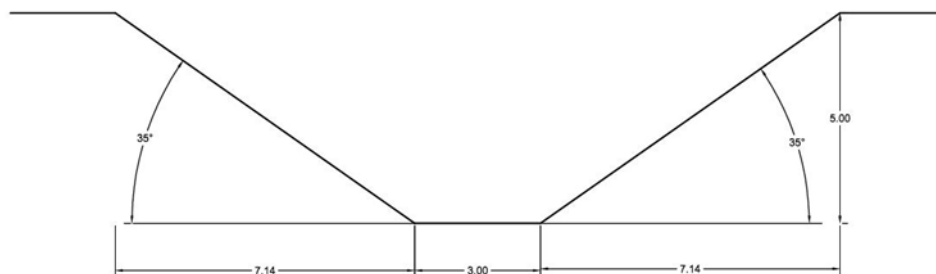


Figura 16 - Esquema simples da geometria proposta para a ribeira de Alcântara, zona da Quinta do Zé Pinto

No que diz respeito à restante área verde, a área arborizada será composta por espécies de árvores autóctones como o sobreiro, o medronheiro e o carvalho. A área arborizada com estas espécies corresponderá a 70% da área do parque, sem considerar a área ocupada pela ribeira e pela zona ripícola, correspondendo a 3.88 ha.



As medidas de contenção das margens dependem naturalmente da geometria definida, estando esta diretamente relacionada com a profundidade do caneiro e com a espessura das lajes e da espessura de solo no topo desta. A figura 15 representa um esquema da junção dos dois troços do caneiro junto da zona que se pretende renaturalizar. Visto que os declives não serão muito acentuados, não será necessário utilizar muros de gabiões, optando-se antes por enrocamento vivo ou muro vivo (*Cribwall*), caso se considere que existam condições de velocidade para tal. O muro vivo, embora mais dispendioso tem a vantagem de se poder realizar em qualquer época do ano, ao contrário do enrocamento vivo, devendo a colocação das pedras ocorrer, preferencialmente, entre Setembro e Novembro (FEUP e ARHcentro, 2013). O muro vivo é, do ponto de vista estético, mais apelativo, podendo atuar como um fator persuasivo de aceitação por parte da população. Nas zonas de transição, entre a parte encanada e o muro vivo, ou enrocamento vivo, deve-se optar pela utilização de gabiões, com uma proteção da base reforçada, devido à baixa resistência a velocidades elevadas, permitindo equilibrar os declives das margens. Nas zonas de transição os declives são bastante variáveis, passando de zonas verticais para zonas menos acentuadas.

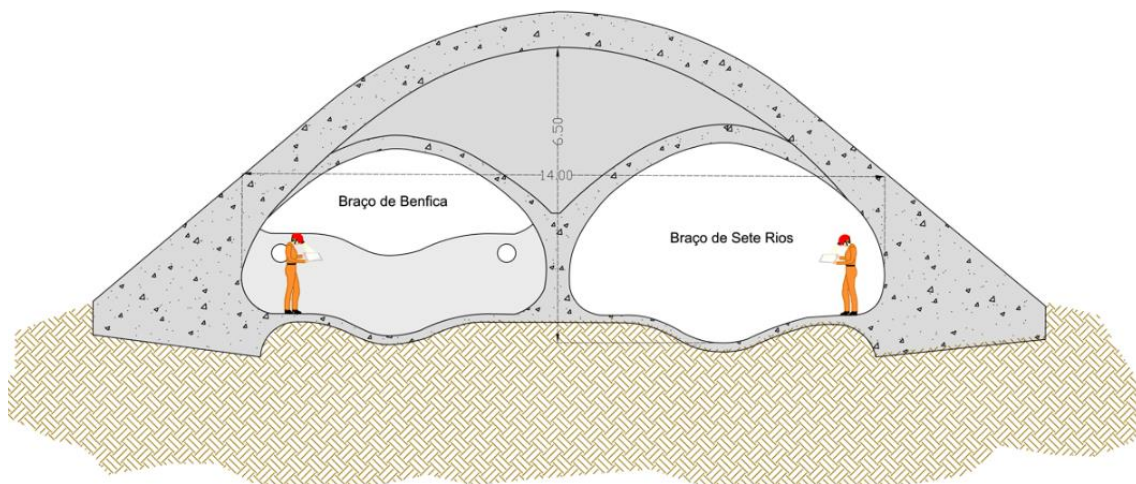


Figura 17 - Esquema junção dos dois ramos do caneiro – perfil (Adaptado cm-Lisboa, n.d.-a)

No projeto de dimensionamento do novo troço da ribeira, terão de ser considerados os efeitos que as alterações climáticas provocarão, considerando que a intensidade de precipitação dos eventos pluviosos será superior, aumentando o volume a escoar no pico de cheia. Por outro lado, a frequência de eventos pluviosos baixará, passando assim a existir um menor número de dias com precipitação, ocorrendo, no entanto, com maior intensidade (Leboeuf et al., 2015). Será assim desejável que o novo espaço verde funcione também como local de amortecimento da cheia, criando condições para que a ribeira galgue as suas margens e ocupe uma marcela do jardim pré-definida para o efeito, evitando danos a jusante do local referido.

### 4.3.3 Avenida de Ceuta

#### 4.3.3.1 Funcionalidade e acessibilidade

A Avenida de Ceuta foi construída no vale de Alcântara exatamente sobre o caneiro de Alcântara, sendo atualmente uma das artérias fundamentais ao tráfego pendular da cidade. Analisar o papel da Avenida de Ceuta no paradigma rodoviário da capital só é possível através de uma análise ao tráfego rodoviário. Foi utilizada a tese de mestrado de Brito (2012) para obter os dados pretendidos. Após uma análise aos resultados obtidos no estudo, foi possível concluir que o ponto da Avenida de Ceuta com maior volume de tráfego será, no sentido norte-sul, junto ao acesso para a Ponte 25 de Abril, após o local de inversão de sentido. O volume de tráfego das 3 vias que seguem para Alcântara, juntamente com as 2 vias de acesso à ponte, perfazem um TMDA- Tráfego médio diário anual, de 43 402 veículos. O troço que liga a Avenida de Ceuta à Praça de Espanha tem um TMDA de 28 311 veículos, correspondendo ao ponto com o segundo maior volume de tráfego em Alcântara.

Os troços analisados são classificados como de 2º nível (rede de distribuição principal), tendo que assegurar a distribuição dos maiores fluxos de tráfego da cidade de Lisboa, servindo também de distribuidor para as artérias de 1º nível (Brito, 2012). O estudo mostra que tendo em consideração as características da via, a Avenida de Ceuta tem um papel fundamental na mobilidade da cidade, revelando-se difícil a realização de alterações, tanto morfológicas como no seu modo de funcionamento, tendo em vista a renaturalização da ribeira de Alcântara.



*Figura 18 - Imagem representativa do troço da ribeira a intervir*

Tendo em conta os dados e as considerações referidas no parágrafo anterior, devem ser realizadas profundas mudanças no modo de funcionamento dos sistemas públicos de transporte

de modo a aliviar o tráfego da cidade, com especial foco nesta artéria. Introdução de novas carreiras de elétricos e um aumento da oferta dos meios já existentes permitiria aliviar a rede viária do tráfego automóvel. Ao longo da Avenida de Ceuta, ligando a Praça de Espanha a Alcântara, a criação de um corredor misto de autocarros e elétrico seria benéfico para todo o modo de funcionar da cidade de Lisboa. Do lado da ferrovia a reabilitação das estações de Alcântara-Terra e Alcântara-Mar é fundamental, criando a ligação há muito esperada entre a linha de cintura e a linha de Cascais. Existe atualmente um projeto que permitiria a ligação das duas linhas, deixando de existir duas estações, passando a uma única estação subterrânea. A execução do projeto de junção das duas estações é fundamental, permitindo melhorias essenciais no sistema de transportes da cidade de Lisboa, que teria repercussões não só na zona de Alcântara, mas por toda a cidade. A linha do Sul poderá ter também um papel importante no escoamento de pessoas, ao mesmo tempo que liberta veículos da zona de Alcântara, através da abertura ao público da estação do Alvito. A estação foi construída durante a extensão da linha do Sul entre Campolide e o Pinhal Novo, nunca tendo entrado ao serviço, servindo atualmente apenas como saída de emergência.

A substituição da Avenida de Ceuta pela autoestrada número 2 (A2) como eixo rodoviário de escoamento do tráfego da zona ribeirinha da cidade de Lisboa é outra medida de elevada importância a ter em consideração. Com estas duas medidas estavam criadas condições para a redução do número de vias de tráfego da Avenida de Ceuta, passando de 3 para 2 em cada sentido. O acesso atualmente existente a partir de Alcântara para a A2 seria ampliado e melhorado, permitindo o acesso a todos os sentidos deste eixo rodoviário. Assim, com as alterações propostas passaria a ser possível aceder a partir de Alcântara ao sentido Sul/Norte da A2, bem como do sentido Norte/Sul da A2 para Alcântara. Seria necessário construir um viaduto que ligaria o atual acesso de Alcântara até à A2, utilizando o local onde atualmente existe o estreitamento de 2 para 1 via. O viaduto cruzaria o outro sentido do acesso à autoestrada, entroncando posteriormente com a A2. No sentido oposto seria construída uma nova saída, a partir do sentido Norte/Sul, que entroncaria com a saída atualmente existente do sentido Sul/Norte (figura 16). Com esta medida compensatória, o tráfego que percorre atualmente a Avenida de Ceuta seria largamente desviado, permitindo uma melhor atuação na renaturalização da ribeira. Embora o volume automóvel no acesso à A2 aumente, é expectável que o TMDA global reduza

com as diversas medidas compensatórias propostas, nomeadamente com a grande aposta nas infraestruturas e modo de operar dos transportes públicos.

Com as alterações já referidas neste trabalho referentes ao modo de funcionamento da ribeira, seria possível a realização de alterações profundas no troço coincidente com a Avenida de Ceuta. O troço que se pretende alterar em primeiro lugar, está compreendido entre o início da avenida, a montante, e o bairro da Quinta da Cabrinha. O setor da avenida em questão tem aproximadamente 4.1 km de comprimento, sendo composto por 6 vias de trânsito, 3 em cada sentido, estando uma via de cada lado destinada a transportes públicos. Cada via tem 3 m de largura, perfazendo um total de 18 m, ao qual se soma a largura do separador central, com 5.6 m. Com as alterações a realizar, poderá ser necessário retirar 1.5 m à berma do lado direito, sentido montante-jusante. As características da berma do lado direito não criam condições favoráveis à criação de um passeio, estando o lado esquerdo destinado à utilização pedonal. Do



*Figura 19 - Esquema das alterações propostas nos acessos da A2 (Adaptado Google Maps)*

ponto de vista ambiental, com os ganhos resultantes das alterações, e considerando os constrangimentos que poderiam surgir com as modificações, a zona considerada é a que originará o maior ganho global, não requerendo tantas alterações prévias como o restante troço da ribeira entre a Quinta da Cabrinha e a foz, junto ao porto de Lisboa. O troço que não irá ser intervencionado tem características diferentes do anterior, uma vez que existem mais árvores, tanto no separador central como nas bermas, que durante as alterações de renaturalização da ribeira teriam necessariamente de ser cortadas. A forma do separador central é outra das características que difere, sendo mais estreito devido às vias de mudança de direção.



#### 4.3.3.2 Contribuição para a reabilitação

Um dos aspetos mais discutidos tem sido a renaturalização integral do caneiro de Alcântara. No entanto, dado os caudais existentes e o esforço de recursos financeiros, esta proposta não optou por essa solução. Propõem-se trazer a funcionalidade da renaturalização para a faixa central da desta avenida, aproveitando-se uma parte da água trazendo-a à superfície, mantendo uma grande parte da secção atual do caneiro, entre os 55% e os 60%. Neste contexto, pretende-se criar à superfície, reajustando a parte superior do caneiro, algumas das funções hídricas e dos ecossistemas.

O processo de reabilitação e renaturalização da ribeira de Alcântara passa por desencanar o escoamento, transformando o separador central da Avenida de Ceuta no leito da ribeira, recriando parte de um ecossistema há muito alterado. A avenida passaria a ter apenas 2 vias de tráfego em cada sentido, ao invés das 3 atuais. A largura atual de cada via é de 3m, passando uma das vias em cada sentido a ter 2.75 m, deixando os 3 m apenas para as vias destinadas aos transportes públicos. Com a redução das faixas e a ocupação de 1.5 m da berma de lado direito, foi decidido que as dimensões em cada sentido passassem a ser de 6.05 m, juntando à dimensão da faixa de rodagem uma margem de 0.15 m em cada lado. A ribeira terá assim 13m de largura à cota do pavimento das faixas de rodagem. Junto ao separador central, de modo a proteger os veículos, serão colocados rails de proteção.

Por forma a garantir o pleno funcionamento da ETAR de Alcântara será necessário instalar condutas que conduzirão os efluentes da ETAR até ao rio Tejo, que são hoje em dia descarregados no caneiro. Um dos planos atualmente em implementação é a reutilização da água para lavagens de ruas e rega de espaços verdes, medida muito positiva no que toca à redução do consumo de água da capital. Assim, a água em excesso, e a que seguiria para as zonas mais baixas da cidade, utilizará novas condutas instaladas ao lado do local onde estará o leito da ribeira, bem como o novo sistema de distribuição de água reutilizável. O local do caneiro será ocupado pelo leito da ribeira, aterrando-se a restante secção.

Ao nível do leito e margens, entre as vias de tráfego da Avenida de Ceuta, a renaturalização da ribeira requer medidas de contenção das margens, protegendo-a da erosão, e de redução da velocidade do escoamento. Neste caso em particular as margens têm de ter proteção adicional, garantindo que com o aumento do caudal não ocorrem problemas de estabilidade ao nível do pavimento da avenida. A geometria da secção da ribeira será trapezoidal, com declives das margens de 40° e o leito estará a uma profundidade de 4.5 m, a partir da cota do pavimento da avenida, obtendo-se uma secção de vazão de aproximadamente 34.4 m<sup>2</sup> (figura 17). Atualmente o caneiro tem uma secção 8.0 m x 5.0 m, perfazendo 40 m<sup>2</sup> de área, estando o fundo do leito a uma profundidade de 9.2 m. A diferença de menos de 6 m<sup>2</sup> na área da secção de vazão não é preocupante, uma vez que será proposta a instalação de descarregadores laterais, permitindo que a partir de um determinado caudal, este seja escoado para o caneiro, deixando, no entanto, uma parte do caudal a escoar superficialmente. A execução de sistemas separativos terá também um papel favorável na redução dos caudais a escoar.

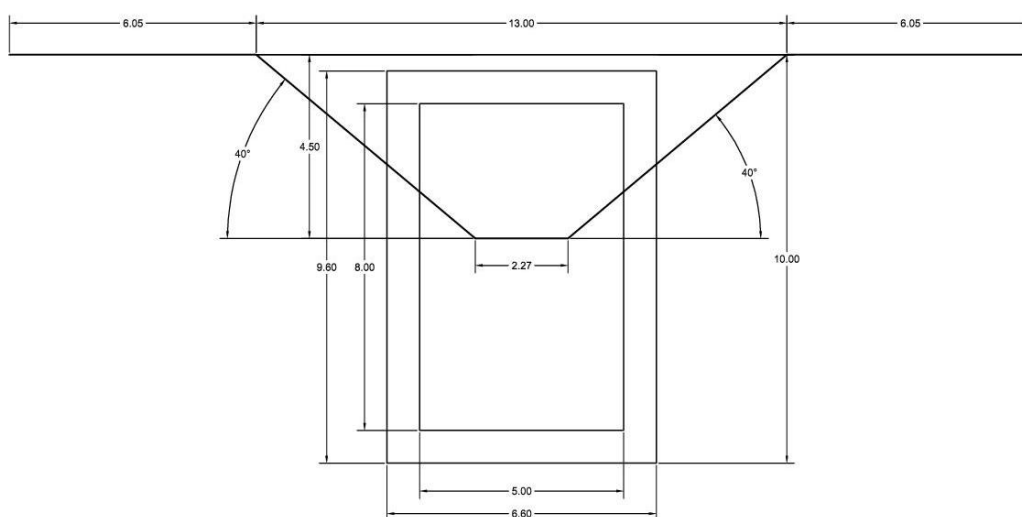


Figura 20 - Esquema simples da geometria proposta para a ribeira de Alcântara, zona da Avenida de Ceuta

O trabalho realizado por Frazão (2011) obteve valores de precipitação diária, utilizando para tal dois udómetros, colocados em dois pontos distintos da cidade de Lisboa. Foram também obtidos valores para caudais escoados no caneiro de Alcântara, medidos através de uma sonda colocada no interior do caneiro. A sobreposição dos dados obtidos permitiu analisar os caudais considerando os eventos pluviosos, separando assim os volumes referentes a tempo seco e a tempo húmido. A precipitação máxima diária registada no período em análise foi bastante inferior aos valores máximos registados para a cidade de Lisboa, e disponíveis na plataforma *Snirh*<sup>3</sup>. Os valores disponíveis na plataforma davam como valor máximo diário anual 130.9 mm/dia, ocorridos em 1983, referente à estação Sacavém de Cima (21C/01U), com dados de medição de 1932 até 2008. No que diz respeito à precipitação horária máxima na região de Lisboa, a

<sup>3</sup> <https://snirh.apambiente.pt>

estação Lisboa (21C/02G) registou entre o dia 11/01/2005 e o dia 19/05/2009, um valor máximo de 16mm/hora, valor perto do máximo diário obtido por Frazão (2011).

Considerando o valor máximo da intensidade ( $i$ ) obtida na estação de Lisboa de 16mm/h, é possível obter, de forma muito simplificada e como exemplo, o valor de caudal a escoar durante um evento pluvioso de grandes dimensões sobre a cidade de Lisboa. No cálculo do caudal foi considerada a área ( $A$ ) indicada no site da câmara municipal (cm-Lisboa, n.d.-a) ao invés da área cálculo com o auxílio de cartas militares, uma vez que o sistema de drenagem atualmente implementado escoar parte das águas pluviais para outro vale da cidade, não sendo no entanto propostas quaisquer alterações a esse nível. A área a considerar será assim de 3000 ha, para o ponto do caneiro com a maior área de influência. O coeficiente de escoamento superficial ( $C$ ) adotado foi de 0.75, obtido apenas como exemplo, considerando a diversidade de ocupações do solo existentes e as suas densidades. Chegou-se assim ao valor muito aproximado de 100 m<sup>3</sup>/s, obtido a partir da fórmula (1)

$$Q = 0.1667 * C * i * A \quad (1)$$

Considerando o esquema simplificado da ribeira após ser desencanada no troço coincidente com a Avenida de Ceuta, e o caudal obtido anteriormente, o caudal conseguirá ser totalmente escoado a uma velocidade muito aproximada de 2.9 m/s, estando de acordo com a maioria dos métodos de proteção das margens indicados na tabela 3. A velocidade obtida serve apenas como valor indicativo, não entrando em consideração com diversas características de elevada importância para a sua definição, como a rugosidade do leito e o seu declive. O caudal base a escoar é de difícil quantificação devido às profundas alterações atualmente existentes.

Considerando a geometria referida, caso a velocidade ultrapasse os 3.0 m/s, será necessário utilizar Enrocamento Vivo como proteção das margens (tabela 3). Esta velocidade poderá ser excedida em zonas pontuais, locais onde deverá ser colocado o enrocamento. Na restante área a intervir, uma vez que as inclinações propostas são de 40°, opta-se por utilizar, como no caso anterior, muros vivos como medida de proteção. O muro terá plantas e arbustos, aumentando a estabilidade do solo e proporcionando uma maior biodiversidade, mas também permitindo uma maior infiltração da água precipitada. Ao longo da avenida, no topo das margens da ribeira, serão plantadas diversas árvores, permitindo melhorias estruturais nos taludes das margens, aumentando do mesmo modo a biodiversidade local. O aumento do número de árvores ao longo da avenida permitirá reduzir o efeito de ilha de calor no local, e aumentar ainda que numa escala bastante pequena, a interceção da precipitação. O custo associado à proteção das margens incidirá principalmente sobre os muros vivos de suporte, e sobre o enrocamento, sendo este o menos dispendioso. O custo das árvores e arbustos colocados dependerá das espécies escolhidas, podendo variar entre 1.50 € e 10 € a unidade (FEUP e ARHcentro, 2013).

No leito da ribeira, para além de alguns obstáculos como pedras e troncos, serão também colocados pequenos arbustos, reduzindo desta forma a velocidade do escoamento. Tanto os obstáculos como as espécies vegetais permitem a criação refúgios e abrigos para espécies de peixes e de invertebrados, permitindo também o arejamento da água, medida importante para

garantir uma boa qualidade da água. Nas margens e na fronteira entre o leito e as margens, serão colocadas espécies como o bunho (*Scirpus lacustris*) e os caniços (*Phragmites australis*), resistindo à força da corrente. Já no leito serão colocadas espécies de plantas aquáticas.

Junto da estação de Alcântara-Terra e do parque ferroviário, seria reaproveitado o espaço vazio para a criação de mais um espaço verde, aumentando os benefícios sociais inerentes a estas zonas, tal como as mais valias ambientais características destas áreas das cidades. Este parque terá cerca de 4 707 m<sup>2</sup>, e considerou-se que a totalidade da sua área como zona arborizada.

A jusante da zona da Avenida de Ceuta onde está proposto intervir e até à sua foz, uma renaturalização é bastante mais complicada de executar, não só pelo elevado número de obstáculos existentes, mas também pelos projetos futuros. A futura estação de caminhos de ferro, que ligará a linha de cintura com a linha de Cascais, é um desses projetos que deve ser considerado. A sua execução beneficiaria largamente a zona de Alcântara, como foi anteriormente referido, mas considerando que seria uma estação subterrânea, os entraves à execução de uma renaturalização seriam ainda maiores. Existindo uma sobreposição entre o caneiro e o local previsto para a execução da estação e dos respetivos túneis, o projeto teria de contemplar a instalação do novo leito da ribeira por cima dos túneis, permitindo que esta volte a desaguar livremente no rio Tejo. Devido à elevada complexidade, esta obra deverá ser das últimas a ser realizada.

#### 4.4. Alterações e valoração dos serviços ecossistemas

A atribuição de valor aos serviços dos ecossistemas não é um assunto consensual. Muitos autores consideram que valores intangíveis não são possíveis de quantificar monetariamente, como é o caso do aspeto estético, a vida humana, ou os benefícios ecológicos de longo prazo. Em Costanza et al. (1997) foram estimados valores por unidade de área de cada serviço dos ecossistemas para os vários tipos biomas. Para estimar o valor por unidade, Costanza et al. (1997) utilizou três métodos, por ordem de preferência, que consistiram em: 1) soma dos excedentes dos consumidores e produtores; 2) renda líquida, ou por outras palavras, o excedente do produtor; 3) preço vezes a quantidade como indicador como valor económico do serviço dos ecossistemas. Estes dados, juntamente com outros complementares, foram utilizados na valoração dos serviços dos ecossistemas identificados no caso de estudo. Os valores referidos no trabalho de Costanza et al. (1997) são referentes à cotação do dólar americano em 1994, por hectare e por ano. Na análise das alterações realizadas no presente trabalho foram considerados os valores obtido por Costanza et al. (1997), atualizados à taxa de inflação para 2019, sendo que \$1 em 1994 corresponde a \$1 .73 em 2019<sup>4</sup>. A taxa de câmbio considerada foi de \$ 1 = 0.9 0€<sup>5</sup>. Segundo Wu e Li (2019), na regulação da qualidade do ar deve existir uma cobertura de folhagem de pelo menos 70%. Considerando o valor mínimo da altura das árvores referido pelo mesmo

<sup>4</sup> <http://www.in2013dollars.com/1994-dollars-in-2018?amount=1>

<sup>5</sup> <https://www1.oanda.com/lang/pt/currency/converter/>



autor, de 2 m a 5 m, existirá um desfasamento entre a execução das intervenções e a obtenção de resultados positivos. Os valores definidos estão associados a zonas arbóreas bastante desenvolvidas, motivo pelo qual não se poderão retirar elações definitivas logo após a intervenção. A largura da zona arborizada não deve ser inferior ao valor mínimo, variando este entre 5 m a 10 m. A qualidade do ar melhora quando o ar é filtrado pela zona arborizada, razão pela qual a zona arborizada não deve ser extremamente densa, evitando que o fluxo de ar contorne a massa arbórea, ao invés de a atravessar e ser filtrada. De modo a produzir resultados positivos, a faixa arborizada deve ter um comprimento mínimo de 50 m.

Na valoração do sequestro de carbono utilizaram-se os dados apresentados por Pereira et al. (2007) para prados e para florestas de eucaliptos. A utilização de dados referentes a florestas de eucaliptos é aproximada, uma vez que não é proposta a utilização de espécies vegetais exóticas. No entanto, como o local a intervir terá uma forte manutenção, quer ao nível das necessidades hídricas das plantas, quer ao nível do tratamento dado ao solo, considera-se que os dados se aproximam às características das áreas arborizadas. Os dados foram depois anexados às zonas intervencionadas, permitindo uma valoração do carbono sequestrado pelas áreas arborizadas. A valoração da quantidade de carbono sequestrada foi feita através do preço do carbono para o mercado europeu, tendo sido utilizado o valor de 24.61 €/ton como referência<sup>6</sup>.

Ainda segundo Wu e Li (2019), para se obterem resultados ótimos do efeito de arrefecimento, deve existir uma cobertura vegetal mínima de 60%, sendo que a área não deve ser inferior a 2 ha. A área da cobertura vegetal é a área realmente ocupada pelas copas das árvores, que será naturalmente inferior à área total arborizada. Este parâmetro é substancialmente mais complexo de definir, variando de espécie para espécie, de local para local, e do modo como se desenvolvem os vários exemplares de cada árvore. Nas várias zonas intervencionadas existirão claras melhorias ao nível da temperatura do ar, mas que não poderão ser quantificadas.

A análise de valoração do clima foi realizada utilizando os valores obtidos por Costanza et al. (1997), considerando o aprovisionamento de certos nutrientes, bem como a remoção dos nutrientes em excesso.

No que toca à manutenção de espécies e habitats, a valoração realizada considerou os dados obtidos por Mangi (2012) para a área de *Spadenlander Bush/Kreetsand's*, junto ao rio Elba, na região de Hamburgo. Através do método de quantificação WTP, chegaram a um valor médio de 8 700 €/ha/ano. Este serviço é aquele onde se obtêm maiores benefícios económicos. No entanto, está muito dependente da vontade demonstrada pela população em pagar pelas melhorias, o que varia de local para local. O valor da intervenção alemã foi utilizado apenas como exemplo que deverá ser atualizado para o paradigma português num futuro projeto de execução.

Embora fosse teoricamente possível considerar a produção para alimentação de algumas espécies de peixes de água doce, na ribeira de Alcântara, tal não seria realista devido, quer à falta de espaço, quer à eventual falta de caudal suficiente para associar a produção com a

---

<sup>6</sup> <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>

preservação ecológica, pelo que se considerou um valor nulo, correspondente à inexistência de qualquer benefício.

Os aspetos culturais e educativos de cada área foram contabilizados utilizando o valor de Costanza et al. (1997) para zonas inundáveis. A opção por este valor prende-se com o facto de existir a possibilidade de parte das áreas verdes ser inundada, ao que se junta a não existência de qualquer valor disponível para os rios.

Os benefícios inerentes à regulação de desastres naturais foram quantificados utilizando os dados de Costanza et al. (1997). A área referente à ribeira foi classificada utilizando os valores de áreas inundáveis, considerando a possibilidade destas áreas poderem servir como bacias de retenção, atenuando os efeitos das cheias.

Na quantificação do controlo de erosão, apenas se obteve valores para as áreas arborizadas e para os terrenos incultos. As obras de contenção das margens não entraram na valoração, mas têm um papel bastante importante na estabilização das margens e no controlo da erosão local.

Relativamente à produção de materiais primários, como é o caso de fibras e combustíveis, apenas se considerou a área ocupada pelas áreas arborizadas, utilizando-se para tal os valores apresentados por Costanza et al. (1997) para estas zonas.

#### 4.4.1 Praça de Espanha e cruzamento da Avenida de Ceuta com a Avenida Calouste Gulbenkian

As alterações referidas para a Praça de Espanha não foram quantificadas na valorização, uma vez que as alterações estão já a decorrer.

A área a intervir, definida para o cruzamento da Avenida de Ceuta com a Avenida Calouste Gulbenkian, tem aproximadamente 2 246 m<sup>2</sup>, e destes 586 m<sup>2</sup> estão destinados à bacia de retenção. A área da bacia considera-se que 50% será composta por uma zona arborizada e os restantes 50% será considerada como área inculta. Uma vez que a que zona a intervir fica no meio de vias de comunicação importantes e tem uma área relativamente pequena, não foram considerados benefícios dos serviços de produção de alimentos, recreativo e culturais.

Em termos de valorização não são esperados valores muito elevados tendo em consideração a área em questão. O sequestro de carbono tem uma valorização de apenas 27 €/ano, da mesma ordem de grandeza que a regulação do clima, ao nível da temperatura, com uma valorização de 36 €/ano, da regulação da qualidade da água com 30 €/ano, do controlo da erosão com 27 €/ano e da produção de materiais primários com 36 €/ano. Os serviços onde haverá uma maior valorização são a manutenção de espécies e de habitats com 1 950 €/ano, e a regulação de desastres naturais, ao nível das cheias, mas que não foi possível quantificar por depender da bacia a realizar. Os restantes serviços tiveram valorizações desprezáveis, perto de 1 €/ano.

Tabela 4 - Serviços dos ecossistemas respetivas fontes e valores por hectare e ano considerados

	Regulação da qualidade do ar sequestro de carbono	Regulação desastres naturais	Regulação do clima (temperatura)	Regulação da qualidade da água	Controlo erosão	Abastecimento de água	Formação de solo	Habitat	Produção materiais primários	Produção alimentar	Recreativo	Cultural / Educação
Fonte	(a)	(b)						(c)	(b)			
	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano	€/ha/ano
Floresta	N.D.	3,11	219,54	135,46	149,47	4,671	15,57	8700	214,87	66,95	56,05	3,11
Área inculta - não arborizada	10,90	N.D.	N.D.	135,46	45,15	0	1,56		N.D.	104,32	3,11	N.D.
Ribeira	N.D.	7240	N.D.	1035,41	0	N.D.	N.D.		N.D.	0	358,11	1761

(a) (Pereira et al. 2007)

(b) (Costanza et al. 1997)

(c) (Mangi 2012)

#### 4.4.2 Quinta do Zé Pinto

Na regulação da qualidade do ar foram analisadas as áreas arborizadas existentes, em comparação com a área prevista após a realização das alterações. Foi considerado que a área total arborizada iria ocupar 70% da área total do novo espaço verde, existindo uma melhoria considerável. Atualmente apenas 4.72% da área total contribui para uma melhor qualidade do ar, correspondendo a 0.3 ha, propondo-se um aumento de 1 483%, para 4.45 ha. A espessura mínima é cumprida, tal como o comprimento, que na zona em questão será de aproximadamente 440m.

Em relação ao sequestro de carbono, houve um claro aumento devido ao aumento da área arborizada implementada, acrescido do facto de as árvores serem novas, o que aumenta a taxa de absorção de carbono (Wu e Li, 2019).

Na nova área verde da Quinta do Zé Pinto, considerou-se que a zona florestal, como referido anteriormente, ocupará cerca de 64% da área total. A área da ribeira somada à área das margens em declive, corresponde a 10% da área total, restando 26% que se consideram como prados. A área ocupada por prados sequestra aproximadamente 2.5 ton de carbono por ano, enquanto a zona arborizada sequestra 25.8 ton, totalizando 28.3 ton por ano. Comparando com as condições sem a proposta, assumindo que a totalidade dos 6.36 ha são compostos por prados, o sequestro de carbono anual sobe de 9.54 ton para 28.3 ton, aumentando quase 300%. A poupança anual relativa ao sequestro de carbono é de aproximadamente 700 €, valor referente ao preço da tonelada de carbono no mercado europeu.

A proposta apresentada contempla uma área arborizada de 4.1 ha, aumentando de 4.72% para 64% a área arborizada em relação à área total, permitindo, após o desenvolvimento das árvores baixar a temperatura local.

A produção alimentar no curso de água foi considerada 0 €, não tendo sido considerado qualquer benefício. Foi considerada uma área de 0.5 ha para a criação de hortas urbanas, medida executada noutras partes da cidade por parte da Câmara Municipal de Lisboa. A valoração da área destinada a hortas urbanas não poderá ser contabilizada *a priori*, variando muito consoante o tipo de culturas e a sua densidade. As restantes áreas, floresta mais a área não arborizada, ou área inculta, têm uma valoração anual de aproximadamente 400 €.

A componente recreativa da área verde foi quantificada em cerca de 450 € anuais, utilizando como referência os valores referidos por Costanza et al. (1997).

A área florestal e a zona da ribeira serão as mais valorizadas, em termos globais. Por outro lado, os aspetos culturais e educativos foram contabilizados em cerca de 1 080€ anuais.

No que toca à formação de solo, foi considerada uma valoração de 66€ anuais, valor este referente praticamente na totalidade à área arborizada. Por outro lado, o controlo da erosão foi quantificado em cerca de 686 € anuais.

Na regulação de desastres naturais, principalmente como atenuador dos efeitos das cheias, a valoração anual será de aproximadamente 4 400 €. Este valor é, no entanto, muito variável, consoante o ano hidrológico. A área utilizada para a sua quantificação foi apenas a da ribeira, à qual se deverá juntar a área destinada a uma eventual bacia de retenção, que deverá ser adicionada no local no projeto de execução.

O abastecimento de água tem pouca importância nesta análise, uma vez que não existem pontos de captação locais. O valor identificado corresponde ao aumento da infiltração, permitindo aumentar as reservas subterrâneas junto à cidade de Lisboa, correspondendo a 19 € anuais.

A manutenção de espécies e habitats obteve os valores mais elevados, 55 332 €/ano. Este valor, como referido anteriormente deve ser utilizado apenas como exemplo, uma vez que corresponde às motivações demonstradas pela população alemã.

A regulação da qualidade da água foi quantificada em cerca de 1 406 € por ano para a nova área verde. Os vários biomas presentes, área arborizada, área inculta e a ribeira, terão papéis igualmente importantes na regulação da qualidade da água.

A produção de materiais primários, como é o caso de fibras e restos de ramagens para a produção de biocombustíveis ou como biomassa para a produção de energia, foi considerada apenas para as zonas arborizadas. O valor considerado foi de aproximadamente 880 € por ano.

#### 4.4.3 Avenida de Ceuta

A qualidade do ar ao longo da Avenida de Ceuta será bastante influenciada com o desvio de tráfego. Este ponto não está, no entanto, considerado nos valores obtidos do trabalho realizado por Costanza et al. (1997), sendo por isso necessário referir a sua importância. Num projeto mais aprofundado será possível obter valores deste benefício, através do possível volume de carros desviado da Avenida de Ceuta para a A2, juntamente com o aumento da procura de transportes públicos devido às melhorias implementadas.

Ao longo do local intervencionado na Avenida de Ceuta é proposta uma largura de 5 m, 2.5 m em cada margem da ribeira, ao longo dos 4.1 km, cumprindo os valores mínimos para a qualidade do ar. A faixa arborizada funcionará como um filtro, reduzindo a poluição no local. O parque proposto junto à estação de comboios de Alcântara-Terra foi também considerado no cálculo da valoração do sequestro de carbono anual, tendo-se chegado a uma poupança anual de 391 €.

Neste troço intervencionado, será novamente a ribeira o principal bioma a atuar como regular de desastres naturais, nomeadamente de cheias. Obteve-se o valor global para o troço e a área verde junto à estação de 23 755 €/ano.

A regulação da temperatura não será tão eficaz como na área verde chamada de Quinta do Zé Pinto, uma vez que não será tão densa e não cumpre o valor mínimo de coberto de 60%. A

solução adotada será de qualquer forma melhor que a situação atual, sendo benéfica a execução do projeto. A valoração em relação à regulação da temperatura é de 553 €/ano.

A qualidade da água é um dos serviços dos ecossistemas mais beneficiados com as medidas de alteração propostas, tendo-se obtido uma valoração de aproximadamente 3 740 €/ano. Este valor é, no entanto, inferior ao real benefício das medidas, uma vez que não está contabilizado o facto de se terem modificado os sistemas de esgotos, passando de um sistema unitário para um sistema separativo. Já o abastecimento de água, que será apenas considerado como a infiltração e recarga dos aquíferos, tem uma valoração de apenas 12 €/ano.

O controlo da erosão foi quantificado em cerca de 376.78 €/ano, deixando de fora o benefício criado com os métodos de contenção e preservação das margens. Por outro lado, a formação de solo foi valorada apenas em 40 €/ano.

A manutenção de espécies e habitats é novamente o serviço onde se tem um maior benefício, permitindo a instalação de diversas espécies aquáticas e espécies de aves nas áreas arborizadas. O ganho anual considerado para os dois biomas é cerca de 50 470 €/ano.

A produção de materiais primários está afeta apenas às zonas arborizadas, de onde se consegue retirar material para a produção de biomassa, obtendo-se um ganho de 540 €/ano. Já a produção de alimentos foi apenas considerada nas áreas arborizadas, resultando num ganho de 170 € anuais.

Os serviços culturais e educacionais foram valorizados em aproximadamente 5 780 €/ano, permitindo não só o usufruto dos espaços verdes, mas funcionando também como meio de sensibilização para os problemas ambientais. Já a componente recreativa teve uma valoração de 1 315 €/ano.

#### 4.4.4 Resultados globais

A tabela 4 apresenta de forma sintética uma análise da situação atual, sem qualquer alteração, em comparação com as medidas propostas, para as várias áreas analisadas. A valoração referente às melhorias de cada serviço dos ecossistemas, é a soma das valorações de cada zona. No quadro em anexo A.2 é apresentada, de forma mais detalhada, uma análise das valorações consideradas.

Tabela 5 - Valorização de cada serviço dos ecossistemas associado aos biomas de cada zona estudada

	Sequestro de carbono	Regulação desastres naturais	Regulação do clima (temperatura)	Regulação da qualidade da água	Controlo erosão	Abastecimento de água	Formação de solo	Habitat	Produção materiais primários	Produção alimentar	Recreativo	Cultural / Educação
	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano	€/ano
<b>Av.Ceuta/Av.Calouste Gulbenkian</b>												
Arborizada	25.74	0.52	36.44	22.49	24.81	0.78	2.58	1 444.20	35.67	-	-	-
Área inculta	2.16	N.D.	N.D.	7.94	2.65	0	0.09	509.82	N.D.	-	-	-
TOTAL	27.90	0.52	36.44	30.42	27.46	0.78	2.68	1 954.02	35.67	-	-	-
<b>Quinta do Zé Pinto</b>												
Arborizada	634.3	12.74	898.16	554.18	611.51	19.11	63.70	35 593.01	879.05	273.91	229.32	12.74
Área inculta	61.4	N.D.	N.D.	225.32	75.11	0	2.59	14 471.15	N.D.	121.36	5.18	N.D.
Ribeira	N.D.	4 383.82	N.D.	626.94	0	N.D.	N.D.	5 267.85	N.D.	0	216.84	1 066.29
TOTAL	695.71	4 396.56	898.16	1 406.44	686.62	19.11	66.29	55 332.00	879.05	395.27	451.33	1 079.03
<b>Av. de Ceuta</b>												
Arborizada	390.82	7.85	553.39	341.45	376.78	11.77	39.25	21 930.26	541.62	168.76	141.29	7.85
Área inculta	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.
Ribeira	N.D.	23 747.20	N.D.	3 396.13	0.00	N.D.	N.D.	28 536.00	N.D.	0.00	1 174.60	5 776.08
TOTAL	390.82	23 755.05	553.39	3 737.58	376.78	11.77	39.25	50 466.26	541.62	168.76	1 315.89	5 783.93
TOTAL GLOBAL	1 114.4	28 152.1	1 488.0	5 174.4	1 090.9	31.7	108.2	107 752.3	1 456.3	564.0	1 767.2	6 863.0

Tabela 6 – Valoração dos serviços dos ecossistemas das três áreas estudadas

Serviços dos ecossistemas		Situação inicial	Situação com as propostas	Valoração anual (€)
Serviços de provisionamento	Abastecimento de água	Residual	Aumento da infiltração, recarga de aquíferos, aumento da quantidade de água reciclada (ETAR) utilizada	31.7
	Alimentos	Não existente	Horta urbana, valorização das zonas arborizadas	564.0
	Produção de materiais primários	Insignificante/Não existente	Produção de biomassa/fibras nas zonas arborizadas	1 456.3
Serviços reguladores e de suporte	Regulação da qualidade do ar e sequestro de carbono	Insignificante/Não existente	Áreas arborizadas, melhorias da qualidade do ar, maior sequestro de carbono	1 114.4
	Regulação do clima	Insignificante/Não existente	Redução da temperatura local	1 488.0
	Regulação da qualidade da água	Não existente	Eliminação dos sistemas unitários, aumentando a eficiência do tratamento dos efluentes domésticos, aumento da filtração da água	5 174.4
	Regulação de desastres naturais	Caneiro - rápido escoamento de grandes volumes de água	Criação de zonas de amortecimento de cheias, aumento da área de infiltração com a redução do escoamento superficial	28 152.1
	Prevenção da erosão	Insignificante/Não existente	Aumento da área arborizada com a consequente redução do escoamento superficial	1 090.9
	Formação de solo	Insignificante/Não existente	Aumento devido às áreas arborizadas	108.2
Serviços culturais/sociais	Herança cultural, educação, valor estético	Não existente	Promoção de técnicas de renaturalização e valorização dos recursos ecológicos, promover as boas práticas ambientais	6 863.0
	Turismo e recreação	Não existente	Criação de zonas recreativas	1 767.2
	Manutenção de populações e habitats	Insignificante/Não existente	Reinstalação de espécies e habitats	107 752.3



## 5. Discussão de resultados

Os serviços dos ecossistemas são ferramentas muito úteis no processo de valorização de projetos de Engenharia Civil. Este método de quantificação dos benefícios inerentes aos projetos é ainda muito pouco abordado no âmbito da Engenharia Civil, levando, por exemplo, a que projetos de renaturalização ou reabilitação de ambientes muito degradados, não sejam corretamente valorizados.

A análise aos serviços dos ecossistemas, e uma posterior valoração económica, são muito importantes no processo de divulgação dos projetos. Daqui resulta, não só, a possibilidade de existir um maior financiamento, permitindo que este tipo de projetos tenha um maior espectro de aplicação, mas também uma maior aceitação por parte da população. Divulgar os ganhos inerentes às alterações, relativamente a cada serviço dos ecossistemas, fará com que a população veja os projetos como um investimento e não como um encargo.

Este método é ainda difícil de desenvolver na sua totalidade, uma vez que os benefícios dos serviços de ecossistemas intangíveis são de muito difícil quantificação. A manutenção de espécies e habitats, os serviços recreativos, a formação de solo num ambiente natural, ou os serviços culturais e educativos exigem esforços extra na sua quantificação. Outra dificuldade associada aos benefícios está relacionada com a generalização dos valores associados a cada serviço, variando bastante de local para local. As regiões mais alteradas do ponto de vista natural, serão aquelas onde são esperados os maiores benefícios associados a cada serviço, especialmente do ponto de vista ambiental.

Os serviços culturais e educativos, e os serviços recreativos terão valores bastante diferentes de projeto para projeto, variando consoante a importância dada pela população aos benefícios associados a estes serviços. Como referido anteriormente, certas regiões dão um maior valor aos aspetos ambientais, e outras dão maior importância aos aspetos culturais.

Os restantes serviços dos ecossistemas variam bastante consoante os fatores climáticos da região onde se realizam as intervenções. Serviços dos ecossistemas com benefícios tangíveis, de mais fácil quantificação, terão de ser adaptados às condições de cada local, como é o caso do abastecimento de água, da regulação da temperatura ou, por exemplo, do sequestro de carbono.

Os serviços dos ecossistemas têm, assim, que ser adaptados a cada caso concreto, com especial foco nos métodos de análise direta com a população, por exemplo com o método WTP, definindo valores para os benefícios intangíveis. Os restantes serviços, com benefícios tangíveis, têm de adaptar os valores de referência a cada situação, permitindo, deste modo, valorizações mais próximas do valor real.

Uma das soluções inicialmente consideradas para a Avenida de Ceuta, passava por desnivelar as duas vias mais próximas do separador central, servindo de leito de cheia da ribeira que acabaria por galgar as suas margens durante eventos de cheias. Esta solução foi rapidamente descartada devido às dificuldades de implementação da medida, necessitando de uma largura

da faixa de rodagem substancialmente superior. Desnívelar as duas vias criava vários problemas de segurança, uma vez que os carros passariam a circular mais perto uns dos outros, devido à redução da largura das vias de rodagem, e junto a um desnível na vertical, criando-se várias situações potencialmente prejudiciais à segurança rodoviária. Do ponto de vista ambiental esta solução não seria tão ambiciosa como a solução proposta, uma vez que a área, em planta, seria bastante mais reduzida, não permitindo aumentar a área de infiltração ou a instalação de uma maior quantidade de vegetação.

A solução adotada para o desvio de tráfego da avenida para a A2 poderá causar um ligeiro aumento do trânsito na zona de Alcântara, sendo essencial o aumento da oferta ao nível dos transportes públicos. As medidas enunciadas contemplaram apenas o sistema viário da Avenida de Ceuta, o que não é suficiente para descongestionar o acesso à ponte. Do ponto de vista económico não foram realizadas avaliações à proposta realizada, devendo, no entanto, ser realizada uma avaliação antes de serem tomadas medidas definitivas.

A ponte 25 de Abril continua a ser a ponte da cidade de Lisboa por onde circulam mais carros diariamente, segundo o IMT, o TMDA da ponte 25 de Abril em 2017 foi de 144 930, ao contrário da ponte Vasco da Gama com 62 435 carros. Reduzir o volume de carros que circulam diariamente na ponte 25 de Abril permitirá descongestionar não só a zona de Alcântara, como a cidade de Lisboa no geral. A redução só será assegurada caso haja uma forte aposta nos transportes públicos dentro e fora da cidade de Lisboa. O início do acesso, em Alcântara, necessitará também de obras, passando este a ser o eixo principal, ao invés da Avenida de Ceuta, como acontece atualmente.

O tipo de soluções a adotar poderá encontrar alguma resistência e discórdia por parte da população, argumentando que irá prejudicar o tráfego automóvel na cidade. No entanto, melhorias desta natureza, e outras com menores benefícios ambientais, foram já postas em prática na cidade de Lisboa, tendo surgido um enorme coro de críticas à sua execução. As críticas focaram-se principalmente nos prejuízos à circulação rodoviária e à redução dos lugares de estacionamento, deixando de fora qualquer referência aos benefícios ambientais e aos benefícios sociais diretos para a população local. As soluções adotadas no passado, podem não ter sido ambiciosas o suficiente, mas beneficiaram, no geral, a população lisboeta. Os serviços dos ecossistemas têm aqui um importante papel, divulgando a valoração das medidas propostas.

Outra crítica apresentada com bastante frequência, é a enorme falta de soluções adicionais ao nível dos transportes públicos. Antes da execução de qualquer medida de alteração morfológica, deve ser melhorada a oferta de transportes públicos, permitindo uma adaptação dos moradores à nova realidade ao nível da mobilidade na cidade, incentivando desse modo a sua utilização. As medidas referidas passam por um aumento da oferta de autocarros e de novas linhas de elétrico, utilizando a Avenida de Ceuta para tal. A oferta a implementar deve cobrir as várias zonas afetadas, devendo ter uma visão ampla do futuro, apostando em transportes de futuro, como é o caso dos elétricos, mas também apostando em infraestruturas capazes de suportar o natural aumento dos utilizadores no futuro, evitando a estagnação.

As geometrias consideradas para os troços da ribeira intervencionados deverão ser aperfeiçoadas com estudos profundos sobre as características locais, como a profundidade do caneiro e a espessura das diversas camadas por cima deste, bem como as características hidrológicas locais. Os modelos da geometria apresentados no ponto 4 foram utilizados apenas como indicadores das medidas propostas, permitindo assim a verificação da sua aplicabilidade. As geometrias para os dois troços da ribeira renaturalizados devem ser moldadas considerando os custos associados às movimentações de terras e da construção das novas condutas para a rede de esgotos.

Do ponto de vista do projeto de execução, deverão ser considerados diversos fatores que influenciarão a ribeira, como a separação dos caudais em toda a rede, as bacias de retenção propostas, bem como os projetos que estão atualmente em curso, não só ao nível das bacias de retenção, mas também os novos sistemas de drenagem da cidade de Lisboa. Com a redução do escoamento base, e com uma redução do pico de cheia, obtidos a partir dos benefícios extraídos das bacias de retenção e do aumento da infiltração a montante, é de esperar uma redução da área da geometria no projeto de execução. A nova geometria, poderá considerar o leito mais elevado e declives das margens inferiores, mantendo do mesmo modo as condições de escoamento, mas permitindo a instalação de medidas de contenção das margens mais ligeiras, como é o caso das faxinas.

A utilização de métodos de contenção mais ligeiros permitirá uma redução dos custos associados ao projeto, sem prejudicar a valoração definida para as intervenções.

Por outro lado, caso se conclua, após a realização dos estudos mais aprofundados, de que seria necessário aumentar as inclinações das margens, por exemplo para 40-50°, a solução dos muros vivos teria que ser analisada, podendo ser necessário a sua substituição por enrocamentos vivos. Este método permite aumentar a resistência estrutural e de sustentação das margens, levando, no entanto, a um menor número de plantas instaladas, reduzindo a biodiversidade na ribeira.

A reintrodução da ribeira e a reabilitação dos habitats ripícolas no vale provocarão uma redução da temperatura local, criando condições para um menor uso de energia no arrefecimento das habitações. A redução da temperatura só se fará sentir algum tempo depois da plantação das árvores. Quanto maior a área folhada, maior será o efeito de redução da temperatura, o que só se conseguirá obter com indivíduos de maior porte. Quantificar o crescimento das árvores é bastante complicado, variando consoante a espécie e com as condições locais, devido à quantidade de nutrientes, de água e de luz disponíveis.

Devido às alterações propostas ao tráfego automóvel na Avenida de Ceuta, e conseqüente redução do número de automóveis a circular, a qualidade do ar melhora substancialmente. Juntamente com as melhorias da ribeira, toda a envolvente do vale seria intervencionada, removendo zonas desnecessariamente impermeabilizadas e criando mais espaços verdes, como nas imediações da Rua Quinta do Loureiro, demonstrando um papel bastante importante na melhoria da qualidade de vida no vale de Alcântara. Estas intervenções criam um valor acrescido para o vale ao nível do imobiliário, não tendo sido, no entanto, calculado. A quantificação do valor

será bastante complexa, entrando com diferentes benefícios intangíveis de difícil quantificação. Será necessário utilizar os métodos de quantificação WTP e WTA, inquirindo à população sobre as alterações a realizar nesta área.

A grande limitação à execução das propostas apresentadas ao longo deste trabalho, prende-se exatamente com a primeira medida de intervenção referida, a substituição dos sistemas de recolha de esgotos unitários por sistemas separativos. Devido à enorme quantidade de sistemas unitários ainda existentes, 55% na cidade de Lisboa, o custo associado levaria a diversas críticas, prejudicando a execução das restantes propostas. Outro fator prejudicial é o tempo necessário à substituição dos sistemas unitário, atrasando bastante as obras, e que resulta num enorme valor perdido por cada ano de atraso. No caso referido anteriormente referente a Singapura, o atraso de 10 anos na execução das medidas de reabilitação resultaram num custo 10 vezes superior ao inicialmente estimado.

As propostas consideradas têm bastantes limitações uma vez que são propostas em meio urbano. Estas mesmas propostas são para memória da antiga ribeira, remetendo para memórias passadas, e não para uma renaturalização integral. As várias alterações estudadas forma utilizadas como base de quantificação e não como uma renaturalização integral, devendo trabalhos futuros focarem-se nessa problemática.

## 6. Conclusões

Ao longo deste trabalho foram estudados diversos casos de renaturalizações e reabilitações de cursos de água um pouco por todo o mundo. Os benefícios obtidos de projetos desta natureza são ambientais, sociais e económicos. Dentro destes, os benefícios ambientais são aqueles onde é possível obter o maior ganho após uma intervenção de renaturalização. Foram também identificados os diversos condicionantes à implementação de medidas de renaturalização: físicas, climáticas, culturais, políticas e legais. Naturalmente, a importância de cada um destes fatores depende da localização das intervenções.

Dentro dos vários serviços dos ecossistemas, aqueles que se identificam como tendo maior importância para os cursos de água foram: o abastecimento de água; a produção de alimentos; a produção de materiais primários; a regulação da qualidade do ar e sequestro de carbono; a regulação do clima; a regulação da qualidade da água; a regulação de desastres naturais; a prevenção da erosão; a formação de solo; a herança cultural, a educação e o valor estético; o turismo e recreação; e a manutenção de populações e de habitats.

A análise efetuada permitiu também definir as principais áreas de atuação que ajudarão a mitigar a grande maioria dos problemas ambientais associados aos cursos de água. Esta análise foi feita com base em diversos casos de estudo, de várias partes do mundo, compilando os possíveis problemas encontrados e as respetivas formas de mitigação. As principais áreas de atuação serão ao nível do controlo dos leitos de cursos de água, da erosão, da velocidade do escoamento e infiltração, da qualidade da água, das dragagens e das alterações profundas da envolvente dos cursos de água.

Como forma de controlar e evitar a destruição das margens renaturalizadas, foram identificados diversos métodos de proteção e contenção das margens. Dentro do extenso grupo de métodos identificados sublinham-se aqueles com maior importância para cursos de água urbanos: muros de gabiões incorporando medidas vegetativas; enrocamento vivo, contento espécies vegetais intercaladas com as pedras do enrocamento; muros vivos ou *cribwall*; e por fim a utilização de faxinas. Os métodos de engenharia natural identificados, embora não sejam os que apresentem o menor custo associado, são aqueles que melhor se adaptam às características dos centros urbanos. As linhas de água urbanas estão, em muitos casos, limitadas em termos de espaço, resultando em margens com maiores declives, motivo pelo qual os métodos de contenção e proteção enunciados são aqueles que mais se adequam.

Após a análise anterior, os conhecimentos obtidos foram aplicados ao vale de Alcântara, local da cidade de Lisboa extremamente adulterado. Foram identificadas três zonas, Avenida de Ceuta, cruzamento entre a Avenida de Ceuta e a Avenida Calouste Gulbenkian, e a Quinta do Zé Pinto, que reuniam as condições necessárias para aplicar medidas de renaturalização. No entanto, de modo a realizar as alterações propostas, devem ser realizadas obras na rede de esgotos da cidade, substituindo os sistemas de esgotos unitários por sistemas separativos.

Para o cruzamento entre a Avenida de Ceuta e a Avenida Calouste Gulbenkian foi proposta uma bacia de retenção e melhorias ao nível da vegetação. Na Avenida de Ceuta, é proposta a renaturalização da ribeira de Alcântara, propondo-se uma nova geometria para a secção da ribeira, e a utilização de métodos de proteção das margens utilizando enrocamento vivo e muros vivos. Na Quinta do Zé Pinto, é proposta uma geometria e métodos de proteção semelhantes à Avenida de Ceuta, juntamente com a criação de um parque urbano com uma grande parcela arborizada.

Juntamente com as propostas de alteração enunciadas, são propostas medidas de mitigação, como o aumento da oferta de transportes públicos, com a criação de novas linhas de elétricos e de autocarros, e a abertura de uma nova estação de comboios no Alvito. Ao nível do tráfego rodoviário, propõem-se a criação de novos acessos à A2, desviando parte do tráfego da Avenida de Ceuta para a A2.

Após a realização deste trabalho foi possível identificar os principais entraves a projetos desta natureza, com especial foco em projetos realizados em ambiente urbano. Utilizando o método dos serviços dos ecossistemas será mais fácil identificar as zonas onde devem ser realizadas intervenções, considerando os benefícios obtidos com essas ações. Dentro das zonas a renaturalizar, as principais áreas de intervenção deverão seguir as áreas de atuação identificadas neste trabalho.

Estudos futuros desenvolvidos na área das renaturalizações, dever-se-ão focar na valoração dos benefícios intangíveis extraídos dos diversos serviços dos ecossistemas. Partindo de uma matriz de avaliação mais completa, a valoração das intervenções nos cursos de água passaria a ser mais próxima da realidade, levando a uma maior aceitação por parte da população após a divulgação dos projetos.

Outro ponto importante que deve ser incluído nos projetos de renaturalização de cursos de água, é um balanço entre medidas ambientais e sociais, evitando favorecer uma em detrimento da outra. É muito importante que sejam tomadas medidas benéficas nestes dois sectores, levando a que, no futuro, as populações se sintam mais ligadas aos cursos de água e se promovam comportamentos mais sustentáveis. É aqui que entram os serviços culturais e educacionais, criando um valor adicional a projetos futuros.

Os serviços dos ecossistemas mais valorados, tendo em consideração os valores identificados, são os serviços de regulação de desastres naturais, estando a regulação da qualidade da água e a herança cultural e educação praticamente equiparados em termos de valoração.

## Referências Bibliográficas

- Albuquerque, L. C. de S. (2014). *Estudo da paisagem do vale de Alcântara* (Universidade de Évora). Retrieved from <http://rdpc.uevora.pt/handle/10174/12109>
- Alcamo, J., Ash, N. J., Butler, C. D., Callicott, J. B., Capistrano, D., Carpenter, S. R., ... Hamilton, K. (2003). Ecosistemas e o bem-estar humano: Estrutura para uma avaliação. In *Avaliação do Milênio dos Ecossistemas*.
- APA (2017). Relatório síntese estudo de impacte ambiental dos túneis do Plano Geral de Drenagem de Lisboa Monsanto – Santa Apolónia e Chelas – Beato. Retrieved from [http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2961/1\\_rs\\_eia\\_tuneispgdI2017522173629.pdf](http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2961/1_rs_eia_tuneispgdI2017522173629.pdf)
- Associação latino-americana do Tórax. (2017). Fórum internacional de sociedades respiratórias. O impacto global da doença respiratória. In *European Respiratory Society* (Segunda). Retrieved from [https://www.who.int/gard/publications/The\\_Global\\_Impact\\_of\\_Respiratory\\_Disease\\_POR.pdf](https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_POR.pdf)
- Barros, R. (2019). História do saneamento básico e tratamento de água e esgoto. Retrieved March 28, 2019, from EOS consultores website: <https://www.eosconsultores.com.br/historia-saneamento-basico-e-tratamento-de-agua-e-esgoto/>
- Bellver-Domingo, A., Hernández-Sancho, F., & Molinos-Senante, M. (2016). A review of Payment for Ecosystem Services for the economic internalization of environmental externalities: A water perspective. *Geoforum*, 70, 115–118. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.02.018>
- Benepe, A. (2015). Daylighting and restoring urban streams, ponds and wetlands can provide huge ecological and social benefits. Are such restorations “worth it”? What are the pitfalls? How can we demonstrate these benefits and elevate them in the public discourse so that ur. Retrieved June 14, 2019, from [thenatureofcities.com](http://thenatureofcities.com) website: <https://www.thenatureofcities.com/2015/03/17/daylighting-and-restoring-urban-streams-ponds-and-wetlands-can-provide-huge-ecological-and-social-benefits-are-such-restorations-worth-it-what-are-the-pitfalls-how-can-we-demonstrate-these-ben/>
- Binder, W., Göttle, A., & Shuhuai, D. (2015). Ecological restoration of small water courses, experiences from Germany and from projects in Beijing. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.04.004>
- Branco, T. F. (2011). *Arquitecturas do habitar colectivo. Flexibilidade, transformabilidade e adaptabilidade no Bairro de Alvalade*. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Brantley, E., & Jennings, G. (2016). *Innovations in urban stream restoration*. 54. Retrieved from <https://files.nc.gov/ncdeq/Water Resources/files/grants/Innovations-in-Urban-Stream-Restoration.pdf>

- Brito, J. M. B. De. (2012). *Caracterização da flutuação do tráfego na cidade de Lisboa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Brown, B. (2017). Residential Water Use Trends and Implications for Conservation Policy. In *lao.ca.gov*. Retrieved from <https://lao.ca.gov/Publications/Report/3611>
- Calmeiro, L., & Matos, M. G. de. (2004). *Psicologia: exercício e saúde* (Visão e Contextos, Ed.).
- Catarino, J. (2014). *Revisão do plano de pormenor da zona envolvente ao mercado de Benfica*. Lisboa.
- Chadwick, E. (1842). Poor law commissioners on an inquiry into the sanitary conditions of the labouring population of Great Britain London. Retrieved May 10, 2019, from The Victorian Web website: <http://www.victorianweb.org/history/chadwick2.html>
- Chen, J. (2019). Industrial Revolution Definition. Retrieved June 27, 2019, from investopedia.com website: <https://www.investopedia.com/terms/i/industrial-revolution.asp>
- Chen, W. Y. (2017). Environmental externalities of urban river pollution and restoration: A hedonic analysis in Guangzhou (China). *Landscape and Urban Planning*, 157, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.010>
- cm-Lisboa. (n.d.-a). Caneiro de Alcântara. Retrieved September 17, 2019, from Sítio da Câmara Municipal de Lisboa website: <http://www.cm-lisboa.pt/exposicao-agua-vai/caneiro-de-alcantara>
- cm-Lisboa. (n.d.-b). Sistema de saneamento Atual. Retrieved September 17, 2019, from Sítio da Câmara Municipal de Lisboa website: <http://www.cm-lisboa.pt/exposicao-agua-vai/sistema-de-saneamento-atual>
- cm-Lisboa. (2019). A nova Praça de Espanha. Retrieved September 10, 2019, from Sítio da Câmara Municipal de Lisboa website: <http://www.cm-lisboa.pt/noticias/detalhe/article/a-nova-praca-de-espanha>
- Conselho Nacional da Água. (n.d.). Água no planeta terra. Retrieved May 8, 2019, from conselhonacionaldaagua.weebly.com website: <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>
- Costa, A. C. M. da. (2010). *Águas pluviais em meio urbano contribuição de Lisboa para o seu uso sustentável*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Costanza, R., Arge, R., Groot, R. De, Farber, S., Hannon, B., Limburg, K., ... Groot, D. (1997). The value of the world ' s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260.
- Cruz, C. S., & Fernandes, J. P. (2011). *Limpeza e gestão de linhas de água pequeno guia prático* (E.-E. P. das Á. Livres, Ed.).
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., ... de Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion*



- in *Environmental Sustainability*, 14, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>
- Everard, M., & Moggridge, H. L. (2011). Rediscovering the value of urban rivers. *Urban Ecosystems*, 15(2), 293–314. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0174-7>
- Fernandes, J. P. (2018). *Linhas de água - gestão, manutenção e limpeza*. 97. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10174/24153>
- Ferreira, D. (n.d.). Biomimetismo: copiando a natureza. Retrieved June 14, 2019, from pme.pt website: <https://pme.pt/biomimetismo-copiando-a-natureza/>
- FEUP, & ARHcentro. (2013). *Estudo Estratégico para intervenções de reabilitação na rede hidrográfica na ARH do centro* (p. 187). p. 187. Retrieved from [https://apambiente.pt/\\_zdata/Divulgacao/Projectos/agua/EstudoEstrategico/GuiaIntervencaoLinhasAguaARHC.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Projectos/agua/EstudoEstrategico/GuiaIntervencaoLinhasAguaARHC.pdf)
- Filho, K. Z., Martins, J. R. S., Porto, M. F. do A., Porto, R. L. L., Alarcon, D., Ito, D. K., ... Palfi, G. (2009). *Água em ambientes urbanos – renaturalização de rios em ambientes urbanos*. 15.
- Filipe, J. (2009, February). Cidades fluviais enfrentam novos desafios ecológicos. *Jornal Arquitecturas*, pp. 4–6. Retrieved from [http://www.civil.ist.utl.pt/Web-RiProCiTy/files/04-08\\_Destaque\\_Arquitecturas.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/Web-RiProCiTy/files/04-08_Destaque_Arquitecturas.pdf)
- Frazão, M. F. R. e A. (2011). *Calibração e validação de um modelo matemático aplicado ao caneiro de Alcântara*. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa.
- Gill, S., Handley, J., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Grizzetti, B., Lazanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*, 61, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- Haase, D., Haase, A., & Rink, D. (2014). Conceptualizing the nexus between urban shrinkage and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 132, 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.003>
- Hattam, J. (2012). Urban River Restoration Transforms Singapore Park. Retrieved June 14, 2019, from TreeHugger website: <https://www.treehugger.com/urban-design/bishan-park-kallang-river-restoration-singapore.html>
- Hua, J., & Chen, W. Y. (2018). Prioritizing urban rivers' ecosystem services: An importance-performance analysis. *Cities*, 94(August 2018), 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.05.014>
- Instituto Nacional de Estatística. (1964). *X recenseamento geral da população*. Retrieved from

- [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=censos\\_historia\\_pt\\_1960](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=censos_historia_pt_1960)
- Island Press. (n.d.). Case study: Cheonggyecheon; Seoul, Korea. Retrieved September 9, 2019, from Global Designing Cities Initiative website:  
<https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide/streets/special-conditions/elevated-structure-removal/case-study-cheonggyecheon-seoul-korea/>
- Joshi, Y. K., Tortajada, C., & Biswas, A. K. (2012). Cleaning of the Singapore River and Kallang Basin in Singapore: Economic, Social, and Environmental Dimensions. *International Journal of Water Resources Development*, 28(4), 647–658.  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2012.669034>
- Leboeuf, Y., Fernandes, Z., Guimarães, J., Simões, J., Ribeiro, P., Ferreira, F., ... Matos, J. S. (2015). Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030. *Revista Recursos Hídricos*, 38(1), 296. <https://doi.org/10.5894/rh38n1-d3>
- Lee, J., Park, B. J., Tsunetsugu, Y., Kagawa, T., & Miyazaki, Y. (2009). Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(3), 227–234.  
<https://doi.org/10.1080/02827580902903341>
- Levin-Keitel, M. (2014). Managing urban riverscapes: towards a cultural perspective of land and water governance. *Water International*, 39(6), 842–857.  
<https://doi.org/10.1080/02508060.2014.957797>
- Loboda, C. R., & Angelis, B. L. D. De. (2005). Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. *Ambiência*, 1(1), 125–139.
- López-Mosquera, N., & Sánchez, M. (2011). Emotional and satisfaction benefits to visitors as explanatory factors in the monetary valuation of environmental goods. An application to periurban green spaces. *Land Use Policy*, 28(1), 151–166.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.05.008>
- Lovell, K. (2015). Daylighting and restoring urban streams, ponds and wetlands can provide huge ecological and social benefits. Are such restorations “worth it”? What are the pitfalls? How can we demonstrate these benefits and elevate them in the public discourse so that ur. *The Nature of Cities*. Retrieved from  
<https://www.thenatureofcities.com/2015/03/17/daylighting-and-restoring-urban-streams-ponds-and-wetlands-can-provide-huge-ecological-and-social-benefits-are-such-restorations-worth-it-what-are-the-pitfalls-how-can-we-demonstrate-these-ben/>
- Luís Garriapa. (2013). Regresso ao Casal Ventoso. In *SIC Notícias*. Retrieved from  
[https://sicnoticias.pt/programas/perdidos\\_eachados/2013-03-20-regresso-ao-casal-ventoso](https://sicnoticias.pt/programas/perdidos_eachados/2013-03-20-regresso-ao-casal-ventoso)
- Mangi, B. (2012). Assessment of the changes of ecosystem services as a result of the tide management in the River Elbe (Faculty of Agriculture and Nutritional Sciences, Kiel University). Retrieved from <http://www.agric-econ.uni->

- Marques, B. R. de A. P. (2009). *O vale de Alcântara como caso de estudo*. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Marques, B. R. de A. P. (2015). A Avenida de Ceuta : de limite a caminho para o crescimento de Lisboa The Ceuta´s Avenue : from limit to path for the growth of Lisbon. *Cadernos Do Arquivo Municipal*, 4, 219–237.
- Martins, N. M. C. (2010). *Abastecimento de água e saneamento de águas residuais*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Melo, M. A. (2008). O desenvolvimento industrial e o impacto no meio ambiente. Retrieved May 8, 2019, from boletimjuridico.com.br website:  
<https://www.boletimjuridico.com.br/doutrina/artigo/2459/o-desenvolvimento-industrial-impacto-meio-ambiente>
- Mendes, A., Costa, S., Ferreira, J., Leitão, J., Torres, P., Silveira, C., ... Teixeira, J. P. (2017). Impactos da poluição atmosférica na Saúde: perspetivas do projeto FUTURAR. *Observações Boletim Epidemiológico*, 6, 46–50. Retrieved from <http://repositorio.insa.pt/handle/10400.18/4768>
- Miller, J. N., Pansic, N., & Malec, S. (2012). *Stream restoration in the urban environment* (Matthew Van Eps, Ed.). [https://doi.org/10.1061/40581\(2001\)86](https://doi.org/10.1061/40581(2001)86)
- Moreira, I., Saraiva, M. de G., & Correia, F. N. (2004). *Gestão ambiental dos sistemas fluviais: aplicação a bacia hidrográfica do rio Sado*. Retrieved from <http://bibliografia.bnportugal.pt/bnp/bnp.exe/registo?1368886>
- Müller, B. W. (2017). *The secret of water as a basis for the new Earth* (p. 16). p. 16. Retrieved from [https://www.tamera.org/wp-content/uploads/secret\\_brochure\\_A4\\_1.2.pdf](https://www.tamera.org/wp-content/uploads/secret_brochure_A4_1.2.pdf)
- Neves, J. T. (2017). *Caracterização e avaliação do desempenho de tecnologias de controlo de caudais - Aplicação a casos de estudo*. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Nicolet, C., Ilbert, R., & Depaule, J.-C. (1996). *Mégapoles méditerranéennes géographie urbaine rétrospective* (C. Nicolet, R. Ilbert, J.-C. Depaule, & École française de Rome, Eds.). Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=CkAFAQAIAAJ&hl=pt-PT>
- Parlamento Europeu. *Directiva 2000/60/Ce do Parlamento Europeu e do conselho*. , 3912 § (2014).
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., ... Zipperer, W. C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: Ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27–36. <https://doi.org/10.1890/090220>

- Pereira, A. H. (2001). *Requalificação e limpeza de linhas de água*. Lisboa: Instituto da Água, Direcção de Serviços de Utilização do Domínio Hídrico, Divisão de Estudos e Avaliação.
- Pereira, J., Mateus, J., Aires, L., Pita, G., Pio, C., David, J., ... Rodrigues, A. (2007). Net ecosystem carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems - The effect of drought. *Biogeosciences*, 4(5), 791–802. <https://doi.org/10.5194/bg-4-791-2007>
- PORDATA. (2015). Saldo migratório interno segundo os Censos. Retrieved June 14, 2019, from pordata.pt website:  
<https://www.pordata.pt/Municipios/Saldo+migratório+interno+segundo+os+Censos-556>
- PORDATA. (2018). Produção bruta de energia eléctrica: total e por tipo de produção de energia eléctrica. Retrieved June 28, 2019, from pordata.pt website:  
<https://www.pordata.pt/Portugal/Produção+bruta+de+energia+eléctrica+total+e+por+tipo+de+produção+de+energia+eléctrica-1126>
- PORDATA. (2019). Abastecimento de água: água captada, água tratada e água distribuída/consumida - Continente. Retrieved July 1, 2019, from pordata.pt website:  
<https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2019). Urbanization. *Our World in Data*. Retrieved from <https://ourworldindata.org/urbanization>
- Ryder, G. (2017). *Wastewater: the untapped resource*. Retrieved from UNESCO website:  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153>
- Salgueiro, T. B. (2012). Bairros clandestinos na periferia de Lisboa. *Finisterra*, 12(23).  
<https://doi.org/10.18055/Finis2281>
- Sandercock, L., & Dovey, K. (2002). Pleasure, politics, and the “public interest”: Melbourne’s riverscape revitalization. *Journal of the American Planning Association*, 68(2), 151–164.  
<https://doi.org/10.1080/01944360208976262>
- Schirmer, M., Luster, J., Linde, N., Perona, P., Mitchell, E. A. D., Barry, D. A., ... Durisch-Kaiser, E. (2014). Morphological, hydrological, biogeochemical and ecological changes and challenges in river restoration the Thur River case study. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(6), 2449–2462. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2449-2014>
- Shafaghat, A., Mir Ghasemi, M., Keyvanfar, A., Lamit, H., & Ferwati, M. S. (2017). Sustainable riverscape preservation strategy framework using goal-oriented method: Case of historical heritage cities in Malaysia. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 143–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.03.003>
- Silva, A. V. da. (1968). *Dispersos de Augusto Vieira da Silva*. Lisboa: Biblioteca de Estudos Olisiponenses.
- Silva, P. J. da, & Pires, M. A. F. (2007). Renaturalização de rios, em áreas de trechos, urbanos com a aplicação de técnicas de bioengenharia em obras de Engenharia Hidráulica. In *XVII*

*Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo.

Small, N., Munday, M., & Durance, I. (2017). The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change*, 44, 57–67.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.005>

Soon, T. Y., Jean, L. T., & Tan, K. (2009). *Clean, green and blue: Singapore's journey towards environmental and water sustainability*. Retrieved from

<https://bookshop.iseas.edu.sg/publication/660>

Tortajada, C. (2012). Clean-up of the Singapore river: before and after. Retrieved June 14, 2019, from lkyspp.nus.edu.sg website: <https://lkyspp.nus.edu.sg/gia/article/clean-up-of-the-singapore-river-before-and-after>

Vale, M. J. (2014). *Uso e ocupação do solo em Portugal continental: Avaliação e Cenário Futuros. Projeto LANDYN*. Retrieved from Direção-Geral do Território (DGT) website: [http://www.dgterritorio.pt/static/repository/2015-01/2015-01-29115800\\_54ab20bb-0b19-4b78-b3b7-038c54e07421\\$\\$466c622b-84e8-4957-b11e-25b916c851fb\\$\\$a483d82f-a1de-40d3-916e-ce72268e2cc3\\$\\$file\\$\\$pt\\$\\$1.pdf](http://www.dgterritorio.pt/static/repository/2015-01/2015-01-29115800_54ab20bb-0b19-4b78-b3b7-038c54e07421$$466c622b-84e8-4957-b11e-25b916c851fb$$a483d82f-a1de-40d3-916e-ce72268e2cc3$$file$$pt$$1.pdf)

Viegas, I. M., & Dias, L. C. (1997). *Lisboa e o aqueduto*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.

Wu, S., & Li, S. (2019). Ecosystem service relationships: Formation and recommended approaches from a systematic review. *Ecological Indicators*, 99(5), 1–11.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.068>

Zhao, J., Liu, Q., Lin, L., Lv, H., & Wang, Y. (2013). Assessing the comprehensive restoration of an urban river: An integrated application of contingent valuation in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 458–460, 517–526.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.042>

Zingraff-Hamed, A., Greulich, S., Wantzen, K., & Pauleit, S. (2017). Societal drivers of european water governance: a comparison of urban river restoration practices in France and Germany. *Water*, 9(3), 206. <https://doi.org/10.3390/w9030206>



## Anexos

A.1. – Lista de indicadores da análise biofísica dos serviços dos ecossistemas retirados na integrada do artigo de Grizzetti et al. (2016) (fonte: (Grizzetti et al., 2016))

<b>Ecosystem services</b>	<b>Natural capacity</b>	<b>Service flow</b>	<b>Social benefit</b>
<b>Fisheries and aquaculture</b>	Status of fish population (species composition, age structure, biomass) Abundance of fish] Relative fish abundance based on catch per unit effort (CPUE) Condition of fish stocks Food web structure and robustness Number of wild species used for human food	Fish catch Aquaculture production Sea food productivity Wild vegetation used in gastronomy Fish production from sustainable sources (e.g. proportion of fish stocks caught within safe biological limits, certified/viable fisheries...)	Number of fishermen Employment in fishing, mariculture and related sectors Fish products as a percent of total animal protein in people's diet Value of fish and sea food landings, or value of aquaculture sales Marginal value of a change in fisheries management
<b>Water for drinking</b>	Surface water availability Total freshwater resources Nitrate-vulnerable zones River salinity Renewable water supply accessible to humans Water storage capacity	Water consumption for drinking Water abstracted Water exploitation index Consumptive water use by end user	Proportion of population using an improved drinking water source Proportion of cities obtaining water supplies from protected areas Water-stressed population Total water requirements
<b>Raw (biotic) materials</b>	Land cover (Wood) biomass production over stem diameter classes	Wild vegetation used in cosmetic or pharmaceutical uses Surface of exploited wet forests (e.g. poplars), coastal forests (e.g. mangroves) and reeds cutting Timber produced by riparian forest Timber from sustainable managed forests	Value of pharmaceutical products developed in natural systems or from marine organisms Investment into natural products prospecting Value of (wet or coastal) timber forest products Net value added of raw materials: seaweed, fishmeal, fish oil, ornamental

Ecosystem services	Natural capacity	Service flow	Social benefit
		<p>Organisms from which drugs have been derived</p> <p>Number of species that have been the subject of major investment or have become a commercial product</p>	
<b>Water for non-drinking purposes</b>	<p>Surface water availability</p> <p>Ground water availability</p> <p>Total freshwater resources</p> <p>Salinity levels</p> <p>Renewable water supply accessible to humans</p> <p>Water storage capacity</p>	<p>Water use per sector</p> <p>Water abstracted</p> <p>Water exploitation index</p> <p>Area water-logged by irrigation</p> <p>Volume of water desalinated</p>	<p>Cost of water and water delivery</p> <p>Total water requirements</p> <p>Net value added: desalinated water supply</p>
<b>Raw materials for energy</b>	(Wood) biomass production over stem diameter classes	<p>Production of peat</p> <p>Surface of exploited wetlands for peat and biofuels</p> <p>Firewood produced by riparian or coastal forests</p>	Net present value of clearance logging and of fuelwood under different management scenarios
<b>Water purification</b>	<p>Indicators on surface water quality (e.g. microbiological data, BOD, phosphate concentration, oxygen conditions, saprobiological status, suspended matter)</p> <p>Indicators on groundwater quality (e.g. NO<sub>3</sub>, pesticide, trace metals, emerging pollutants)</p> <p>Nutrient concentration</p> <p>Trophic status</p> <p>Ecological status</p> <p>Area occupied by riparian forests</p> <p>Presence of floodplains, wetlands, estuaries or mangroves</p> <p>Presence/distribution of nitrophilous macroalgae or macrophytes</p> <p>Potential mineralization or decomposition</p>	<p>Nutrient loads</p> <p>Nutrient retention</p> <p>Nutrient uptake by organisms</p> <p>Removal of nutrients by wetlands</p> <p>Amount of waste processed by ecosystems</p> <p>Sedimentation and accumulation of organic matter</p>	<p>Access to safe water</p> <p>Value of ecosystem waste treatment and water purification</p> <p>Cost of effluent treatment or nutrient abatement</p>



<b>Ecosystem services</b>	<b>Natural capacity</b>	<b>Service flow</b>	<b>Social benefit</b>
<b>Air quality regulation</b>	Tree cover Pollutant concentration Atmospheric cleansing capacity	Deposition velocity Flux in atmospheric gases	
<b>Erosion prevention</b>	Ground water level evolution [1] Soil erosion rate by land use type Geomorphology Vegetation distribution and properties (of riparian or coastal zones) Area affected by erosion Presence of seagrass meadows or kelp	Sediment accretion /soil retention [1,2,5] Siltation	Willingness-to-pay of local residents [5] Loss in property values from declining shoreline protection
<b>Flood protection</b>	Water holding capacity of soils Conservation status of river banks, lake banks and riparian zones Floodplain area Area of wetlands located in flood risk zones Ground water level evolution Soil capacity to transfer groundwater Infiltration capacity of an ecosystem Floodplain water storage capacity Area of intact wetlands, floodplains, coral reefs, mangroves, sandbars or barrier beaches Vegetation distribution and properties (of riparian or coastal zones)	Flood risk maps Record of annual floods Trends in number of damaging natural disasters Probability of incident Wave attenuation or surge reduction	Percentage of population living in water hazard prone areas Population in floodplain/coastal area Spending on disaster assistance for floods Construction and/or maintenance cost of sea defences Avoided damage per storm condition
<b>Maintaining populations and habitats</b>	Biodiversity value (species diversity or abundance, endemics or red list species, spawning areas) Ecological status Hydromorphological status	Habitat suitability Species abundance and richness Habitat change Juvenile density Postlarvae production per hatchery	Community perception on the importance of habitat provision Economic value of the annual juvenile fish production based on the price of aquaculture growth

<b>Ecosystem services</b>	<b>Natural capacity</b>	<b>Service flow</b>	<b>Social benefit</b>
	Coverage, condition and structural complexity of nursery and feeding areas (e.g. coral, mangrove) Macrophyte species richness		
<b>Pest and disease control</b>	Alien species introduced in aquatic environments and riparian zones Disease vector predator populations	Pest density Control of aquatic disease bearing invertebrates and plants by fish Occurrence of problems limiting crop and livestock productivity Increase in disease vectors mosquitoes Estimated change in disease burden as a result of changing ecosystems	Population affected by water-related diseases Waterborne and water related disease incidence
<b>Soil formation and composition</b>	Presence of hydromorphic soils Surface of floodplains Potential mineralization or decomposition Decomposition of dissolved and particulate organic matter by bacteria and fungi in the sediments	Fluvisols surface Nutrients stored in the sediments	
<b>Carbon sequestration</b>	Organic carbon stored or carbon stock Above and below-ground biomass Carbon in soil or sediments Dissolved organic matter	Carbon sequestration or carbon change Carbon uptake Soil carbon accumulation	Quantity of carbon fixed combined with the marginal damage costs of carbon emissions Market value of carbon
<b>Local climate regulation</b>	Riparian zone Ground water level Temperature e Precipitation Evapotranspiration Cloud formation Canopy stomatal conductance	Drought frequency	
<b>Recreation and tourism</b>	National Parks and Natura 2000 sites Number of bird watching sites Number of beaches	Number of visitors to natural places (e.g. to National Parks, lakes, rivers, protected wetlands)	Tourism revenue Traffic census Amount or spending on nature tourism

Ecosystem services	Natural capacity	Service flow	Social benefit
	Fish and waterfowl abundance Condition of fish stocks Quality of fresh waters for fishing Accessibility Footpaths Size of marine leisure and recreation hotspots Cover and smell of decomposing algae Presence of coralligenous community or cetacean population	Number of visitors to attractions (e.g. thermal, mineral and mud springs and balnearies, speleology sites, species watching) Number fishing licenses and fishing reserves [1] Beach closure due to bacteria limit, discolored or turbid water Number of bathing areas Number of waterfowl hunters, anglers and amateur fishermen	Beach visitors and travel cost Tourists' perception in a marine protected area [5]
<b>Intellectual and aesthetic appreciation</b>	National Parks and Natura 2000 sites Contrasting landscapes (e.g. lakes close to mountains) Proximity of scenic rivers or lakes to urban areas Monitoring sites by scientists Fish studies as a source of information Seabird populations	Cultural sites and number of annual cultural activities organised Classified sites (e.g. World Heritage, label European tourism) Number of visitors Number of scientific projects, articles, studies, patents Number of educational excursions at a site Number of TV programmes, studies, books etc. featuring sites	Changes in the number of residents and real estate values Comparative value of real estate nearer to nature/ cleaner water bodies Price of a hotel room with sea views Willingness to pay for improvement in the environment/ improved water quality Taxes and subsidies that support maintaining open space Financial expenditure in research
<b>Spiritual and symbolic appreciation</b>	National species or habitat types Rare species Cultural landscape intactness	Sacred or religious sites (e.g. catastrophic events, religious places)] Number of sites or species fundamental to performance of rituals Number of visitors Number of (environmental) associations registered	Changes in the number of residents and real estate values Incentives to maintain traditional cultural landscapes