

**Soluções naturais para a gestão de águas cinzentas em
edifícios**

Aplicação a um caso de estudo no IST

Maria Clara de Freitas Dias Milheiro de Carvalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadora: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão

Júri

Presidente: Professor Doutor Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira

Orientadora: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão

Vogal: Professor Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro

Outubro 2017

Agradecimentos

Gostaria de agradecer o apoio e ajuda de algumas pessoas que me motivaram e tornaram a conclusão desta dissertação possível, tão importante no meu percurso acadêmico.

À minha orientadora Professora Ana Galvão, por toda a disponibilidade, apoio e incentivo e também pela oportunidade que me deu de poder escrever sobre um tema que me diz muito, cada vez mais importante na sociedade.

Ao Engenheiro Mário Matos por toda disponibilidade e esclarecimentos fornecidos.

De um modo especial, à minha querida família, pais, irmãos, tios, primos e avós pelo apoio e carinho incondicional, por me acompanharem sempre em todas as decisões ao longo da vida.

A todos os meus colegas e amigos engenheiros, com quem tive o prazer de partilhar esta etapa determinante que foi o Instituto Superior Técnico.

O meu sincero obrigado.

Resumo

De forma a existir um desenvolvimento sustentável é necessário mudar um dos maiores paradigmas da sociedade e, diminuir o consumo de recursos, bem como aumentar o tratamento e reaproveitamento dos resíduos gerados nas diversas atividades em todo o mundo. Uma das temáticas que tem sido questionada, na tentativa de minimizar o impacto sobre os recursos hídricos, é a gestão centralizada do tratamento de águas residuais. A adoção de sistemas de saneamento descentralizados são uma alternativa que apresenta inúmeras vantagens e tem como base os princípios da sustentabilidade e da conservação.

A presente dissertação tem o seu enfoque no caso de estudo que contempla a viabilidade de instalar uma solução de tratamento constituída por paredes verdes e um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta no pavilhão de civil do Instituto Superior Técnico.

Os consumos referentes aos dispositivos sanitários foram estimados, com o objetivo de estimar o volume de água consumido nos lavatórios dos pisos 1, 2 e 3 do pavilhão, cuja água se pretende tratar, bem como o volume de água que é utilizado para limpeza dos pavimentos dos respetivos pisos, com o objetivo da água tratada ser reutilizada para esse fim.

O custo estimado para a solução foi de 36 747 €, pelo que no ano 11 após a sua implementação é possível recuperar todo o dinheiro investido. Numa estimativa de 15 a 20 anos, existe aproximadamente um benefício económico na ordem dos 9 000 € e 17 000 € respetivamente. Concluiu-se que a solução é economicamente viável.

Palavras-chave: Águas cinzentas; Reutilização no local; Parede verde; Solução de tratamento descentralizada; Viabilidade económica.

Abstract

In order for a sustainable development to occur, it is necessary to change one of the biggest paradigms in the current society, not only by reducing the consumption of resources, but also by increasing the treatment and reutilization of the residues generated by many activities around the world. One of the issues that have been questioned to minimize the impact on water resources is the centralized management of wastewater treatment in most developed countries. The adoption of decentralized sanitation systems is an alternative that has many advantages and is based on the principles of sustainability.

The present dissertation focuses on the case study that contemplates the feasibility of installing a treatment solution consisting of green walls and a system for disinfection by ultraviolet radiation in the civil pavilion of Instituto Superior Técnico.

The consumption of sanitary devices was estimated with the purpose of estimating the water for the wash basins of the floors 1, 2, and 3 to be treated in the green wall, as well as the volume of water used to clean the pavements of the respective floors with the purpose of treated water to be reused for that purpose.

The estimated cost for the treatment solution was 36 747€, so in year 11, after the implementation, it is possible to recover all the money initially invested. In an estimate of 15 to 20 years, there is approximately an economic benefit of around 9 000€ and 17 000€ respectively. It was concluded that the solution is economically viable.

Keywords: Grey water; Reuse on site; Green wall; Decentralized treatment solution; Economic viability.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice de Quadros	ix
Índice de Figuras	xii
SIMBOLOGIA	xiii
ACRÓNIMOS	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento geral da dissertação	1
1.2. Metodologia e Objetivos da dissertação	1
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
2.1. A importância da conservação da água no mundo	5
2.2. Consumo de água em Portugal.....	6
2.3. Abordagem centralizada e descentralizada do tratamento e gestão das águas residuais	7
2.4. Enquadramento legal da reutilização das águas residuais tratadas e respetivos desafios....	8
3. ÁGUAS CINZENTAS E AS SUAS POTENCIALIDADES DE REUTILIZAÇÃO	11
3.1. Aspetos gerais das águas cinzentas	11
3.2. Caracterização das águas cinzentas	12
3.2.1. Caracterização Organolética	12
3.2.2. Caracterização Físico-Química	13
3.2.3. Caracterização Biológica.....	15
3.3. Quantificação dos volumes produzidos pelas águas cinzentas	15
3.4. Seleção do processo de tratamento.....	17
3.5. Casos de estudo.....	19
3.6. Parede verde – Pune.....	22
3.7. Tipos de reutilização e possíveis limitações das águas cinzentas tratadas	24
4. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	27
4.1. Enquadramento geral	27
4.2. Estudo preliminar do consumo de água do Pavilhão de Civil	27
4.2.1. Consumo médio mensal no ano de 2016.....	27
4.2.2. Dispositivos existentes no pavilhão de civil.....	30
4.2.3. Sistematização das atividades em cada piso.....	31

4.3.	Estimativa do consumo mensal do pavilhão de civil	53
4.4.	Estimativa do caudal efluente do pavilhão de civil	54
5.	DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DO SISTEMA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZENTAS	
	55	
5.1.	Considerações iniciais	55
5.2.	Captação: Reservatório inicial	55
5.3.	Parede verde	58
5.4.	Reservatório pré-sistema UV	64
5.5.	Sistema UV	64
5.6.	Reservatório para armazenamento final	65
6.	VIABILIDADE ECONÓMICA DA SOLUÇÃO DE TRATAMENTO	67
6.1.	Considerações iniciais	67
6.2.	Estimativa de custos do primeiro reservatório de regularização	67
6.3.	Estimativa de custos da parede verde	68
6.4.	Estimativa de custos do segundo reservatório de regularização	72
6.5.	Estimativa de custos do sistema de desinfecção por radiação UV	72
6.6.	Estimativa de custos do reservatório de armazenamento	72
6.7.	Estimativa de custos do sistema de tubagem	72
6.8.	Estimativa de custos da mão-de-obra	73
6.9.	Estimativa de custos total da solução em estudo	74
6.10.	Viabilidade económica da solução adotada: apresentação e discussão de resultados ...	74
7.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	78
7.1.	Águas cinzentas: um bem essencial	78
7.2.	Perspetivas de desenvolvimentos futuros	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	ANEXOS	83
	Anexo A – Casos de estudo com a respetiva qualidade do efluente	85
	Anexo B – Reservatório de regularização inicial	87
	Anexo C – Minigarden: Estrutura da parede verde	89
	Anexo D – Constituição do substrato dos potes da parede verde	91
	Anexo E – Plantas constituintes da parede verde	93
	Anexo F – Gerador de preços para o andaime	95
	Anexo G – Reservatório de regularização pré-sistema de desinfecção UV	97
	Anexo H – Sistema de desinfecção UV	99
	Anexo I – Implantação do sistema de tubagem no piso -3	101
	Anexo J – Sistema de tubagem	103
	Anexo L – Planeamento prévio do projeto de execução	105
	Anexo M – Comparação entre a evolução dos custos atuais e após a instalação da solução de tratamento: Tempo de retorno do investimento.	107

Índice de Quadros

Quadro 4.1 - Valores da leitura principal e secundária do contador em análise e o respetivo consumo total referente a cada mês.....	29
Quadro 4.2 - Consumo médio mensal do pavilhão de civil.....	30
Quadro 4.3 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 3.	33
Quadro 4.4 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso 3.	33
Quadro 4.5 - Atividades e respetivos consumos relativos aos gabinetes, secretariados e salas comuns do piso 3.	34
Quadro 4.6 - Atividades e respetivos consumos relativos aos laboratórios e respetivas salas de apoio do piso 3.	34
Quadro 4.7 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso 3.....	35
Quadro 4.8 - Atividades e respetivos consumos das salas de arquivos do piso 3.	35
Quadro 4.9 – Estimativa do consumo global do piso 3.	35
Quadro 4.10 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 2.	36
Quadro 4.11 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços do piso 2.	37
Quadro 4.12 - Estimativa do consumo global do piso 2.....	37
Quadro 4.13 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 1.	38
Quadro 4.14 - Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários no piso 1.	39
Quadro 4.15 - Atividades e respetivos consumos diários relativos às casas de banho do piso 1.	39
Quadro 4.16 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às casas de banho do piso 1.....	39
Quadro 4.17 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso 1.....	40
Quadro 4.18 - Atividades e respetivos consumos relativos às salas de secretariados do piso 1.	40
Quadro 4.19 - Atividades e respetivos consumos relativas às salas de aula do piso 1.	41
Quadro 4.20 - Atividades e respetivos consumos relativos ao LTI do piso 1.	41
Quadro 4.21 - Estimativa do consumo global do piso 1.....	41
Quadro 4.22 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 0.	42
Quadro 4.23 – Estimativa do número de descargas dos dispositivos sanitários do piso 0.	43
Quadro 4.24 - Atividades e respetivos consumos diários relativos às casas de banho do piso 0.	43
Quadro 4.25 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às casas de banho do piso 0.....	43
Quadro 4.26 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às salas do Espaço 24 do piso 0.	44
Quadro 4.27 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às salas de arquitetura do piso 0.	44
Quadro 4.28 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos a outras salas do piso 0.	44
Quadro 4.29 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos à recepção e associação de estudantes do piso 0.	45
Quadro 4.30 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos aos espaços de circulação do piso 0.....	45

Quadro 4.31 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos ao museu de engenharia civil do piso 0.	45
Quadro 4.32 - Estimativa do consumo global do piso 0.	46
Quadro 4.33 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso -1.	46
Quadro 4.34 - Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários no piso -1.	47
Quadro 4.35 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso -1.	47
Quadro 4.36 - Atividades e respetivos consumos relativos aos anfiteatros para o ensino do piso -1.	47
Quadro 4.37 - Atividades e respetivos consumos relativos aos laboratórios e respetivas salas de apoio do piso -1.	48
Quadro 4.38 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso -1.	48
Quadro 4.39 - Atividades e respetivos consumos relativos à biblioteca do piso -1.	48
Quadro 4.40 - Atividades e respetivos consumos relativos ao centro de congressos do piso -1.	49
Quadro 4.41 - Atividades e respetivos consumos relativos aos restantes espaços do piso -1.	49
Quadro 4.42 - Estimativa do consumo global do piso -1.	49
Quadro 4.43 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso -2.	50
Quadro 4.44 - Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários no piso -2.	50
Quadro 4.45 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso -2.	51
Quadro 4.46 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso -2.	51
Quadro 4.47 - Atividades e respetivos consumos relativos ao espaço pertencente à biblioteca e aos laboratórios e respetivas salas de apoio do piso -2.	51
Quadro 4.48 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso -2.	52
Quadro 4.49 - Atividades e respetivos consumos relativos ao centro de congressos do piso -2.	52
Quadro 4.50 - Estimativa do consumo global do piso -2.	53
Quadro 4.51 - Estimativa do consumo global do pavilhão de civil.	53
Quadro 4.52 - Estimativa do caudal efluente global do pavilhão de civil.	54
Quadro 4.53 – Comparação entre a procura e a oferta de água relativamente à solução de tratamento	54
Quadro 5.1 – Estimativa do caudal do efluente residual das torneiras de cada casa de banho.	57
Quadro 5.2 – Volume do reservatório necessário para cada piso.	57
Quadro 5.3 - Estimativa do caudal do efluente residual para tratamento em cada torre e na respetiva casa de banho.	59
Quadro 5.4 – Estimativa do número de potes necessários para o tratamento das águas cinzentas por casa de banho.	59
Quadro 5.5 – Dimensões das paredes das torres onde estão inseridas as paredes verdes.	60
Quadro 5.6- Dimensões de um pote.	60
Quadro 5.7 - Número máximo de potes que é possível instalar e números de potes necessários para o tratamento.	61
Quadro 5.8 - Dimensões das unidades de tratamento.	62
Quadro 5.9 - Número de potes necessários por unidade de tratamento.	63
Quadro 5.10- Caudal afluente da parede verde.	64

Quadro 6.1 - Estimativa dos custos dos reservatórios.....	68
Quadro 6.2 - Área necessária dos potes para o tratamento das águas cinzentas por casa de banho.	69
Quadro 6.3 - Estimativa do número de módulos necessários por torre.....	70
Quadro 6.4 - Quantidade necessária de LECA e fibra de coco	70
Quadro 6.5 - Estimativa dos custos dos constituintes da parede verde.	71
Quadro 6.6 - Estimativa do custo das tubagens.	73
Quadro 6.7 – Estimativa do custo da mão-de-obra necessária para a implementação da solução de tratamento.	73
Quadro 6.8 – Estimativa do custo total da solução.	74
Quadro 6.9 - Valores relativos à água consumida nos lavatórios dos pisos 1, 2 e 3 e o respetivo saneamento e efluente tratado da parede verde.	75
Quadro 6.10 - Água necessária para a limpeza dos pavimentos.	75
Quadro 6.11 – Comparação dos custos atuais e dos custos após a implementação da solução em estudo.	76
Quadro L.1 - Proposta de planeamento das diversas atividades com o respetivo período de execução.	105
Quadro L.2 – Continuação da proposta de planeamento das diversas atividades com o respetivo período de execução.	106
Quadro M.1 - Comparação entre a evolução dos custos atuais e após a instalação da solução de tratamento.	107

Índice de Figuras

Figura 3.1 - Estimativa da distribuição do consumo de água numa residência (sem usos exteriores)	17
Figura 3.2 - Estimativa da distribuição do consumo de água numa residência (com usos exteriores)	17
Figura 3.3 - Esquema de tratamento.....	21
Figura 3.4 - Parede verde responsável pelo tratamento das águas dos lavatórios e duches provenientes dos quartos de hóspedes.	22
Figura 3.5 - Parede verde responsável pelo tratamento das águas provenientes dos lavatórios dos pisos 1 e 2 de um escritório em Pune.	23
Figura 4.1 - Localização dos contadores de água no pavilhão de civil no IST.	28
Figura 4.2 - Modelo exemplificativo da auto lavadora existente no IST.	34
Figura 5.1 - Representação esquemática da solução de tratamento das águas cinzentas do pavilhão de civil do.....	55
Figura 5.2 – Localização das casas de banho e respetivos lavatórios.	56
Figura 5.3 – Local onde se pretende instalar os reservatórios de regularização.	56
Figura 5.4 – Torre central do pavilhão de civil.	58
Figura 5.5 – Divisão da parede em três painéis.....	61
Figura 5.6 - Localização esquemática das unidades de tratamento.....	62
Figura 5.7 - Representação esquemática das paredes verdes na torre central com o número de potes referente a cada unidade de tratamento.	63
Figura 6.1 - Representação esquemática da solução de tratamento do pavilhão de civil do IST.	67
Figura 6.2 - Estrutura da parede verde: Minigarden	69
Figura 6.3 – Comparação entre a evolução dos custos atuais e após a instalação da solução de tratamento: Tempo de retorno do investimento.	77
Figura I.1 - Representação esquemática da implantação do sistema de tubagem do piso -3.	101

SIMBOLOGIA

A - Área da solução de tratamento

Ch - Carga hidráulica

Q - Caudal do efluente

ACRÓNIMOS

ANQIP - Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais

CBO₅ - Carência bioquímica em oxigénio aos 5 dias

COT - Carbono orgânico total

CQO - Carência química em oxigénio

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

FUNDEC - Associação de Formação e Desenvolvimento de Engenharia Civil

IST - Instituto Superior Técnico

N - Azoto

MBR - Bio reator de Membrana

NASA - National Aeronautics and Space Administration

OD - Oxigénio dissolvido

P - Fósforo

PNUEA - Programa Nacional para o Uso Eficiente da água

RBC - Reator Biológico de Contacto

SST - Sólidos Suspensos Totais

UV - Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geral da dissertação

A água é um bem essencial para a vida e também um recurso natural limitado, intensamente explorado em todo o Mundo. Para perceber o quão limitado é, importa referir que apenas 3,5% da água existente na Terra corresponde a água doce, sendo que a restante 96,5% encontra-se sob a forma salina nos oceanos. Para além disso, aproximadamente 68,7% dos 3,5% está inacessível, por se encontrar em estado sólido nos calotes polares. Na verdade, apenas aproximadamente 1% da água total da Terra encontra-se acessível ao ser humano em reservatórios superficiais e subterrâneos, o que é alarmante (USGS., 2016). Para agravar esta situação, devido ao rápido crescimento da população mundial nas últimas décadas, as necessidades da água têm vindo a aumentar. Este facto também contribui para que o volume de efluentes gerados aumente, colocando-se ainda outro problema relativo ao aumento progressivo da poluição dos recursos hídricos disponíveis.

De forma a existir um desenvolvimento sustentável é necessário mudar um dos paradigmas da sociedade atual e diminuir o consumo de recursos, bem como aumentar o tratamento e reaproveitamento dos resíduos gerados nas diversas atividades em todo o mundo. Uma das temáticas que tem sido questionada, na tentativa de minimizar o impacto sobre os recursos hídricos, é a gestão centralizada do tratamento de águas residuais que se realiza na maior parte dos países desenvolvidos. Este tipo de sistema produz um fluxo linear de escoamento e parte do princípio que as águas residuais tratadas não apresentam qualquer tipo de utilidade, sendo que o ideal é devolvê-las ao meio recetor (Gonçalves et al., 2006). No entanto, tendo em conta a situação de escassez de água que está se está a viver em inúmeros países por todo mundo, tornou-se necessário estudar soluções alternativas que aumentem a eficiência da utilização da água, como o tratamento e reutilização das águas residuais.

Nos edifícios, as águas cinzentas, que são a componente não sanitária das águas residuais, representam aproximadamente 70% das águas residuais totais (E Friedler, 2004). Uma opção de sustentabilidade promissora é a de tratar e reutilizar as águas cinzentas, já que estas apresentam volumes elevados e baixo teor em poluição. As soluções de tratamento de águas cinzentas descentralizadas têm demonstrado ser eficientes e também fáceis de utilizar, tendo como vantagem a diminuição dos custos da ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais) e das respetivas redes de distribuição, para além dos benefícios ambientais inerentes. (Masi et al., 2016).

1.2. Metodologia e Objetivos da dissertação

A seleção da tecnologia mais apropriada para o tratamento e reutilização das águas cinzentas depende de inúmeros fatores, como a escala da operação, o fim a que a água tratada se destina e o seu custo-benefício, bem como os requisitos legislativos que são praticados no local (Jefferson et al. 2004). Deste modo foi, em primeiro lugar, realizada uma pesquisa bibliográfica de forma a analisar as características mais relevantes de diversas soluções de tratamento, naturais e não naturais, bem como das características qualitativas e quantitativas das águas cinzentas, tendo em conta o estado atual do

conhecimento neste ramo e dando um maior enfoque nas soluções que podem ser aplicáveis nos centros urbanos. Este foi um dos principais objetivos desta dissertação.

Os desafios e oportunidades que cada solução apresenta são variados, sendo que foram analisados de forma a selecionar a solução de tratamento ideal para aplicar no caso-de-estudo. Nesta dissertação é apresentado um caso-de-estudo que contempla a viabilidade de aplicar uma solução natural para tratamento das águas cinzentas, neste caso uma parede verde, no pavilhão de civil do Instituto Superior Técnico (IST). O seu objetivo é tratar as águas cinzentas provenientes dos lavatórios das casas-de-banho dos pisos 1,2 e 3 e que essa água tratada seja, posteriormente, reutilizada para a limpeza dos pavimentos dos espaços interiores do pavilhão. Note-se que é necessário complementar esta solução com uma etapa de desinfecção com radiação ultravioleta (UV). Como tal, outro dos principais objetivos é, através de uma estimativa dos consumos de água do pavilhão, realizar o dimensionamento sumário de uma solução de paredes verde. Seguidamente, numa análise complementar foi realizado o estudo da viabilidade económica da solução adotada, de forma a concluir se para além dos benefícios ambientais inerentes, esta solução é ou não economicamente viável, o que se torna uma ferramenta útil para futuros projetos de investimento neste âmbito.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos e as respetivas referências bibliográficas e anexos. O presente capítulo é introdutório onde se descreve o enquadramento geral da dissertação, os objetivos e o modo como esta se encontra estruturada.

No segundo capítulo são descritos os conceitos fundamentais para a compreensão da dissertação. Começa por descrever de uma forma muito sucinta a importância da conservação da água no mundo e o consumo de água em Portugal, sendo que depois estabelece uma comparação entre a abordagem centralizada e descentralizada no tratamento e gestão das águas residuais. Por fim, é referido o enquadramento legal da reutilização das águas residuais em Portugal e os respetivos desafios.

O terceiro capítulo focaliza-se na caracterização das águas cinzentas e possíveis reutilizações. É apresentada uma síntese da literatura respeitante a trabalhos de investigação que exploram as várias hipóteses de tratamento a que as águas cinzentas podem ser sujeitas.

O quarto capítulo corresponde à descrição do caso de estudo, os motivos que levaram à seleção do pavilhão de civil e também à solução de tratamento. Neste capítulo é também realizada uma estimativa preliminar do consumo de água do pavilhão de civil adaptado a cada piso, com o objetivo de estimar o caudal efluente residual que aflui à parede verde.

No quinto capítulo é realizado um dimensionamento sumário do sistema de tratamento que tem como objetivo tratar a parcela do caudal efluente residual proveniente dos lavatórios das casas de banho dos pisos 1,2 e 3 do pavilhão.

No sexto capítulo é realizado o estudo da viabilidade económica da solução adotada, de forma a concluir se a mesma é ou não economicamente viável.

O sétimo capítulo diz respeito às conclusões obtidas face aos objetivos estabelecidos. Este capítulo inclui também os desenvolvimentos futuros propostos, com vista à continuidade de estudos relacionados com o tratamento e reutilização das águas cinzentas no local onde são produzidas.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1. A importância da conservação da água no mundo

Um dos principais desafios do início do século XXI está diretamente relacionado com a sustentabilidade dos recursos hídricos que têm sido intensamente sobre-explorados e poluídos nas últimas décadas, em diversos setores de atividades como a agricultura e a indústria. A água é um dos principais recursos naturais do mundo e, sem dúvida, essencial para a sobrevivência de qualquer espécie existente no planeta. É importante referir que, embora apresente uma capacidade de autodepuração, esta é limitada, o que gera uma diminuição dos volumes disponíveis em condições próprias para utilização ou consumo. Como tal, existe atualmente uma tentativa crescente de minimizar o impacto sobre os recursos hídricos através de uma gestão mais sustentável da água urbana. As mudanças climáticas, bem como o rápido crescimento das populações urbanas são desafios cada vez mais emergentes, muito importantes a ter em consideração quando se procura a garantia do abastecimento de água e a proteção dos recursos hídricos. Isto porque, visto que nas próximas décadas a população vai continuar a aumentar progressivamente, a procura da água também vai aumentar de forma global. Se não existirem mudanças nos padrões de produção e consumo da sociedade e o uso deste recurso natural limitado se mantiver com as características ineficientes atuais, existirá sem dúvida a necessidade de maiores investimentos futuros de modo a satisfazer o crescimento da procura. É evidente que para além do problema da satisfação das necessidades da água que se vai colocar, coloca-se ainda o facto da poluição gerada também aumentar. A consciencialização da importância da economia de água é um dos primeiros passos para atenuar estes problemas e, juntamente com o incentivo das entidades governamentais, levar a mudanças de hábitos da população para o uso racional da água.

Os sistemas de saneamento na sua conceção clássica foram criados inicialmente com os objetivos de melhorar a saúde pública e de oferecer bases para o desenvolvimento económico e de qualidade de vida da população. É evidente que o desenvolvimento de infraestruturas que assegurem o fornecimento de água potável e a existência de saneamento básico é de extrema importância devido ao impacto que a água tem na sociedade. Não só é fundamental para o crescimento socioeconómico desta, mas também para garantir a saúde e a qualidade de vida de todas as pessoas do mundo. Contudo, atualmente compreende-se que os projetos em grande escala com essa conceção, como a construção de barragens para o abastecimento de água, nem sempre são os mais indicados, já que recorrem excessivamente a abordagens relacionadas com a oferta (Nações Unidas, 2010).

Perante este cenário, torna-se necessária a adoção de novas estratégias com o objetivo de preservar os recursos hídricos existentes através de medidas para o uso mais eficiente da água e a sua reutilização. Nas áreas urbanas, o potencial para a introdução de reutilização das águas residuais para fins menos nobres é notável e representa uma forma de reduzir o consumo de água potável e a sua carga poluente para o ambiente, principalmente nas áreas que apresentam um volume baixo de recursos hídricos disponíveis e onde o crescimento demográfico e as alterações climáticas são fatores preponderantes.

2.2. Consumo de água em Portugal

Segundo vários estudos realizados no âmbito dos recursos hídricos, Portugal é um país que, comparativamente com outros, apresenta uma posição confortável em relação aos valores médios de disponibilidade da água (Bixio et al., 2006). No entanto, existem várias regiões que se encontram sob stress hídrico, devido às disponibilidades hídricas não se distribuírem uniformemente em todo o território e, para além disso, estarem sujeitas a variações sazonais (Hilaco, 2012). As condições de seca verificadas e os graves incêndios que têm vindo a afetar o país nos últimos anos também contribuem para a diminuição dos volumes de água nos lençóis freáticos e nas águas superficiais (Santos, 2008). O índice de stress hídrico representa a razão entre a necessidade de água de um país e a capacidade de regeneração total dos seus recursos hídricos. Segundo estudos realizados em 2005, Portugal apresenta um índice de stress hídrico entre 10 a 20% (Bixio et al., 2006). Tal significa que a disponibilidade da água está a tornar-se um obstáculo ao desenvolvimento e são necessários investimentos significativos nesta fase para assegurar o abastecimento adequado da população futuramente.

Através do Relatório do Estado do Ambiente de Portugal é possível conhecer o volume de água captado para os vários sectores de atividade, nomeadamente agrícola, urbano, industrial e turístico. A nível do continente, o sector agrícola é o maior consumidor de água com cerca de 73%, seguido pelo sector urbano com 19% (Guerra et al., 2016). A zona do Tejo e Ribeiros Oeste é a região com maior população sendo por isso, também, a que apresenta maior procura de água. O sector do turismo é o que consome menos água em Portugal. É importante referir que, embora o sector agrícola seja o que apresenta maiores valores de volume de água captada, o sector urbano é aquele em que o custo de utilização é maior, devido à necessidade de tratamento prévio.

No entanto, é necessário ter em consideração, que nos volumes de água captados, está inserida a água consumida, a água desperdiçada e também aquela que é perdida. De facto, existem custos associados aos desperdícios, que derivam de comportamentos irresponsáveis por parte dos utilizadores, em que é consumida mais água do que é necessário e também custos associados às perdas, originadas por defeitos encontrados nos sistemas de armazenamento, transporte e distribuição (Baptista et al., 2012; Gonçalves et al., 2006). Como tal, a água captada é consideravelmente superior à água necessária para cumprir de forma eficiente os fins a que se destina.

Segundo o Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água (PNUEA), que se refere a um programa nacional centrado na redução das perdas de água e na otimização do uso da água, o desperdício nacional em 2010 foi de 25% no sector urbano, 37,5% no sector agrícola e 22,5% no sector industrial (Baptista et al., 2012). Contudo, é importante referir que, desde 2002, foram aplicadas inúmeras medidas nos vários sectores, o que melhorou significativamente a eficiência do consumo de água. Em 2002, a ineficiência nacional tinha sido de 40% no sector urbano, 40% no sector agrícola e 30% no sector industrial. Apesar da diminuição dos desperdícios em todos os sectores, continua a existir uma parcela significativa que merece atenção.

A melhoria da eficiência hídrica é necessária pois representa um imperativo ambiental e ético, uma necessidade estratégica e um interesse económico (Baptista et al., 2012). O carácter de recurso limitado leva a que seja necessário implementar medidas que conservem e gerem a sustentabilidade da água, de forma que, as disponibilidades e reservas do país aumentem. O facto de existirem desperdícios leva a que seja necessário aumentar a captação de volumes de água no País, o que consequentemente provoca maiores encargos na economia. É, por isso, também de interesse económico diminuí-los (Baptista et al., 2012).

O sector urbano é aquele que, de uma forma clara, apresenta maior interesse de investimento do ponto de vista económico. Isto porque, não compensa submeter as águas a elevados níveis de exigência de tratamento, que têm de ser transportadas por longas distâncias para no final serem utilizadas na lavagem de espaços interiores ou exteriores, nos autoclismos ou na rega do jardim (Barroso, 2010).

No PNUEA são apresentadas diversas medidas ao nível de cada sector de atividades com o intuito de atingir os objetivos mencionados anteriormente, quer para situações hídricas normais, quer para situações de seca. No sector urbano, na secção dos sistemas prediais, nas medidas que têm como fim a redução de consumos de água, é referida a *Reutilização ou uso de água de qualidade inferior* e será nesse sentido que o caso de estudo desta dissertação vai ser realizado. Também no sector urbano, na secção de jardins e similares, é referido como medida a *Utilização de água residual tratada em jardins e similares*, embora não seja abordada nesta dissertação, é também uma medida interessante a ser aplicada nos centros urbanos (Baptista et al., 2012). Estas medidas permitem a redução das águas residuais resultantes e dos consumos energéticos que lhes estão associados.

2.3. Abordagem centralizada e descentralizada do tratamento e gestão das águas residuais

A recolha, o tratamento e a devolução ao meio ambiente são as três parcelas básicas essenciais de qualquer sistema centralizado de gestão de águas residuais. Este tipo de sistema produz um fluxo linear de escoamento e parte do princípio que as águas residuais devem ser devolvidas ao meio recetor (Gonçalves et al., 2006). Embora, de certa forma, a sua descarga em águas superficiais ou infiltração no solo, após tratamento, seja uma situação de reutilização indireta bastante usual, existem outras reutilizações que apresentam benefícios ambientais e socioeconómicos superiores. Para além disso, exige volumes substanciais de água, usualmente potável, para transportar os resíduos, o que contribui negativamente para o ambiente e também para os elevados custos de operação que esta solução apresenta. É importante referir que é, de facto, inquestionável que esta prática permitiu erradicar inúmeras doenças e melhorar a saúde pública de toda a população no passado. Contudo, o crescimento das zonas urbanas e a saturação dos meios recetores tem vindo a aumentar progressivamente, o que leva a questionar toda a gestão global do saneamento (Saldanha Matos, 2003). Numa perspetiva de reutilização, em Portugal, por vezes, já existe a reutilização da água após tratamento na ETAR para irrigação agrícola, ao invés desta ser devolvida imediatamente ao meio recetor. Embora se tenham desenvolvido estratégias nesse sentido e já seja um progresso, estas não se revelam as melhores em meio urbano, pois exigem a bombagem da água tratada para o local onde vai ser efetuada a reutilização e por isso a construção de uma rede de distribuição em paralelo para

transportar a água tratada ao seu destino. Tal acontece porque a ETAR encontra-se, na maior parte dos casos, a cotas mais baixas.

Os sistemas de saneamento descentralizados são uma alternativa que permite melhorar muitos dos aspetos negativos dos sistemas tradicionais referidos anteriormente. As águas residuais passam a ser consideradas como um recurso de valor e não como um resíduo. Neste caso, as águas que exigem diferentes graus de tratamento não são misturadas, o que conseqüentemente permite adaptar as soluções de tratamento à qualidade do efluente. Os caudais a tratar na ETAR diminuem e, em conseqüência, há uma diminuição do consumo de energia no tratamento e um aumento da eficiência na reciclagem das águas residuais. Os sistemas descentralizados permitem a drenagem, o tratamento e a reutilização das águas residuais em locais o mais próximo possível da produção das mesmas, permitindo que os custos da bombagem e das redes de distribuição também diminuam (Coutinho, 2009). No entanto, uma das desvantagens é que, tradicionalmente, a operação e a manutenção são realizadas pelos proprietários, o que, por vezes, causa o risco de falha do sistema devido a manutenção imprópria. Como tal, torna-se necessário cada vez mais desenvolver políticas e programas que garantam a conceção, construção, bem como a operação e a manutenção de sistemas descentralizados de tratamento de águas residuais adequadas (Massoud et al., 2009).

Em suma, os sistemas na sua conceção clássica foram criados apenas com os objetivos de melhorar a saúde pública e de oferecer bases para o desenvolvimento económico e de qualidade de vida da população. Contudo, atualmente estes critérios são insuficientes, visto que os sistemas públicos de abastecimento e saneamento devem também ter como princípio adjacente a conservação dos recursos hídricos e, na verdade, esses sistemas quando foram criados não tinham esse aspeto como uma das suas prioridades. A sua conceção apresenta inúmeras fragilidades e criou desafios consideráveis ao longo do século XXI tais como, inundações em zonas urbanas e aumento da poluição no meio recetor. (Saldanha Matos, 2003) O saneamento descentralizado é uma nova conceção que tem como base os princípios da sustentabilidade e da conservação da água, sempre com a tentativa de criar um ciclo fechado no local onde esta é produzida. Com esta abordagem, com o mesmo objetivo, são utilizados volumes de água potável menores, nomeadamente no transporte dos resíduos. O facto do tratamento das águas residuais ser realizado no local onde estas são produzidas, leva a que não exista uma transferência do problema no espaço. (Saldanha Matos, 2003) Como resultado, existe a diminuição da degradação da qualidade dos recursos naturais, água, solo e ar, que em última instância, é o princípio subjacente na política racional de gestão dos recursos hídricos.

2.4. Enquadramento legal da reutilização das águas residuais tratadas e respetivos desafios

Em Portugal, os primeiros decretos referentes à água datam da década de 40 do século passado. Apenas houve a sua atualização a 6 de agosto de 1995, através do Decreto-Lei 207/94 que aprovou o regime de conceção, instalação e exploração dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de águas residuais. Um ano mais tarde, através deste é realizado e aprovado o Decreto Regulamentar n.º 23/95, a 23 de agosto, que inclui o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais. O regulamento não foi atualizado

desde então, embora se encontre em revisão, o que tem vindo a demonstrar ser uma barreira à evolução da gestão sustentável dos recursos hídricos em Portugal. Segundo o art.º 86 do Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de agosto, relativo à utilização de água não potável, não está prevista a sua utilização para redes prediais, por exemplo, nos autoclismos:

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

Seguidamente, após a aprovação da Diretiva Quadro da Água, Diretiva nº2000/60/CE de 23 de outubro em 2000, surgiu o PNUEA em 2001, que já foi referido num capítulo anterior. Este foi aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros nº113/2005 de 30 de junho de 2005 e teve como objetivo criar diversas medidas que permitissem otimizar o uso da água. Uma das vantagens adicionais, que é importante referir no contexto desta dissertação, foi a de redução dos volumes das águas residuais resultantes, como já foi referido.

Em julho de 2012, após sete anos sem implementação, o PNUEA foi sujeito novamente a discussão pública. Neste foram estabelecidas novas metas de redução do desperdício do sector de água e também medidas relacionadas com a reutilização de águas cinzentas e pluviais. Apesar das novas medidas apresentadas pelo PNUEA 2012-2020, não existe nenhuma regulamentação ou norma técnica adequada para a sua implementação, de forma a evitar pôr em risco a saúde pública. No entanto, existem regulamentos onde são estabelecidos os critérios de qualidade que as águas devem cumprir de acordo com a sua reutilização posterior.

É importante referir que foram elaborados pela Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) duas especificações técnicas, a ETA 0905 (Sistemas Prediais de Reutilização e Reciclagem de Águas Cinzentas) e a ETA 0906 (Certificação de Sistemas Prediais de Reutilização e Reciclagem de Águas Cinzentas). Note-se que estas especificações se basearam em normas internacionais.

Em Portugal, ainda não existe enquadramento legal suficiente sobre o tratamento e reutilização no local das águas cinzentas. A falta de regulamentação ou normas técnicas adequadas e a falta de conhecimento tecnológico por parte dos técnicos profissionais e da sociedade é uma barreira evidente à instalação deste tipo de soluções de tratamento. Certamente devido à existência de algum receio associado ao desconhecimento que ainda existe por parte das autoridades envolvidas na aprovação desta tipologia de projetos (Marecos et al., 2010). É de notar que, de um modo geral, a prática antecede à criação de leis, ou seja, apenas quando existem problemas associados na prática é que passa a existir a necessidade de criar a legislação adequada. No entanto, conseqüentemente, isso traz maiores riscos de ordem sanitária e ambiental para os proprietários que optam por essa solução, visto que a operação e a manutenção são realizadas por eles mesmo sem informação adequada sobre a implementação deste tipo de sistemas, o que pode causar o risco de falha do sistema devido a manutenção imprópria.

Em Portugal, existe ainda um longo caminho a percorrer no que diz respeito à aceitação pública de soluções que visem o tratamento e reutilização de água residuais, sendo talvez esse o maior desafio atual. No entanto, é necessária uma base legislativa e também incentivos sólidos que motivem a população a optar por soluções ambientalmente mais sustentáveis. Cada vez mais torna-se necessário desenvolver políticas e programas que garantam a conceção, construção, bem como a operação e a manutenção de sistemas descentralizados de tratamento de águas residuais adequadas, baseadas no conhecimento científico e tecnológico atual (Massoud et al., 2009).

3. ÁGUAS CINZENTAS E AS SUAS POTENCIALIDADES DE REUTILIZAÇÃO

3.1. Aspectos gerais das águas cinzentas

A nível urbano, as águas residuais podem ser divididas em dois grupos distintos, as águas negras e as águas cinzentas. As águas negras são a componente sanitária das águas residuais e contêm fezes, urina e papel higiénico. Estas não serão abordadas ao longo desta dissertação. Por sua vez, as águas cinzentas são a componente não sanitária das águas residuais, ou seja, são as águas produzidas em banheiras, chuveiros, lavatórios de mãos, máquinas de lavar roupa e sumidouros de cozinha (Eriksson et al., 2000). A contribuição da parcela das águas residuais da cozinha para este tipo de águas não é consensual, sendo que alguns autores não as incluem por estas apresentarem vestígios de matéria orgânica, gorduras, óleos e detergentes (Matos et al., 2012; Nolde, 2000). O tratamento torna-se mais difícil e dispendioso para este último caso.

Nos edifícios residenciais, as águas negras apresentam uma parcela reduzida, um valor aproximadamente de 30% das águas residuais totais (Friedler, 2004). Nos edifícios não residenciais, este valor ainda é mais baixo. Como tal, o tratamento das águas cinzentas permite reciclar a maior parte das águas residuais (Masi et al., 2016). As águas cinzentas usualmente consideram-se como aquelas com volumes elevados e baixo teor em poluição, enquanto as águas negras consideram-se com volumes reduzidos e elevados teores em poluição. Vários estudos indicam que, partindo do princípio que as águas cinzentas geradas numa casa são reutilizadas para fins de serviço, estas são mais do que suficientes para suprir as necessidades internas da mesma. Um esquema de reutilização, usualmente, consome apenas 50-65% do total das águas cinzentas produzidas. Se as águas residuais tratadas forem reutilizadas nos autoclismos existe uma poupança de água potável na ordem dos 30-50% (Matos et al., 2012). Quando o tratamento e a reutilização para fins menos nobres são realizados no local da produção das mesmas gera-se um ciclo fechado, o que é uma fonte potencial de poupança económica.

As águas cinzentas podem conter vários poluentes e, devido à sua variabilidade inerente são difíceis de classificar, podendo variar bastante em termos de quantidade e qualidade (Jefferson et al., 2004). As suas características, em termos de qualidade e quantidade, são influenciadas pelas atividades principais dos utilizadores, a qualidade do abastecimento de água potável e o seu tipo de rede de distribuição (Eriksson et al., 2002). As atividades dos utilizadores, como a lavagem de mãos, de roupa, de loiça, remoção de maquilhagem, banho, entre outras, ocorrem em alturas diferentes do dia, o que provoca uma elevada variação a curto prazo em relação ao fluxo da água e também à qualidade da água produzida (Eriksson et al., 2009). Usualmente é necessário ter um reservatório para armazenar as águas cinzentas não tratadas. É importante que estas não fiquem armazenadas mais de 24 horas, uma vez que isso pode originar o crescimento de microrganismos e o aparecimento de maus odores (Australian Capital Territory, 2007; Gonçalves et al., 2006). Há a possibilidade de as águas serem reutilizadas diretamente, ou seja, sem estarem sujeitas a nenhum tipo de tratamento, passando diretamente da origem ou do reservatório para o seu destino. No entanto, é sempre importante ter em

consideração que estas podem possuir microrganismos patogénicos e que a hipótese de utilização direta deve ser devidamente estudada, de forma a não pôr em risco a saúde pública.

Seguidamente serão descritas as várias características que definem as águas cinzentas.

3.2. Caracterização das águas cinzentas

As águas cinzentas podem ter presente na sua composição substâncias ou impurezas, de origem orgânica ou inorgânica, que lhes proporcionam determinadas características que vão determinar o seu potencial tratamento e reutilização. Seguidamente são descritos os parâmetros que, na maior parte das vezes, apresentam um elevado desvio-padrão associado aos valores médios. É importante referir que o tempo de armazenamento e transporte a que estas águas estão sujeitas também influenciam bastante as suas características, podendo existir uma rápida degradação da matéria orgânica e proliferação de microrganismos patogénicos, caso esteja armazenada por longos períodos de tempo (Australian Capital Territory, 2007; Gonçalves et al., 2006).

Nas casas-de-banho, os poluentes mais comuns são químicos devido a sabões, champôs, pasta de dentes e detergentes que contêm na sua composição cloro, bromo, sódio, entre outros. É possível que a água dos duchos contenha urina, mas esta é inócua no caso das pessoas serem saudáveis. Contudo, no caso da urina conter microrganismos patogénicos, a probabilidade destes sobreviverem fora do corpo humano é pequena e, para além disso, os detergentes presentes nas águas de duche levam, na maior parte das vezes, à sua inativação. A água cinzenta produzida no lavatório é mais poluída, embora apresente volumes inferiores às do banho/duche. É interessante referir, no contexto da dissertação, que as águas das casas-de-banho são as mais indicadas para irrigação, pois os seus componentes atuam como fertilizantes. São à partida aquelas que apresentam menos químicos (Silva, 2012).

Nas lavandarias, os poluentes típicos provêm dos detergentes que contribuem para o aumento da amónia e de outras formas azotadas e fosfatadas nas águas cinzentas, e também para o aumento de salinidade e alcalinidade. Usualmente, a água proveniente das lavandarias apresenta menos risco de contaminação fecal e maior risco de contaminação química e térmica (Coutinho, 2009).

Por fim, na cozinha, é possível encontrar partículas de comida, óleos, gordura e detergentes que contribuem para elevadas concentrações de matéria orgânica, SST (Sólidos Suspensos Totais), CQO (Carência Química em Oxigénio), fosfato e boro. Este tipo de águas cinzentas não é aconselhável para a rega pois as gorduras da cozinha são prejudiciais para os solos (Coutinho, 2009).

Seguidamente são descritos os parâmetros que permitem proceder à caracterização organolética, físico-química e biológica das águas cinzentas.

3.2.1. Caracterização Organolética

As características organoléticas compreendem a cor e o cheiro ou odor.

A cor apresentada pelas águas cinzentas é, como o nome indica, tipicamente cinzenta. Este parâmetro está diretamente relacionado com a presença de materiais em suspensão.

No caso do cheiro ou odor, este é uma característica subjetiva e está relacionado com a percepção que cada pessoa tem quando está na presença de substâncias voláteis. Como tal, torna-se difícil de medir. A existência de odor está associada à presença de matéria orgânica em decomposição que está presente nas águas cinzentas, principalmente se estas forem armazenadas por longos períodos de tempo.

3.2.2. Caracterização Físico-Química

Para caracterizar as águas cinzentas do ponto de vista físico-químico, é necessário analisar vários parâmetros. Os que são vulgarmente analisados são os seguintes: a turbidez, o conteúdo em sólidos suspensos e a temperatura (Eriksson et al., 2002). Para além destes, por vezes também se monitorizam o pH, a carência química em oxigénio (CQO), a carência bioquímica em oxigénio aos 5 dias (CBO₅), o carbono orgânico total (COT), o oxigénio dissolvido (OD), o azoto (N) e fósforo (P), os cloretos, os óleos e gorduras e os compostos orgânicos xenobióticos.

A turbidez está diretamente relacionada com a concentração de sólidos em suspensão e nos casos das águas cinzentas este parâmetro é bastante elevado. Resíduos de alimentos, cabelos, pelos e fibras de tecido são alguns exemplos de materiais sólidos que é possível encontrar nas águas da cozinha e nas da casa de banho. A sua adsorção na superfície dos colóides de surfactantes (proveniente dos detergentes) é um problema, pois permite a estabilização da parte sólida. Essas partículas sólidas não devem ser negligenciadas já que, em última instância, podem provocar a colmatação das infraestruturas de tratamento. Os resíduos em suspensão conferem um aspeto desagradável às águas cinzentas e, como podem inclusive servir de abrigo para determinados microrganismos, põem em risco a saúde pública e a aceitação das pessoas ao tratamento e reutilização das águas residuais tratadas (Eriksson et al., 2002; Gonçalves et al., 2006).

A temperatura das águas cinzentas varia consoante a sua origem, dentro da gama 18-38 °C (Eriksson et al., 2002). Para as águas provenientes do banho é esperado um valor médio de 29°C, enquanto que para as águas provenientes da cozinha e da lavandaria espera-se 27-38°C e 28-32°C respetivamente (Coutinho, 2009). Quando existe um baixo fluxo de águas cinzentas são observadas temperaturas mais baixas, do que quando se produzem elevados volumes. A temperatura é um parâmetro muito importante, dado que influencia a velocidade das reações químicas, a solubilidade dos gases e a taxa de crescimento dos microrganismos. Quanto mais elevada for a temperatura, maior será o crescimento de microrganismos patogénicos.

O pH é representado por uma escala logarítmica e mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução. O pH das águas cinzentas depende essencialmente do pH da água de abastecimento e dos produtos químicos utilizados nas várias atividades das habitações. Este é usualmente próximo da neutralidade, tal como nos esgotos sanitários típicos. Este parâmetro é importante pois, para além de controlar a maior parte das reações químicas na natureza, interfere na atividade biológica.

Um dos métodos para determinar a quantidade de matéria orgânica em águas residuais consiste na realização de alguns testes específicos. Os testes mais utilizados são a CBO₅, CQO e COT. A CBO₅

representa o oxigénio consumido pelos microrganismos na oxidação da matéria orgânica numa determinada água em condições aeróbias, ao fim de cinco dias de incubação, a 20 °C. A CQO mede a quantidade de oxigénio necessária para oxidar quimicamente toda a matéria orgânica por ação de agentes oxidantes fortes como o dicromato de potássio. É necessário ter em atenção que, neste caso, os compostos inorgânicos interferem com os testes. Finalmente, o COT consiste na combustão rápida de matéria orgânica a altas temperaturas onde o carbono orgânico é totalmente oxidado ou convertido em dióxido de carbono, independentemente do estado de oxidação da matéria orgânica (Saldanha Matos, 2003). Mesmo sem a contribuição das águas negras, o conteúdo da matéria orgânica e inorgânica é significativa nas águas cinzentas. A matéria orgânica tem origem essencialmente em resíduos de alimentos, óleos, gorduras, resíduos corporais, entre outros. Enquanto que a matéria inorgânica tem origem principalmente em produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza.

As concentrações de OD são relativamente altas logo após a produção das águas cinzentas. No entanto, o OD vai diminuindo à medida que a quantidade de substâncias orgânicas biodegradáveis vai diminuindo, pois os microrganismos responsáveis pela deterioração das águas cinzentas utilizam o oxigénio na sua respiração. A solubilidade do oxigénio também depende de outros fatores, sendo que aqueles que mais se destacam são a temperatura, a pressão atmosférica e a salinidade. À medida que a temperatura e a salinidade aumentam, a solubilidade do oxigénio diminui. Esta baixa solubilidade limita a capacidade de autodepuração natural das águas (Coutinho, 2009).

A totalidade das águas cinzentas apresentam valores das ordens de grandeza de 90-360 mgO₂/l de CBO₅ e de 8000 mgO₂/l de CQO. (Coutinho, 2009).

As águas cinzentas apresentam baixas concentrações de azoto, quando comparadas às águas residuais totais. Neste caso, a fonte principal do azoto são os alimentos processados da cozinha, enquanto nas águas residuais é a urina. O fósforo provinha essencialmente dos detergentes, no entanto, em Portugal, já não é permitido a sua utilização (Coutinho, 2009).

Os cloretos são provenientes da dissolução de sais, como por exemplo do cloreto de sódio. As águas cinzentas provenientes da cozinha são as que usualmente apresentam concentrações mais elevadas de cloretos.

Os óleos e gorduras são utilizados na preparação dos alimentos e também podem ser encontrados resíduos no corpo e nas roupas das pessoas devido à transpiração humana. As águas da cozinha representam a principal fonte desta parcela. Caso não haja a remoção prévias dos óleos e gorduras, pode existir uma diminuição da eficiência de tratamentos biológicos seguintes (Gonçalves et al., 2006).

Os compostos orgânicos xenobióticos originam-se devido às reações químicas entre os vários produtos químicos utilizados, tais como detergentes, sabões, champôs e produtos de limpeza. Estes são dificilmente biodegradáveis e apresentam alto risco de toxicidade, sendo por isso essencial serem incluídos nos programas de monitorização de tratamento das águas cinzentas. Para além disto, estes compostos apresentam uma elevada heterogeneidade e a sua quantidade presente nas águas cinzentas varia bastante de país para país, de acordo com as atividades dos utilizadores (Eriksson et al., 2002).

3.2.3. Caracterização Biológica

Nas águas cinzentas não está incluída a componente sanitária das águas de um edifício, de onde são provenientes a maior parte dos microrganismos patogénicos, como já foi referido. No entanto, estes microrganismos podem ser introduzidos através da lavagem de mãos após o uso da sanita, lavagem de bebés após a mudança de fralda, ou até mesmo, após a lavagem de carne crua, entre outros. Assim sendo, são inúmeros os microrganismos patogénicos que podem ser encontrados nas águas cinzentas. Nesta dissertação serão apenas abordados aqueles que assumem uma maior importância na composição deste tipo de águas, que são referidos seguidamente. As bactérias, protozoários, helmintes e vírus são os indicadores principais frequentemente encontrados na composição das águas cinzentas.

Os protozoários são particularmente importantes devido à sua capacidade de prevalência no ambiente, sendo por isso indicadores de qualidade do ambiente. As águas poluídas têm determinados protozoários característicos que devem ser analisados. Os helmintes são parasitas que podem ser encontrados nas águas cinzentas e que se apresentam, na maior parte das vezes, sob a forma de ovos. Como este tipo de partículas fica retido no solo, ambos os agentes infecciosos só serão um problema se a reutilização for diferente de infiltração e reutilização ou se uma etapa da solução de tratamento não apresentar a percolação no solo (Coutinho, 2009).

Os vírus também devem ser considerados, pois estes parasitas são capazes de se multiplicar dentro do ser humano, apresentando um grande perigo para a saúde pública. Os grupos mais comuns são os rotavírus, enterovírus e adenovírus.

Os coliformes totais e fecais são bactérias excretadas nas fezes. Estes são considerados indicadores da presença de microrganismos patogénicos, sendo possível, através da sua identificação, concluir se houve poluição de origem fecal nas águas cinzentas (Saldanha Matos et al., 2012). *Escherichia coli* é um tipo de coliforme fecal muito utilizado como indicador de contaminação fecal, já que resiste até 14 dias nas águas cinzentas. Ocasionalmente, também é possível encontrar a bactéria *Salmonella* que pode ser introduzida através da lavagem da carne crua. Esta também se mantém por vários dias nas águas cinzentas, o que representa um perigo para a saúde pública e deve ser, por isso, monitorizada. Por fim, a *Legionella pneumophyllia*, que embora necessite de meios de cultura específicos para se multiplicar, tolera temperaturas até 50°C e desinfetantes como a lixívia. Para além disto, propaga-se por aerossóis, podendo ser inspirada, o que constitui um sério problema no caso de tratamento e reutilização no mesmo local (Coutinho, 2009).

3.3. Quantificação dos volumes produzidos pelas águas cinzentas

A produção das águas cinzentas é proporcional ao consumo de água no edifício em consideração e depende de diversos fatores como, o número e idades dos habitantes e as suas atividades principais. A quantificação dos volumes produzidos pelas águas cinzentas tem como objetivo avaliar a quantidade média total de água cinzenta que é produzida por dispositivo sanitário por habitante.

Os dispositivos que geram águas cinzentas numa habitação são os duches/banheiras, as torneiras (lavatório, lava-louça), as máquinas de lavar roupa e louça.

O que usualmente gera maiores volumes são os duches/banheiras, o que leva a que este uso seja uma fonte considerável de água cinzenta. Estes são influenciados diretamente pelo caudal do chuveiro, a duração do duche e o número de duches por dia que o agregado familiar realiza. É importante referir que, os últimos dois fatores estão associados a aspetos comportamentais, o que leva a que exista uma grande variabilidade inerente (Baptista et al., 2001).

Seguidamente, as torneiras que incluem o lavatório e o lava-louça (e podem incluir a banheira se esta não for incluída no dispositivo anterior), são as que, usualmente, geram maiores volumes de água cinzenta, a seguir ao dispositivo apresentado anteriormente. Mais uma vez, a frequência de uso é de difícil quantificação, devido à sua variabilidade inerente, e os principais fatores que influenciam o consumo associado às torneiras são o caudal, a duração da utilização e o número de utilizações por dia do agregado familiar. A duração pode oscilar entre alguns segundos a vários minutos, dependendo do utilizador (Baptista et al., 2001).

As máquinas de lavar roupa podem ser consideradas, atualmente, equipamentos de utilização generalizada. Tem existido a tendência de redução dos consumos na lavagem das máquinas, o que contribui para que estas não apresentem um grande peso na geração de águas cinzentas. O volume de água utilizado em cada lavagem varia com as características da máquina de lavar (tipo, idade e programas disponíveis), a carga de roupa colocada em cada lavagem e o tipo e a quantidade de detergente utilizado. Por outro lado, o excesso de detergente pode levar ao aumento do consumo de água na lavagem devido à formação excessiva de espuma (Baptista et al., 2001).

Por fim, as máquinas de lavar loiça, são as que apresentam, geralmente um peso menor. Os volumes produzidos dependem das suas características (tipo, idade e programas disponíveis), bem como da carga de loiça de cada lavagem e do tipo de detergente utilizado. Tal como nas máquinas de lavar roupa, o excesso de detergente pode levar a que haja um excesso de espuma produzido e, por isso, que seja necessário consumir mais água (Baptista et al., 2001).

Em Portugal, não são conhecidos estudos que englobem a totalidade dos consumidores domésticos do país o que leva a que não existam estudos que apresentem a estimativa global da distribuição percentual para cada um dos usos (Ferreira, 2012). No entanto, houve um estudo com uma amostra limitada onde foi estimada a distribuição percentual do consumo doméstico, contabilizando as perdas, com e sem os usos exteriores. Seguidamente, são apresentadas as duas figuras que apresentam essa estimativa (Vieira et al., 2002).

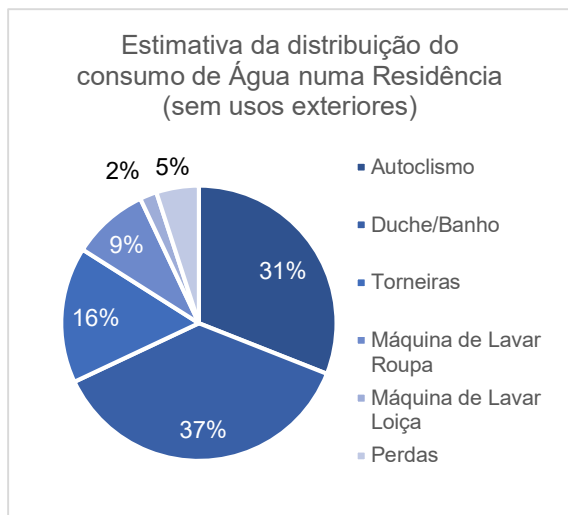


Figura 3.1 - Estimativa da distribuição do consumo de água numa residência (sem usos exteriores)

Fonte: (Vieira et al., 2002)

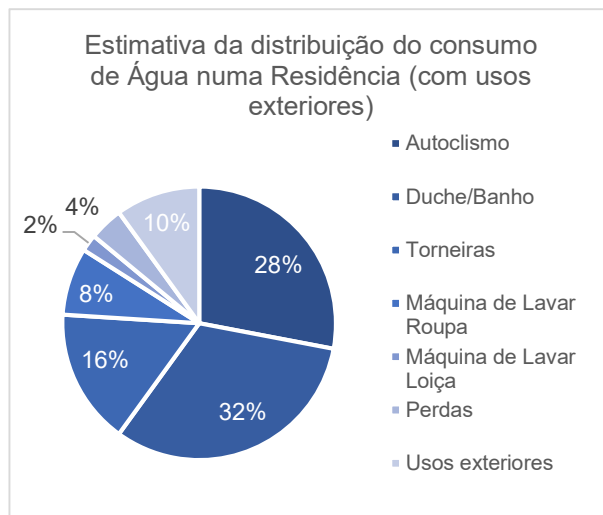


Figura 3.2 - Estimativa da distribuição do consumo de água numa residência (com usos exteriores)

Fonte: (Vieira et al., 2002)

Pela análise das Figuras 3.1 e 3.2 é possível concluir que, segundo este estudo, as atividades que consomem mais água numa residência são o duche/banho, os autoclismos e as torneiras. No entanto, é importante referir que as águas residuais produzidas nas sanitas (consumo de água relativo aos autoclismos) estão inseridas nas águas negras e não contribuem para as águas cinzentas.

3.4. Seleção do processo de tratamento

A água cinzenta apresenta uma variabilidade inerente, como já foi referido, o que leva a que seja difícil selecionar o seu tratamento adequado. A escolha do processo de tratamento ideal requer que se realize a caracterização do efluente a tratar e a investigação das técnicas de tratamento existentes para, desta forma, adaptar a solução de tratamento à utilização que se pretende dar ao afluente. O padrão de qualidade exigido às águas cinzentas tratadas está diretamente relacionado com a sua reutilização. Independentemente do processo de tratamento escolhido, o objetivo será sempre que as águas cinzentas cumpram os seguintes critérios: segurança higiénica, segurança estética, tolerância ambiental e viabilidade técnica e económica (Nolde, 2000). Se se considerar a contribuição da parcela das águas residuais da cozinha (lava-louça, máquina de lavar roupa e loiça) para este tipo de águas, o tratamento torna-se mais difícil e dispendioso, pois estas apresentam vestígios de matéria orgânica, gorduras, óleos e detergentes. No entanto, a sua exclusão também pode provocar, além de uma melhoria da maior parte dos parâmetros de qualidade, uma diminuição na quantidade de água disponível e, conseqüentemente, uma não satisfação da procura (Friedler, 2004). Se existir armazenamento de água, no caso de as águas cinzentas não serem reutilizadas diretamente ou ser necessário regularizar vazões, é obrigatório algum nível de tratamento.

Todos os parâmetros mencionados no capítulo da caracterização qualitativa devem ser analisados para garantir a qualidade do efluente final. No caso de existirem vários tipos de utilização previstos, por

exemplo para irrigação de espaços verdes e autoclismos, o tratamento deve garantir os critérios de tratamento mais conservativos.

O tratamento das águas cinzentas pode abranger vários níveis, denominados tecnicamente de tratamento preliminar ou pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário ou tratamento terciário. Seguidamente, é apresentado, de uma forma generalizada, cada um desses níveis de tratamento.

O tratamento preliminar ou pré-tratamento tem como objetivo a remoção de materiais grosseiros, como por exemplo, as areias e as gorduras através de uma série de processos físicos. No caso destes constituintes de maiores dimensões não serem removidos, podem provocar problemas operacionais nos órgãos e processos de tratamento seguintes, diminuindo a eficiência do esquema de tratamento (Simões et al., 2008). A gradagem, a desaneração e a remoção de óleos e gorduras são exemplos de processos físicos utilizados em ETAR nesta fase. A desaneração tem como objetivo a remoção das areias ou outros detritos, matérias inertes e pesados que, por exemplo, se depositem no fundo por gravidade. A remoção de óleos e gorduras tem como finalidade remover as gorduras e óleos existentes, por exemplo, através da injeção de um fluxo de ar ascendente no efluente, provocando o aparecimento das gorduras à superfície. Nas saídas dos dispositivos hidro-sanitários como, máquinas-de-lavar, chuveiros e lavatórios, já existem grelhas que funcionam como um pré-filtro que têm como finalidade a retenção dos sólidos, flutuantes e sedimentáveis, de dimensões maiores que as suas aberturas. No entanto, pode não ser suficiente e os sólidos podem entrar no efluente e entupir o sistema dependendo da solução de tratamento escolhida. No caso de existir o aproveitamento das águas da cozinha é necessário também nesta etapa colocar uma caixa de gordura com o intuito de as remover (Gonçalves et al., 2006).

Seguidamente, o tratamento primário pretende reduzir a CBO_5 , no mínimo, em 20% e o total das partículas sólidas em suspensão, no mínimo, em 50% (Simões et al., 2008). Na etapa de pré-tratamento só foram realizadas operações físicas sendo que as quantidades dos constituintes mencionados se mantiveram praticamente inalteradas relativamente ao efluente antes de iniciar o tratamento. Genericamente, o tratamento primário é realizado através de um processo de decantação e se necessário da flotação. A decantação tem como objetivo remover os sólidos em suspensão que, devido a uma redução da velocidade do efluente, acabam por sedimentar no fundo por ação da gravidade. Se necessário, é possível, através da adição de reagentes químicos, transformar a matéria poluente em flocos de maiores dimensões, facilitando a sua sedimentação. A esta etapa dá-se o nome de flotação. Esta etapa não é muito comum no caso das águas cinzentas.

O tratamento secundário implica na maioria dos casos um tratamento biológico que tem como objetivo a remoção da matéria orgânica biodegradável e os sólidos suspensos existentes no efluente residual, que não foi possível eliminar no tratamento primário. Este pode ser realizado por via anaeróbia, via aeróbia ou pela combinação em série dos dois. Nos sistemas anaeróbios, a maior parte do material orgânico (cerca de 70 a 90%) é transformado em biogás. O efluente do sistema corresponde apenas a 10 a 30% da matéria orgânica presente antes do tratamento e os 5 a 15% restantes são o lodo excedente. Nos sistemas aeróbios, por sua vez, apenas 5 a 10% corresponde ao efluente final, sendo

que 40 a 50% corresponde à parcela de matéria orgânica que é transformada em CO₂. A parcela significativa restante (50-60%) representa o lodo excedente do sistema. É importante referir que as exigências estéticas das águas cinzentas tratadas para reutilização numa habitação são elevadas e, por isso, a etapa aeróbia de tratamento torna-se obrigatória. Esta é a única capaz de remover a turbidez de forma efetiva. No entanto, a etapa anaeróbia também oferece inúmeras vantagens na degradação da matéria orgânica, sendo por essa razão que muitas vezes se opta por uma solução de tratamento em que se coloca estes dois sistemas em série. (Gonçalves et al., 2006)

Por fim, o tratamento terciário que tem como objetivo a desinfecção, permite inativar os microrganismos presentes nas águas cinzentas que são prejudiciais para a saúde pública. Na etapa anterior houve apenas remoção de nutrientes e, para reutilização de água nas habitações essa etapa não é suficiente. A desinfecção pode ser realizada através de processos naturais ou artificiais, como por exemplo através da cloração, ozonificação e radiação UV.

Existem várias soluções de tratamento que combinam vários processos diferentes. Seguidamente serão mencionados diversos casos de estudo de sistemas de tratamento de águas cinzentas, não sendo mencionadas apenas soluções naturais.

3.5. Casos de estudo

Nos anos 70 na NASA (National Aeronautics and Space Administration) foi considerada a hipótese de reutilização interna das águas cinzentas. O seu trabalho demonstrou que é possível utilizar as águas do banho e da máquina de lavar roupa nas descargas de autoclismo após a água cinzenta passar por um filtro de terra de diatomáceas seguido de carvão ativado (Jefferson et al., 2000).

Neal (1996) sugere que o tratamento mínimo a que as águas cinzentas devem ser sujeitas quando existe reutilização a nível habitacional é composto pelas seguintes etapas: gradeamento grosseiro (com filtro para retenção complementar dos sólidos), aeração, floculação natural, sedimentação e desinfecção com cloro. Esta última etapa é necessária caso exista contato direto com os utilizadores (Gonçalves et al., 2006).

Segundo Jefferson (2000), uma das tecnologias mais utilizadas nos anos 90, em Inglaterra, era um sistema de duas etapas que consistia numa filtração grosseira seguida de desinfecção. Neste sistema, a filtração é realizada, frequentemente, através de um filtro metálico e a desinfecção através de reagentes químicos como o cloro e o bromo. Usualmente, no final do processo, a água cinzenta tratada apresenta-se sem qualquer registo de coliformes, salvo raras exceções em que o sistema de desinfecção falha e os padrões de qualidade são inferiores aos esperados. Um dos principais motivos para que o mesmo aconteça é que, na maior parte das situações, são os próprios utilizadores que substituem e adicionam os compostos químicos necessários, o que compromete a fiabilidade do sistema (Fenner et al., 2005). Visto que os padrões de qualidade são pouco rigorosos, a carga orgânica e a turbidez da água permanecem elevadas após a fase da filtração, como se pode constatar no Anexo A. Isto leva a que a eficácia da desinfecção fique comprometida, dado que as partículas floculantes não permitem, muitas vezes, que o desinfetante penetre o suficiente. Outra desvantagem desta solução de tratamento

de águas cinzentas é quando se utiliza o desinfetante cloro onde são produzidos subprodutos, tais como cloraminas e trihalometanos, que prejudicam gravemente a saúde humana. A qualidade do efluente não é, por todos estes motivos, a ideal.

Outros casos estudados por B. Jefferson et al. (2000), estão relacionados com os sistemas físicos e físico-químicos. Os processos físicos permitem uma clarificação substancial da água e compreendem principalmente a filtração em profundidade invariavelmente à base de areia e/ou membranas, sendo esta última normalmente combinada com um pré-tratamento apropriado. Estes processos são eficazes na diminuição da carga de poluentes orgânicos da água cinzenta antes da reutilização, o que melhora a qualidade estética da água e os problemas associados com a desinfecção a jusante. No entanto, a filtração simples não apresenta uma barreira absoluta para a matéria suspensa, o que resulta na passagem dos coliformes e uma propensão para descarga de sólidos sempre que ocorrem choques hidráulicos. Por outro lado, os sistemas de membranas oferecem uma barreira permanente para partículas suspensas com um intervalo que vai desde 0,5 µm (membranas de microfiltração) a dimensões moleculares (osmose inversa). Consequentemente, para este último caso, a água tratada apresenta valores muito baixos de turbidez abaixo dos limites de deteção de coliformes. Em contrapartida, a energia necessária para os sistemas de membrana é maior do que para os de filtração simples, ainda para mais quando existe o entupimento da superfície da membrana por espécies poluentes, o que ocorre frequentemente. Embora todos os componentes da água cinzenta tenham diminuído, nem todos os padrões mínimos foram cumpridos e existiram problemas associados à má qualidade do efluente. Os ensaios de membrana mostraram que sistemas puramente físicos produzem efluentes com valores de coliformes significativos.

Por fim, Jefferson (2000) conclui que apenas a filtração não é suficiente para garantir uma redução adequada da contaminação orgânica e prevenir o crescimento de microrganismos patogénicos posteriormente no sistema de tratamento, como se pôde comprovar pelo caso de estudo anterior. Os benefícios ao combinar os tratamentos físicos com os biológicos, como acontece nos Bio reatores de Membrana (MBR) e nos Bio filtros aerados submersos, são consideráveis. O tratamento biológico apresenta inúmeras vantagens na remoção de material biodegradável, principalmente em casos que incluem grandes redes de distribuição, como hotéis. Os Bio filtros aerados submersos combinam a filtração em profundidade com um reator biológico fixo e o MBR combina um processo de lamas ativadas com uma membrana de microfiltração. Estes últimos foram utilizados com sucesso num sistema de tratamento e reutilização de água cinzentas em edifícios residenciais e de escritórios no Japão. Ambos os processos removem os poluentes orgânicos de forma eficaz, no entanto a turbidez e a quantidade de coliformes presente no efluente tratado pelo bio filtro aerado submerso são consideráveis. Foi concluído, neste estudo, que embora com o MBR todos os valores do efluente estivessem dentro dos limites pretendidos, estes não eram economicamente viáveis, por apresentarem custos elevado.

Friedler (2010) realizou um estudo em que comparou dois subsistemas de tratamento que funcionavam em paralelo, um com dois Reator Biológico de Contacto (RBC) em série seguidos de uma bacia de sedimentação e um segundo com um MBR. Ambos os sistemas apresentam requisitos de área baixa,

o que os torna adequados para tratamento das águas cinzentas em edifícios multifamiliares em área urbana. Seguidamente ambos os efluentes dos sistemas foram desinfetados pelo sistema de radiação UV para posteriormente serem transportados para um sistema de reutilização simulado. O estudo foi realizado em planta piloto e tratou as águas cinzentas de 14 apartamentos. Os efluentes do MBR e do RBC ao longo do sistema de reutilização não foram significativamente diferentes. Contudo, o MBR apresenta uma barreira física para as bactérias. Assim, as bactérias encontradas após a membrana do MBR são devidas ao 'fenómeno de salto' e posterior crescimento no sistema, enquanto que as bactérias presentes no efluente do sistema RBC se devem ao facto deste não ser capaz de as remover completamente. O fenómeno de salto permite que as bactérias migrem de um local para outro, através de aerossóis, vasos contaminados ou derramamentos pontuais, nos casos em que as distâncias físicas entre os vários constituintes do sistema são mínimas. Verificou-se que a qualidade microbiana da água cinzenta desinfetada com UV era aproximadamente a mesma que a qualidade microbiana de água potável utilizada usualmente nos autoclismos, logo os riscos para a saúde apresentados por este sistema são desprezíveis.

Nolde (2000) estudou dois sistemas de tratamento que provaram ser eficazes e adequados por mais de 10 anos em Berlim. Os sistemas de tratamento são representados pela Figura 3.3.

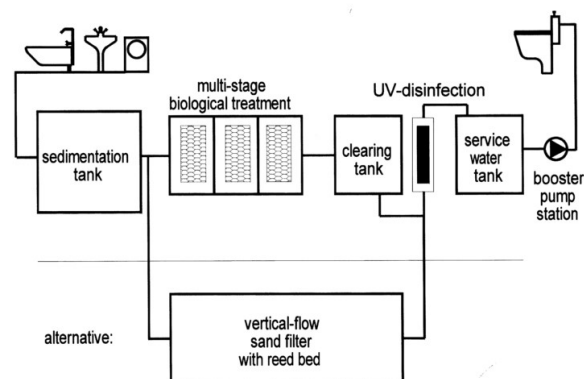


Figura 3.3 - Esquema de tratamento

Fonte: Nolde, 2000

O primeiro esquema de tratamento está numa cave de 15 m² e trata as águas cinzentas que vêm de chuveiros, banheiras e lavatórios de 70 pessoas. É constituído por 4 estádios de RBC. Os resultados do efluente foram bastante satisfatórios, sendo que as concentrações medidas de bactérias ficaram usualmente abaixo dos limites de controlo. A maior parte dos valores referentes aos coliformes fecais e de *Streptococcus* também ficaram abaixo dos limites de deteção. O segundo esquema de tratamento é composto por um leito fluidizado e trata as águas cinzentas do chuveiro e da banheira da casa de duas pessoas. As investigações demonstraram que é possível atingir uma boa qualidade de água de serviço através de um sistema de tratamento menor, mesmo quando a carga orgânica é alta. As concentrações bacterianas de coliformes pretendidas foram atingidas, mesmo quando existiram fezes

de fraldas de bebés. O efluente produzido por este esquema de tratamento estava próprio para a reutilização em descargas de autoclismos. No final desta experiência foi possível concluir que introduzir um tratamento biológico ao longo do sistema de tratamento, evita problemas técnicos que põe em risco a saúde pública.

Por fim, um dos casos de estudo com maior importância para esta dissertação, para além do apresentado no capítulo seguinte, é o de *Gattringer et al (2016)*, onde foi investigada a eficiência de uma tecnologia de tratamento e reutilização de água através de um ecossistema vivo. Esta solução foi integrada num hotel em Lloret del Mar, Espanha, e tem como finalidade o tratamento das águas provenientes dos duches e lavatórios dos quartos de hóspedes. Esta é constituída por um sistema de plantas que combina fluxos de águas horizontais sub-superficiais com um fluxo vertical de água estável. O sistema de tratamento foi concebido com o objetivo de ser colocado numa parede no interior ou no exterior dos edifícios, como se pode observar na Figura 3.4. O efluente apresentou resultados bastante satisfatórios, tendo existido uma diminuição da poluição na faixa dos 90%. Os seus padrões de reutilização para irrigação de jardim, irrigação de campos de golfe, entre outros, foram alcançados, sendo que a água se apresentava limpa e inodora. Para além disso, conclui-se que este sistema de tratamento é economicamente viável, com custos de operação baixos (Gattringer et al., 2016).



Figura 3.4 - Parede verde responsável pelo tratamento das águas dos lavatórios e duches provenientes dos quartos de hóspedes.

Fonte: Gattringer et al., 2016

As características dos efluentes finais para cada um dos casos apresentados encontra-se para consulta no Anexo A.

3.6. Parede verde – Pune

Neste subcapítulo é abordada uma solução de tratamento que teve como objetivo tratar as águas cinzentas provenientes dos lavatórios dos pisos 1 e 2 do escritório de Maharashtra Jeevan Pradhikaran (Departamento de Abastecimento de Água e Saneamento do Estado de Maharashtra) em Pune, Índia. Esta unidade de tratamento é abordada em maior pormenor relativamente às anteriores, visto que se pretende adaptá-la ao caso de estudo proposto por esta dissertação. A unidade de tratamento é constituída por duas paredes verdes em paralelo, sendo que cada uma é composta por uma matriz de

12 x 6 potes. Cada pote apresenta uma área superficial de 0,01 m². A alimentação é realizada na primeira fila através de um tubo perfurado, sendo que as águas cinzentas são divididas ao longo das 6 colunas e posteriormente coletadas num tubo de drenagem, como é possível observar na Figura 3.5, retirada do artigo científico.



Figura 3.5 - Parede verde responsável pelo tratamento das águas provenientes dos lavatórios dos pisos 1 e 2 de um escritório em Pune.

Fonte: Masi et al., 2016

Em primeiro lugar, as águas dos lavatórios dos pisos 1 e 2 são encaminhadas para um reservatório de 300l. Deste reservatório, são divididas para dois reservatórios de 100l, sendo que cada um deles alimenta diretamente cada uma das paredes verdes. Note-se que a alimentação das paredes verdes é realizada através de uma válvula solenoide baseada num temporizador que realiza uma descarga de águas cinzentas de 10l/hora. Os potes foram plantados com as seguintes plantas: *Abelia*, *Wedelia*, *Portulaca*, *Alternanthera*, *Duranta* e *Hemigraphis*.

O sistema piloto foi colocado em operação em Fevereiro de 2015 e foi dividido em duas fases, visto que a primeira não obteve os resultados esperados. Numa primeira fase, os potes foram apenas preenchidos com LECA (agregados de argila expandida leve), com o objetivo de que as plantas apenas utilizassem as águas cinzentas como fonte de nutrientes. Contudo, os resultados não foram os esperados, não se mostrando satisfatórios perante os objetivos pretendidos. Houve um escasso desenvolvimento do bio filme, com uma percolação da água relativamente rápida, não havendo tempo de retenção hidráulica suficiente. Como tal, iniciou-se uma segunda fase, onde a LECA foi misturada com areia e fibras de coco, numa proporção 50-50% com a LECA. Desta forma, foi possível aumentar o tempo de retenção hidráulica e favorecer o desenvolvimento das raízes das plantas. Os resultados desta segunda fase, relativamente à LECA-fibras de coco, mostraram-se bastante satisfatórios.

É importante referir que, visto que as águas cinzentas são provenientes apenas dos lavatórios das casas-de-banho, apresentam concentrações de CBO₅ e CQO bastante baixas. Como já foi referido

anteriormente, as águas cinzentas mais contaminadas são usualmente constituídas por águas também provenientes das cozinhas.

O mais interessante neste caso de estudo realizado em Pune é que os resultados demonstraram que este tipo de solução de tratamento pode ser adotado em casos reais a uma escala superior. De acordo com as regulamentações regionais e nacionais indianas, se se adicionasse uma etapa de desinfecção por radiação Ultravioleta, já seria possível que o efluente final fosse reutilizado nas descargas de autoclismos. É nesse sentido que posteriormente se aplica esta solução de tratamento no caso de estudo proposto para esta dissertação.

3.7. Tipos de reutilização e possíveis limitações das águas cinzentas tratadas

Após a seleção da solução de tratamento, é necessário selecionar o fim a que a água tratada se destina.

Para transformar a água cinzenta em água com características que permitam o consumo ao ser humano, é necessário recorrer a tratamento avançado, o que consome quantidades consideráveis de produtos químicos, além de que, provoca a produção de lamas. Para agravar a situação, existem vários produtos químicos e microrganismos que são apenas parcialmente biodegradáveis, o que leva a que, mesmo após o tratamento estes muitas vezes, não sejam totalmente eliminados e fiquem presentes na água tratada em níveis vestigiais (Nolde, 2000). Neste tipo de reutilização, potável, também é necessário ter em consideração que o aspeto e a aceitação do público são uma limitação potencial, pelo que se conclui que é preferível que esta solução seja apenas utilizada em casos críticos de escassez da água.

A reutilização não potável pode ser dividida em três grupos principais, reutilização urbana, industrial e agrícola.

Em meio urbano, com a reutilização de águas cinzentas tratadas existe a possibilidade de um volume substancial de água potável deixar de ser utilizado para fins menos nobres, tais como irrigação agrícola ou paisagística, lavagem de pavimentos urbanos, limpeza de coletores, construção civil, combate a incêndios, lavagem de ruas (Eriksson et al., 2002). Estas águas tratadas podem mesmo ser utilizadas como água não potável nas residências para limpeza de áreas externas, lavagem de veículos automóveis, descarga de autoclismos das casas-de-banho, entre outros. Se existisse a redução ou mesmo a eliminação da utilização de água potável como meio de transporte para a urina e fezes nas águas residuais e, eventualmente, houvesse a sua substituição por águas residuais tratadas, existiria uma diminuição considerável do consumo de água potável numa habitação. No entanto, o facto deste tipo de águas apresentar compostos à base de matéria orgânica favorece o aparecimento de microrganismos patogénicos no caso de a água não estar devidamente tratada. É possível que estes se espalhem na forma de aerossóis quando os autoclismos são descarregados e, quer a sua inalação, quer o contacto com a boca, podem ser perigosos (Eriksson et al., 2002). Por isso, é necessário recorrer ao tratamento terciário, de forma a atender aos padrões de qualidade necessários, o que será aprofundado posteriormente (Bixio et al., 2006). A situação ideal para este tipo de reutilização em meio urbano é que o tratamento e a reutilização das águas residuais sejam realizados o mais próximo possível da produção das mesmas. Desta forma, os custos totais derivados do tratamento de águas

nas ETAR diminuem consideravelmente, pois existe uma um volume mais reduzido de água que é encaminhado para esse local. Para além disso, em meio urbano a reutilização após tratamento em ETAR não se revela uma boa solução, pois se o tratamento se realizar na ETAR é necessário a bombagem da água tratada para o local onde vai ser efetuada a reutilização, assim como a construção de uma rede de distribuição em paralelo para transportar essa água ao seu destino. Tal acontece porque a ETAR encontra-se, na maior parte dos casos, a cotas baixas junto a linhas de água. Os sistemas de saneamento descentralizados são uma alternativa que apresenta mais vantagens onde, para além de não ser necessária a bombagem para locais afastados, as águas que exigem diferentes graus de tratamento não são misturadas. Deve haver sempre o cuidado de não existirem ligações indevidas entre redes de abastecimento potável e não potável.

Inserido também na reutilização não potável, existe a reutilização industrial, onde a água pode ser reutilizada para processos de refrigeração, alimentação de caldeiras e águas de processamento. Esta tipologia pode ter diferentes graus de tratamento consoante a atividade em questão (Santos, 2008). Usualmente, o tratamento secundário é suficiente, exceto na indústria alimentar onde este não é aceitável (Bixio et al., 2006). Uma das limitações potenciais, neste caso, é o facto dos constituintes presentes na água poderem causar incrustações, corrosão e também crescimento biológico.

Por último, englobado na reutilização não potável, têm-se as águas residuais tratadas utilizadas na agricultura. É importante ter em consideração que as exigências de qualidade impostas dependem do produto das culturas agrícolas poder ou não ser ingerido cru. Deve ser evitado o contacto direto das águas cinzentas com vegetais e produtos consumíveis, principalmente no caso destas apenas terem sido sujeitas ao tratamento secundário. A maior parte das vezes a reutilização na agricultura requer para além do tratamento secundário convencional, tratamento suplementar como a filtração e/ou desinfecção. Desta forma, não existem riscos para a saúde pública devido à presença de patogénicos. Este tipo de reutilização apresenta inúmeras vantagens, uma vez que este tipo de águas é rico em matéria orgânica e nutrientes. É também importante ter em consideração que esta alternativa pode conduzir a concentrações elevadas de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica na água, o que leva à acumulação de sais no solo e nas plantas (Eriksson et al., 2002). Como tal, pode ser necessário haver uma diminuição na gama de produtos que podem ser comercializados, o que é uma limitação potencial.

Por fim, é também possível que as águas cinzentas sejam infiltradas no solo, de forma a restituir e preservar os lençóis freáticos e também para conter a intrusão salina em aquíferos costeiros. Posteriormente, o que muitas vezes se sucede é que esta água é novamente captada, através das águas superficiais ou subterrâneas e após o tratamento necessário, de acordo com o uso que se pretende dar-lhe, a água acaba por ser reutilizada. Esta reutilização conta com a ajuda da Natureza e não é imediata (Coutinho, 2009). Deve ser feita uma análise à água cinzenta para evitar que esta contamine os aquíferos com químicos orgânicos como nitratos, sólidos dissolvidos totais e patogénicos pois estes podem provocar a sua poluição irreversível.

O principal aspeto de qualquer sistema de tratamento e reutilização de águas cinzentas que se tem de ter em consideração é o facto de esta água não poder pôr em risco a saúde humana em circunstância alguma.

4. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1. Enquadramento geral

O caso-de-estudo abordado nesta dissertação contempla a viabilidade de instalar uma parede verde no pavilhão de civil do IST em Lisboa. A finalidade da parede verde é tratar as águas cinzentas provenientes dos lavatórios das casas-de-banho dos pisos 1,2 e 3. Uma vez que, posteriormente, se pretende que a água tratada seja utilizada para a limpeza do chão dos espaços interiores dos pisos 1,2 e 3, é necessário complementar esta solução com uma etapa de desinfeção de radiação UV. Tal é essencial visto que pode existir o contacto da água tratada com o pessoal de limpeza ou com os utilizadores do pavilhão e, apenas com esta etapa de tratamento terciário, é garantida a eliminação de todos os microrganismos patogénicos. Note-se que não se optou pela reutilização da água tratada no sistema de autoclismos pois estes apresentam um sistema de pressão e, para além disso apresentam-se encastrados na parede, tornando esta hipótese inviável. O edifício tem um total de sete pisos, sendo que três se encontram enterrados.

É importante referir que a parede verde foi a solução de tratamento selecionada pois, tendo em consideração que o pavilhão de civil já se encontra construído, optou-se por uma solução natural que apresentasse uma área de implantação baixa e que, de certa forma, se adaptasse ao espaço já existente. É por esse motivo, devido a estas características que, em centros urbanos, esta solução é bastante indicada. Para além disso, a parede verde apresenta como vantagens o controlo da temperatura interna do pavilhão e da respetiva humidade, bem como uma melhoria na qualidade do ar interior (Valesan et al., 2010). A escolha do pavilhão prendeu-se com o facto deste ser um espaço com elevados consumos de água e esta ser utilizada, maioritariamente, para fins menos nobres. Para além disso, um fator decisivo foi o facto das universidades terem um papel bastante importante no âmbito da formação científica e estas iniciativas de índole ambiental contribuirão para a sensibilização da sociedade civil.

O presente capítulo destina-se ao enquadramento da solução de tratamento em questão, tendo sido realizado um estudo preliminar do consumo de água no pavilhão.

4.2. Estudo preliminar do consumo de água do Pavilhão de Civil

4.2.1. Consumo médio mensal no ano de 2016

A quantidade de águas cinzentas produzidas num determinado edifício é proporcional ao volume de água consumida nesse mesmo edifício. O volume de água consumida depende essencialmente das especificidades do sistema, do número de pessoas que usualmente aí circulam e do respetivo comportamento ao utilizar os diversos dispositivos, como já foi referido anteriormente. Por isso mesmo, antes de implementar qualquer solução de tratamento de águas cinzentas é necessário realizar um estudo preliminar, no qual se realiza uma estimativa dos volumes de água consumidos no pavilhão de civil. Só desta forma é possível dimensionar uma parede verde tecnicamente viável. A metodologia utilizada para atingir o objetivo proposto é descrita seguidamente.

Em primeiro lugar, foi possível aferir que no pavilhão de civil existem três contadores de água, como se pode ver na Figura 4.1. Existe um contador específico para o bar, um para a cantina e, por fim, um contador que engloba a água consumida em todas as outras atividades realizadas nos restantes espaços do pavilhão. As condicionantes técnico-financeiras associadas em transformar as águas cinzentas produzidas nas cozinhas, que possuem óleos e gorduras, são elevadas, como já foi referido. Assim sendo, os volumes de água referentes à cantina e ao bar e os respetivos contadores não são analisados ao longo desta dissertação.

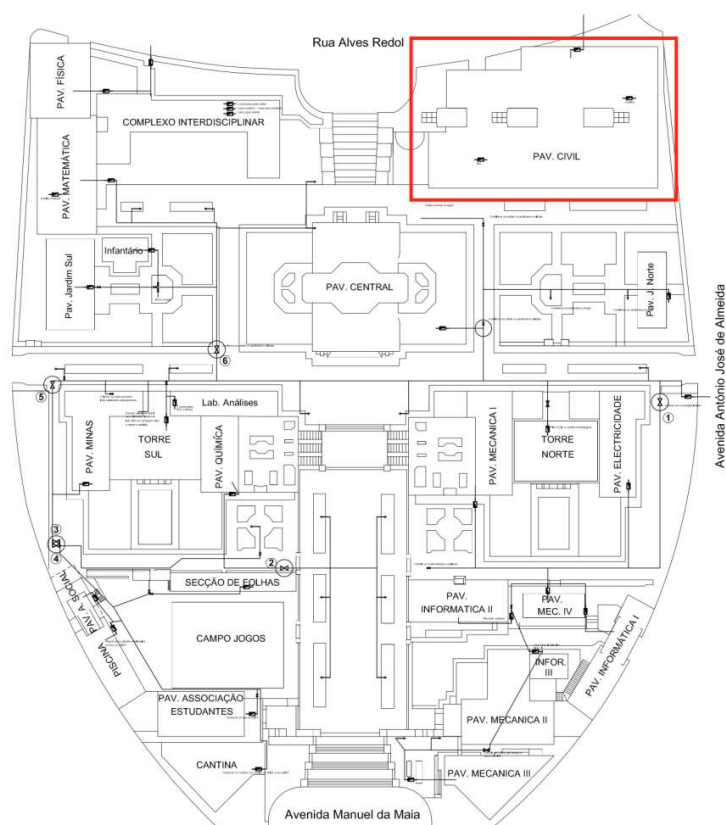


Figura 4.1 - Localização dos contadores de água no pavilhão de civil no IST.

Fonte: IST

Um ano, neste caso o de 2016, foi a amostra que se considerou para dimensionar a parede verde, por se tratar de uma amostra significativa do consumo no pavilhão. Através de uma leitura visual direta do contador de volumes de água consumidos foi possível aferir o consumo de água de cada mês no ano de 2016. No contador, situado no laboratório de civil no piso -2 do pavilhão, existem dois tipos de leitura, uma principal para os caudais mais elevados e uma leitura secundária que contabiliza os caudais mais reduzidos, de forma a não existir perda de rigor. Entretanto existiu uma anomalia com o sistema no pavilhão de civil entre 6 de dezembro de 2015 e 11 de fevereiro de 2016, pelo que nesse período não há dados registados. A solução encontrada foi recorrer ao relatório do consumo faturado do mês de janeiro e fevereiro. No Quadro 4.1 encontram-se os valores referentes à leitura principal e secundária do contador em análise e o consumo de água total de cada mês.

Quadro 4.1 - Valores da leitura principal e secundária do contador em análise e o respetivo consumo total referente a cada mês.
Dados fornecidos pelo Engenheiro Mário Matos (IST)

Meses	Tipo de Leitura	Período Contagem		Leituras Efetuadas		Diferença das Leituras (m ³)	Soma da diferença das Leituras (m ³)
				Inicial	Final		
Janeiro	Principal	01-01	01-02	-	-	325	625
	Secundário	01-01	01-02	-	-	300	
Fevereiro	Principal	01-02	01-03	-	-	275	540
	Secundário	01-02	01-03	-	-	265	
Março	Principal	01-03	01-04	59319,20	59770,60	451	735
	Secundário	01-03	01-04	21424,75	21707,94	283	
Abril	Principal	01-04	01-05	59770,60	60217,90	447	758
	Secundário	01-04	01-05	21707,94	22018,20	310	
Maió	Principal	01-05	01-06	60217,90	60729,80	512	839
	Secundário	01-05	01-06	22018,20	22345,07	327	
Junho	Principal	01-06	01-07	60729,80	61157,90	428	761
	Secundário	01-06	01-07	22345,07	22678,34	333	
Julho	Principal	01-07	01-08	61157,90	61527,90	370	671
	Secundário	01-07	01-08	22678,34	22979,09	301	
Agosto	Principal	01-08	01-09	61527,90	61639,20	111	329
	Secundário	01-08	01-09	22979,09	23197,20	218	
Setembro	Principal	01-09	01-10	61639,20	62183,30	544	846
	Secundário	01-09	01-10	23197,20	23499,20	302	
Outubro	Principal	01-10	01-11	62183,30	62753,30	570	915
	Secundário	01-10	01-11	23499,20	23844,62	345	
Novembro	Principal	01-11	01-12	62753,30	63315,10	562	871
	Secundário	01-11	01-12	23844,62	24153,45	309	
Dezembro	Principal	01-12	01-01	63315,10	63643,70	329	599
	Secundário	01-12	01-01	24153,45	24424,01	271	

Seguidamente é necessário calcular o consumo médio mensal do pavilhão para realizar o dimensionamento da solução de tratamento das águas cinzentas. É importante referir que durante o mês de agosto existe um período em que o pavilhão de civil não se encontra aberto ao público e onde não existe o consumo de água, sem ser para os serviços considerados mínimos para a sua manutenção. Consequentemente, este mês apresenta valores bastante inferiores em relação aos restantes, como pode ser concluído no Quadro 4.1. Optou-se, por isso, por não incluir no cálculo do consumo médio mensal apresentado no Quadro 4.2, por ser considerado um mês atípico.

Quadro 4.2 - Consumo médio mensal do pavilhão de civil.

Tipo de consumo	Consumo médio mensal (m³/mês)
Consumo Secundário	437,56
Consumo Principal	304,20
Consumo global	741,76

O consumo médio mensal global é de 741,76 m³/mês. Visto que o objetivo da parede verde é o de tratar as águas provenientes dos lavatórios das casas-de-banho dos pisos 1, 2 e 3, é necessário discretizar o consumo médio mensal que foi determinado. Os valores de cada dispositivo sanitário têm de ser conhecidos individualmente pois só desta forma é possível avaliar se a oferta de água, que é a água produzida pelos lavatórios das casas-de-banho, é ou não suficiente para o fim de reutilização a preconizar que, neste caso, é a limpeza dos pavimentos de espaços interiores. Visto que não foi possível colocar contadores ao nível dos vários dispositivos sanitários foi necessário realizar uma estimativa para cada um deles, partindo de valores referenciados na bibliografia e pedindo informações aos trabalhadores e pessoal da limpeza do pavilhão. Note-se que existe uma elevada incerteza associada a todas as hipóteses introduzidas na estimativa de consumo de cada dispositivo sanitário e também em cada piso. A descrição das várias hipóteses consideradas encontra-se em detalhe no próximo capítulo.

4.2.2. Dispositivos existentes no pavilhão de civil

Os dispositivos que geram águas cinzentas no pavilhão são apenas as torneiras. No entanto, é necessário também considerar os caudais gerados pelos autoclismos e urinóis para proceder à validação das estimativas por comparação com o consumo global registado no pavilhão. As máquinas de lavar loiça estão incluídas no contador do bar e da cantina e não existem duches ou máquina de lavar-roupa no pavilhão de civil.

É importante referir que, como já foi mencionado anteriormente, os valores de consumo apresentados seguidamente para cada dispositivo sanitário foram aferidos em artigos científicos que podem ser encontrados nas referências bibliográficas. De modo a determinar o volume associado a cada descarga de forma mais exata, seria necessário monitorizar durante um período de tempo pré-definido. No entanto, tal não foi possível devido ao excessivo tempo que um trabalho dessa dimensão demoraria, tendo-se realizado a sua estimativa como se explica seguidamente.

O volume médio consumido para cada uso das torneiras é difícil de quantificar, uma vez que existem vários fatores que o influenciam diretamente. O motivo da utilização e também a sua duração apresentam uma variabilidade inerente associada aos padrões comportamentais de cada pessoa. Através de várias medições no local, utilizando um método volumétrico, foi possível estimar que as torneiras apresentam, em média, um caudal de 11 l/min para uma abertura máxima e de 7,5 l/min para uma abertura regular. Assumiu-se que, em média, cada utilizador mantém a torneira aberta por 20 segundos com um caudal de 7,5 l/min.

Em Portugal, os autoclismos tradicionais têm volumes de descarga que podem variar entre os 7,0 e os 15,0 l (Baptista et al., 2001). No pavilhão de civil no IST os autoclismos não são do tipo de descarga única como usualmente existem nas habitações, sendo fluxómetros de descarga manual. Isto leva a que seja mais difícil contabilizar o consumo de água nos autoclismos, pois a duração da descarga está diretamente relacionada com o tempo de pressão do botão, o que advém dos hábitos de uso de cada pessoa. No entanto, na maior parte das vezes, deduz-se que este mecanismo leva a que existam poupanças de água em relação ao mecanismo convencional. Assume-se que as pessoas, em média, utilizam um caudal de descarga de 8,0 l.

No que se refere aos urinóis, assumiu-se que estes apresentam o mesmo consumo por descarga que os autoclismos. Embora os urinóis já sejam antiquados, é importante referir que o mais provável é que se esteja a sobrestimar o consumo de água por descarga neste dispositivo sanitário. No entanto, não foi possível realizar a medição no local por limitação de meios e para além disso, não foi possível ter-se acesso ao número de utilizadores do sexo feminino e masculino que circulam no pavilhão e por isso, saber quem utiliza cada um dos dispositivos sanitários. Como tal, foi necessário adotar esta hipótese simplificativa.

Por fim, é importante referir que não foi feito um levantamento do número de utilizações e as taxas médias relativas a cada utilizador podem não corresponder à realidade vivida no pavilhão.

No próximo capítulo analisou-se a quantidade e a distribuição das descargas por aparelho sanitário por mês, já que o objetivo da estimativa de consumo é atingir um total de consumo tão próximo quanto possível da realidade, ou seja, do consumo médio mensal determinado através das leituras mensais do contador. (741,76 m³/mês).

4.2.3. Sistematização das atividades em cada piso

Cada piso apresenta espaços diferentes com características e funções específicas. Como tal, o número de indivíduos que circulam em cada um dos pisos varia bastante. Para além disso, apresentam um conjunto de competências heterogêneas, podem ser maioritariamente docentes, estudantes, trabalhadores de laboratório, auxiliares, empregadas da limpeza ou seguranças, o que provoca variações no período de tempo que permanecem no edifício. Para atingir o objetivo proposto, para além de ser necessário conhecer o volume médio de cada descarga de cada dispositivo sanitário é necessário conhecer o número de utilizadores dos aparelhos sanitários e o número de descargas realizadas por cada um deles num dia. O período de tempo que cada um dos utilizadores permanece no pavilhão, depende maioritariamente da sua função e tal influencia diretamente o número médio de descargas diárias por dispositivo sanitário.

O coordenador dos espaços do pavilhão forneceu as informações necessárias sobre as características físicas do pavilhão e os valores de ocupação máxima dos diferentes espaços, sendo que estes foram posteriormente verificados no local. Tendo isso em consideração, foi necessário que cada um dos pisos fosse sujeito a uma estimativa de consumo adaptada às utilizações aí verificadas. A taxa de ocupação de cada piso foi o parâmetro que se variou para calibrar a estimativa de consumo global, que se pretende que fique o mais próxima possível do valor de consumo médio mensal (741,76 m³/mês). Para

além das descargas realizadas individualmente pelos utilizadores foi necessário estimar os volumes de água consumidos nas atividades de limpeza preconizadas no pavilhão, pois estas também estão contabilizadas no contador. Em primeira instância, os volumes de água consumidos nas atividades de limpeza foram, em média, aferidos no local com a responsável da equipa de limpeza. No entanto, visto que se chegou à conclusão que o pessoal de limpeza apresentava consumos diferentes para a mesma atividade, foi necessário realizar diversas iterações até atingir os valores que são descritos no próximo capítulo. As iterações realizadas tiveram sempre em consideração o consumo mensal médio do ano de 2016 determinado no capítulo anterior, visto ser o valor real a partir do qual se desenvolveu o caso de estudo.

Note-se que o piso 4 não foi considerado nesta dissertação por não apresentar interesse do ponto de vista do consumo de água, visto que não tem acesso ao público, sendo onde se encontram as centrais técnicas. Relativamente ao piso -3, embora seja o local principal onde a equipa de limpeza consome a maior parte dos volumes de água para a limpeza dos espaços do pavilhão, esses valores vão ser considerados ao nível de cada um dos pisos. Como tal, embora o piso -3 não seja referido nas estimativas que se seguem dos pisos do pavilhão, parte dos consumos aferidos ao nível de cada piso do pavilhão é relativo ao piso -3.

Seguidamente são apresentados os valores de consumo finais para cada piso, com a descrição das várias hipóteses assumidas.

4.2.3.1. Piso 3

O piso 3 é constituído por casas-de-banho, gabinetes, secretariados e salas comuns, laboratórios e respetivas salas de apoio, salas de arquivo e, por fim, espaços de circulação, como escadas, elevadores e corredores. Neste piso circulam essencialmente docentes, secretárias e alunos bolseiros que aí dispõem do respetivo gabinete ou sala.

De forma a ser viável estimar o consumo total de água referente ao piso 3 é necessário, em primeiro lugar, estimar o número de pessoas que circulam diariamente neste piso. Só desta forma é possível estimar os volumes de água que são consumidos nas casas-de-banho, quer em descargas de autoclismos e urinóis, quer em lavatórios. Visto que, na maior parte dos casos, os docentes possuem outras ocupações profissionais para além de trabalharem no Instituto Superior Técnico, considerou-se que a ocupação média diária deste piso é de 70% da ocupação máxima. A ocupação máxima, que é mencionada em todos os pisos, é referente ao número total de utilizadores que trabalham ou estudam no IST no período em que foi analisada a ocupação do pavilhão. Considerou-se ainda que neste piso, durante o fim-de-semana é praticamente inexistente a circulação de pessoas, não tendo sido estimado o número de utilizadores relativamente a esse período por ser desprezável. Em suma, no Quadro 4.3 encontram-se o número de utilizadores referentes a cada um dos espaços existentes neste piso e a estimativa do número médio de utilizadores.

Quadro 4.3 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 3.

Espaços	Nº máximo de utilizadores por espaço	Nº máximo de utilizadores	Estimativa do nº médio de utilizadores (70%)
Gabinetes, secretariados e salas comuns	121		
Laboratórios e respetivas salas de apoio	30	151	106
Salas de arquivos	-		
Espaços de circulação	-		

Seguidamente, é necessário determinar o número de descargas médias diárias que cada uma dessas pessoas realiza neste piso. Após várias iterações, tendo em conta o consumo total do pavilhão aferido no contador, assumiu-se para cada pessoa duas descargas médias diárias. Sendo assim, a estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários referentes ao piso 3 é 211.

Seguidamente é necessário estimar os volumes de água consumidos nas **casas-de-banho**. Como já foi referido, os autoclismos consomem cerca de 8,0 litros de água por descarga, enquanto que os lavatórios consomem cerca de 7,5 litros/minuto, sendo que em média os utilizadores gastam o equivalente a 20 segundos de caudal em cada utilização.

Para além disso, é necessário contabilizar a limpeza das casas-de-banho. Após pedir informações à responsável pela equipa de limpeza do pavilhão, estimou-se que em média são gastos dois baldes de água com a capacidade de 20 litros por casa de banho e que estas são limpas três vezes por dia durante os dias da semana. Note-se que as casas-de-banho existentes neste piso não dispõem de limpeza durante o fim-de-semana e que para todos os pisos se considerou que cada mês apresenta um total de 30 dias. No Quadro 4.4 encontram-se as atividades e os respetivos consumos.

Quadro 4.4 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso 3.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Casas-de-banho	82,50	Limpeza geral	40 l/Casa-de-banho	720,0	14400,0
		Descarga dos autoclismos/urinóis	8 l/descarga	1691,2	33824,0
		Lavatórios	7,5 l/min 20 s/utilização	528,5	10570,0

Relativamente aos volumes de água consumidos nas limpezas dos restantes espaços do pavilhão, mediante a informação facultada pela responsável da equipa de limpeza que referiu o número de baldes necessários à limpeza geral de uma determinada área, foi possível determinar os l/m² consumidos. Concluiu-se que é necessário aproximadamente um balde de água de 20l/110 m² para a limpeza geral

dos gabinetes. No que se refere à limpeza do chão através do método convencional, balde e esfregona, concluiu-se que é consumido 20 l/70 m².

No Quadro 4.5 apresentam-se os consumos referentes aos **gabinetes, secretariados e salas comuns** e a respetiva área. Estes gabinetes são limpos uma vez por dia durante os dias da semana.

Quadro 4.5 - Atividades e respetivos consumos relativos aos gabinetes, secretariados e salas comuns do piso 3.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Gabinetes, secretariados e salas comuns	2053,00	Limpeza geral	20l/110m ²	373,3	7645,5
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	586,6	11731,4

Os **laboratórios e as respetivas salas de apoio** são limpos uma vez por dia durante os dias da semana. No Quadro 4.6 são apresentados os valores de consumo relativamente à limpeza geral e à limpeza do chão que são semelhantes aos apresentados anteriormente para os gabinetes, secretariados e salas comuns.

Quadro 4.6 - Atividades e respetivos consumos relativos aos laboratórios e respetivas salas de apoio do piso 3.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Laboratórios e respetivas salas de apoio	213,07	Limpeza geral	20l/110m ²	38,7	774,8
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	60,9	1217,5

No que diz respeito à limpeza dos **espaços de circulação**, a equipa de limpeza referiu que, duas vezes durante os dias de semana, utiliza-se a máquina auto-lavadora e que esta consome cerca de cinco depósitos de 70 litros por limpeza neste piso. Na Figura 4.2 é possível observar um modelo exemplificativo da auto-lavadora existente no pavilhão.



Figura 4.2 - Modelo exemplificativo da auto lavadora existente no IST.

Fonte: <http://www.alfatennant.com.br/>

Nos restantes dias de semana, utiliza-se o método convencional. No Quadro 4.7 apresentam-se os consumos referentes aos espaços de circulação e áreas do piso 3.

Quadro 4.7 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso 3.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Espaços de circulação	1106,71	Limpeza do chão	Auto-lavadora	350,0	2800,0
			20l/70 m ²	948,6	3794,4

Por fim, neste piso existem ainda espaços com a função de **arquivo** que não necessitam de limpeza diária, por não haver a circulação de pessoas frequentemente. Assumiu-se que são limpos uma vez por semana e que os valores de consumo de l/m² são semelhantes. No Quadro 4.8 são apresentados os respetivos valores de consumo a respetiva área.

Quadro 4.8 - Atividades e respetivos consumos das salas de arquivos do piso 3.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Sala de arquivos	46,69	Limpeza geral	20l/110m ²	8,5	33,9
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	13,3	53,4

É possível concluir que as atividades que consomem maiores volumes de água no piso 3 são as atividades realizadas nas casas-de-banho (limpeza geral, descarga dos autoclismos/urinóis e lavatórios) e a limpeza do chão dos gabinetes. O consumo global do piso 3 é apresentado no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Estimativa do consumo global do piso 3.

PISO 3	l/mês	m ³ /mês
	86664,9	86,7

4.2.3.2. Piso 2

O piso 2 apresenta uma constituição semelhante à do piso 3. Os espaços existentes são casas-de-banho, gabinetes, secretariados e salas comuns, laboratórios e respetivas salas de apoio, salas de

arquivo e, por fim, espaços de circulação. A maior parte das pessoas que circulam são docentes e pessoal do secretariado que trabalham no pavilhão.

Novamente, é necessário estimar o número médio de pessoas que circulam diariamente neste piso. Tal como no piso anterior, assumiu-se que a taxa de ocupação média é cerca de 70% da ocupação máxima, pelos mesmos motivos. No fim-de-semana a circulação de pessoas neste piso é desprezável, não se justificando determinar os volumes de água aí consumidos. No Quadro 4.10 encontram-se os números de utilizadores referentes a cada um dos espaços e a estimativa do número médio de utilizadores diários.

Quadro 4.10 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 2.

Espaços	Nº máximo de utilizadores por espaço	Nº máximo de utilizadores	Estimativa do nº médio de utilizadores (70%)
Gabinetes, secretariados e salas comuns	104		
Laboratórios e respetivas salas de apoio	42	146	102
Salas de arquivos	-		
Espaços de circulação	-		

Seguidamente, estimou-se que cada pessoa realiza diariamente duas descargas no piso 2, por motivos semelhantes aos descritos no piso anterior. Sendo assim, a estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários referentes ao piso 2 é 204.

A estimativa de consumos do piso 2 segue a mesma metodologia, que foi apresentada no piso 3, por possuir características físicas e de ocupação semelhantes. No Quadro 4.11 encontram-se as atividades sistematizadas relativas a cada espaço do piso 2, bem como os respetivos consumos e área.

Quadro 4.11 - Atividades e respectivos consumos relativos aos espaços do piso 2.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Casas-de-banho	82,50	Limpeza	40 l/Casa-de-banho	720,0	14400,0
		Descarga dos autoclismos/urinóis	8 l/descarga	1635,2	32704,0
		Lavatórios	7,5 l/min 20 s/lavagem	511,0	10220,0
Gabinetes, secretariados e salas comuns	1874,13	Limpeza geral	20l/110m ²	340,8	6815,0
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	535,5	10709,3
Laboratórios e respetivas salas de apoio	402,62	Limpeza geral	20l /110 m ²	73,2	1464,1
		Limpeza do chão	20l /70 m ²	115,0	2300,7
Espaços de circulação	981,81	Limpeza do chão	Auto-lavadora	350,0	2800,0
			20l/70 m ²	280,5	3366,2
Sala de arquivos	90,70	Limpeza geral	20l/110 m ²	16,5	65,9
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	25,9	103,7

É possível concluir que as atividades que consomem volumes de água superiores são as atividades realizadas nas casas-de-banho e a limpeza do chão dos gabinetes. Em suma, neste piso apresenta-se o consumo global apresentado no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 - Estimativa do consumo global do piso 2.

PISO 2	l/mês	m ³ /mês
	84948,9	84,9

4.2.3.3. Piso 1

O piso 1 não apresenta a mesma estrutura e espaços que o piso 2 e 3, já que este é constituído essencialmente por salas de aula. Neste piso circulam, maioritariamente estudantes, embora também docentes, secretárias e assistentes do pavilhão que garantem o bom funcionamento do piso. Para além das salas de aula é possível encontrar secretariados, casas-de-banho, espaços de circulação e o LTI. O LTI é um espaço com computadores que tem como objetivo apoiar o estudo e os diversos trabalhos dos estudantes de engenharia civil e arquitetura. Existem ainda algumas salas que pertencem à FUNDEC, Associação de Formação e Desenvolvimento de Engenharia Civil, que promovem ações de formação no edifício.

Após várias iterações, foi assumida uma taxa de ocupação de 65% da ocupação máxima do piso 1 durante os dias de semana. Ao contrário do que acontece nos pisos 2 e 3, este piso encontra-se acessível aos fins-de-semana a estudantes do IST sempre que há a lotação do Espaço 24 do piso 0 que será abordado seguidamente. Como essa situação acontece frequentemente considerou-se, embora com um número muito menor de utilizadores, os volumes de água consumidos por esses estudantes e também a limpeza necessária nas respetivas salas e casas-de-banho. Foi considerado que, nos fins-de-semana, em média, circulam no piso 1 apenas 10% da sua ocupação máxima, sendo que apenas ao sábado se considera também 10% da ocupação máxima do LTI. Em suma, no Quadro 4.13 é possível encontrar os principais utilizadores de cada um dos espaços deste piso.

Quadro 4.13 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 1.

Espaços	Nº máximo de utilizadores por espaço	Nº máximo de utilizadores	Estimativa do nº médio de utilizadores nos dias de semana	Estimativa do nº médio de utilizadores ao sábado	Estimativa do nº médio de utilizadores ao domingo
Salas de Aula	1620				
LTI	282				
Secretariados	3	1905	1238	191	162
Espaços de circulação	-				

Como já foi referido anteriormente, a estimativa do número de utilizadores é um parâmetro essencial a ter em consideração pois só desta forma é possível estimar o número de descargas diárias dos autoclismos e urinóis e, também, o volume de água que os lavatórios consomem neste piso. Assumiu-se uma descarga diária por cada uma das pessoas estimadas que circulam neste piso. Tal acontece, pois na maior parte das situações, as pessoas circulam neste piso por menores períodos de tempo. No Quadro 4.14 é apresentada a estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos no piso 1.

Quadro 4.14 - Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários no piso 1.

PERÍODO	Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários
Dias de semana	1238
Sábado	191
Domingo	162

As hipóteses tidas em consideração nos pisos anteriores nas **casas de banho**, em relação ao consumo por descarga dos dispositivos sanitários, são semelhantes. No entanto, a limpeza das casas-de-banho é efetuada aos sábados como se se tratasse de um dia de semana e, usualmente, aos domingos uma vez por dia. No Quadro 4.15 encontram-se as atividades sistematizadas, bem como os respetivos consumos de cada dia.

Quadro 4.15 - Atividades e respetivos consumos diários relativos às casas de banho do piso 1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia-de-semana	l/sábado	l/domingo
Casas de banho	82,56	Limpeza	40 l/Casa-de-banho	720,0	480,0	240,0
		Descarga dos autoclismos/urinóis	8 l/descarga	9906,0	1521,6	1296,0
		Lavatórios	7,5 l/min 20 s/utilização	3095,6	475,5	405,0

Seguidamente no Quadro 4.16 encontram-se os consumos mensais de cada uma das atividades das casas-de-banho.

Quadro 4.16 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às casas de banho do piso 1.

	Atividades de consumo	l/mês
Casas-de-banho	Limpeza	17280,0
	Descarga dos autoclismos/urinóis	209390,4
	Lavatórios	65434,5

No que diz respeito aos **espaços de circulação**, as hipóteses relativas ao método convencional mantêm-se constantes, no entanto, em relação à auto-lavadora, esta apenas consome quatro depósitos de 70l. No Quadro 4.17 apresentam-se os consumos referentes aos espaços de circulação do piso 1, bem como a sua área.

Quadro 4.17 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso 1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Espaços de circulação	831,92	Limpeza do chão	Auto-lavadora	280,0	2240,0
			20l/70 m ²	482,5	5790,2

No Quadro 4.18 são apresentados os valores dos consumos para a limpeza geral e para a limpeza do chão das salas de **secretariados**. As hipóteses consideradas são análogas às dos gabinetes dos pisos anteriores. Por não se justificar, durante o fim-de-semana estes espaços não dispõem de serviços de limpeza.

Quadro 4.18 - Atividades e respetivos consumos relativos às salas de secretariados do piso 1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Salas de secretariados	36,34	Limpeza geral	20l/110m ²	6,5	130,8
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	10,5	210,8

Como foi mencionado anteriormente, as **salas de aula** são os espaços que representam a maior área de ocupação neste piso, sendo por isso também os espaços onde são consumidos maiores volumes de água, como se pode concluir no Quadro 4.25. As salas da FUNDEC foram incluídas nestes espaços por terem os mesmos parâmetros de limpeza. É importante referir que existe um consumo superior no caso da limpeza geral em comparação, por exemplo, com os gabinetes que podem ser encontrados nos pisos 2 e 3, visto que as salas de aula possuem uma quantidade superior de mesas. Sendo assim, para estes espaços, após solicitar informações ao pessoal da limpeza do pavilhão, conclui-se que em média é necessário um balde de 20 l/70 m² para a limpeza geral e para a limpeza do chão. As salas são limpas duas vezes por dia durante os dias de semana, enquanto que no fim-de-semana são apenas limpas uma vez, no sábado. No Quadro 4.19 são apresentados os consumos de água do piso 1 no que diz respeito às salas de aula.

Quadro 4.19 - Atividades e respectivos consumos relativas às salas de aula do piso 1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/sábado	l/mês
Salas de Aula	2102,03	Limpeza geral	20l/70 m ²	1219,2	609,6	26821,9
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	1219,2	609,6	26821,9

Após solicitar informações ao pessoal da limpeza conclui-se que o LTI é limpo uma vez por dia durante os dias de semana e o sábado. Os volumes de água consumidos para a limpeza do chão e geral são idênticos às salas de secretariado. No Quadro 4.20 estão apresentados os valores dos volumes de água consumidos no LTI e a respetiva área.

Quadro 4.20 - Atividades e respectivos consumos relativos ao LTI do piso 1.

Espaço	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/sábado	l/mês
LTI	447,37	Limpeza geral	20l/110 m ²	80,5	80,5	1932,6
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	129,7	129,7	3113,7

Em suma, após a análise dos consumos de água dos espaços é possível concluir que as atividades que consomem volumes mais elevados no piso 1 são as atividades realizadas nas casas-de-banho e a limpeza das salas. A estimativa dos consumos totais do piso 1 está apresentada no Quadro 4.21.

Quadro 4.21 - Estimativa do consumo global do piso 1.

PISO 1	L/mês	m ³ /mês
	359166,8	359,2

4.2.3.4. Piso 0

O piso 0 é constituído pela receção, salas do Espaço 24, salas de arquitetura, bar e restaurante, museu de engenharia civil, espaços de circulação e casas-de-banho. Existem ainda outras salas com funções que vão variando de acordo com as necessidades do pavilhão e também salas que apoiam a associação de estudantes. As salas do Espaço 24 encontram-se em funcionamento durante 24 horas, sendo acessíveis a estudantes de qualquer faculdade. Relativamente ao bar e restaurante, o seu

gerente referiu que, em média, são servidas entre 2000 a 2500 refeições num dia de semana do período escolar. Como tal, foi considerado que são servidas 2250 refeições diárias.

Tal como nos pisos anteriores, é necessário definir a taxa de ocupação deste piso, de forma a determinar os volumes de água consumidos. Assumiu-se uma taxa de ocupação de 65% da ocupação máxima nos dias de semana. No caso dos fins-de-semana, apenas as salas do Espaço 24 se encontram em funcionamento e foi estimada uma taxa de ocupação de 70% nesse período. Este é um valor aceitável, tendo em conta que na maior parte dos dias as salas não se encontram lotadas e que, nos fim-de-semanas, a afluência no pavilhão de civil sofre um aumento. É ainda importante referir que, visto que a maior parte das pessoas que frequentam o bar e o restaurante são pessoas que já se encontram no edifício e, portanto, já contabilizadas noutros pisos, considerou-se que apenas 20% das refeições diárias, o correspondente a 450 das 2250 pessoas contribuem para o consumo de água referente ao piso 0. Esta estimativa é importante para contabilizar as descargas dos dispositivos sanitários realizadas no piso 0. No entanto, considerou-se que a água consumida na limpeza deste espaço é contabilizada no espaço do bar e restaurante, cuja área de influência corresponde a outro contador. No Quadro 4.22 estão indicados o número de utilizadores de cada um dos espaços do piso 0.

Quadro 4.22 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso 0.

Espaços	Nº máximo de utilizadores por espaço	Nº máximo de utilizadores	Estimativa do nº médio de utilizadores nos dias de semana (65%)	Estimativa do nº médio de utilizadores do Espaço 24 nos fins-de-semana (70%)
Salas do Espaço 24	450			
Salas de arquitetura	104			
Outras salas	Valor variável			
Bar e restaurante	450	1011	657	315
Associação de estudantes	5			
Receção	2			

Para este piso estabeleceu-se que 15% dos utilizadores realizam duas descargas diárias, que são a parcela das pessoas que permanecem por longos períodos de tempo neste piso, como por exemplo as pessoas do Espaço 24, enquanto as restantes realizam apenas uma descarga nos vários dispositivos sanitários nos dias de semana. Por outro lado, nos fins-de-semana considerou-se que 50% dos utilizadores realizam duas descargas diárias em média. Tal sucedeu-se devido aos tempos de permanência superiores nas salas do Espaço 24 durante esse período. No Quadro 4.23 é apresentada a estimativa do número de descargas dos dispositivos sanitários.

Quadro 4.23 – Estimativa do número de descargas dos dispositivos sanitários do piso 0.

PERÍODO	Estimativa do número de descargas dos dispositivos sanitários
Dias de semana	756
Fim-de-semana	473

O volume de água consumido por utilização dos dispositivos sanitários e por limpeza de cada **casa de banho** mantém-se constante relativamente aos pisos anteriores. No que se refere à periodicidade da limpeza, após consultar a responsável da equipa, concluiu-se que é semelhante à considerada no piso 1. Seguidamente, o Quadro 4.24 indica os consumos das atividades das casas-de-banho referentes ao piso 0 ao longo dos vários dias da semana.

Quadro 4.24 - Atividades e respetivos consumos diários relativos às casas de banho do piso 0.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia-de-semana	l/sábado	l/domingo
Casas-de-banho	83,04	Limpeza	40 l/Casa-de-banho	720,0	480,0	240,0
		Descarga dos autoclismos/urinóis	8 l/descarga	6045,8	3780,0	3780,0
		Lavatórios	7,5 l/min 20 s/utilização	1889,3	1181,3	1181,3

Em suma, é apresentado no Quadro 4.25 o consumo mensal de cada uma das atividades das casas-de-banho.

Quadro 4.25 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às casas de banho do piso 0.

	Atividades de consumo	l/mês
Casas-de-banho	Limpeza	17280,0
	Descarga dos autoclismos/urinóis	151155,6
	Lavatórios	47236,1

No que se refere às **salas do Espaço 24**, estas apresentam as mesmas características que as salas de aula analisadas no piso 1 e, como tal, vão apresentar os mesmos l/m² consumidos. Sendo assim para estes espaços conclui-se que em média é necessário um balde de 20 l/70 m² para a limpeza geral e para a limpeza do chão. As salas são limpas duas vezes por dia durante os dias de semana, enquanto

no fim-de-semana, apenas são limpas uma vez no sábado. No Quadro 4.26 são apresentados os consumos de água das salas do Espaço 24 e a respetiva área do piso 0.

Quadro 4.26 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às salas do Espaço 24 do piso 0.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia-de-semana	l/sábado	l/mês
Salas do Espaço 24	537,28	Limpeza geral	20l/70 m ²	311,62	155,8	6855,7
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	311,62	155,8	6855,7

Relativamente às **salas de arquitetura**, embora estas apresentem as mesmas características e consequentemente os mesmos volumes de água consumidos por m² que as salas do Espaço 24, não apresentam a mesma periodicidade de limpeza. A limpeza é apenas realizada uma vez por dia durante os dias da semana. No Quadro 4.27 estão indicados volumes de água consumidos mensalmente nestes espaços.

Quadro 4.27 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos às salas de arquitetura do piso 0.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia-de-semana	l/mês
Salas de arquitetura	408,80	Limpeza geral	20l/70 m ²	118,55	2371,0
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	118,55	2371,0

Existem ainda outras **salas que apresentam funções variáveis** consoante as necessidades do pavilhão. Estimou-se que o consumo de água nestas salas é menor que nas anteriores, pois a sua utilização não é tão frequente como nas restantes salas do piso 0. No Quadro 4.28 são apresentados os valores de consumo relativos a este piso, tendo em conta que na limpeza geral é consumido um balde de 20 l/110 m² e na limpeza do chão é consumido um balde de 20 l/70 m² e estas são limpas uma vez por dia.

Quadro 4.28 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos a outras salas do piso 0.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Outras salas (0.14;0.15;0.01;0.09)	234,58	Limpeza geral	20l/110 m ²	42,2	844,5
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	68,0	1360,6

Seguidamente a **recepção e a sala da associação de estudantes** foram inseridas no mesmo grupo por apresentarem os mesmos consumos, indicados no Quadro 4.29. Note-se que estes espaços são limpos uma vez por dia.

Quadro 4.29 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos à recepção e associação de estudantes do piso 0.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Recepção e Associação de estudantes	52,94	Limpeza geral	20l/110 m ²	9,5	190,6
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	15,4	307,1

No que diz respeito à limpeza dos **espaços de circulação**, utiliza-se a máquina auto-lavadora nos locais onde o pavimento apresenta um revestimento de pedra, sendo que esta consome cerca de seis depósitos de 70l por limpeza neste piso. Nos restantes espaços, utiliza-se o método convencional que consome um balde de água de 20 l/70 m². O Quadro 4.30 apresenta os consumos relativos à limpeza dos espaços de circulação. Neste piso, estes espaços são limpos uma vez durante os dias da semana e ao sábado de manhã.

Quadro 4.30 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos aos espaços de circulação do piso 0.

	Características	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/sábado	l/mês
Espaços de circulação	Átrio e corredores de chão com revestimento de pedra	Limpeza do chão	Auto-lavadora	420,0	420,0	10080,0
	Zona de escadas e corredores		Método convencional 20l/70 m ²	99,9	74,7	2398,4

No caso do **museu de engenharia de civil** considerou-se que a limpeza apresenta um consumo de 20l/70 m² e que este espaço é limpo uma vez por semana. No Quadro 4.31 são indicados os valores relativos aos consumos mensais deste espaço.

Quadro 4.31 - Atividades e respetivos consumos mensais relativos ao museu de engenharia civil do piso 0.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Museu	264,47	Limpeza	20l/70 m ²	76,7	1533,9

No piso 0 as atividades que consomem volumes de água superiores são as que se realizam nas casas-de-banho, como acontece na maior parte dos pisos, e também a limpeza dos átrios. Seguidamente no Quadro 4.32 são apontados os valores de consumo mensal relativos a este piso.

Quadro 4.32 - Estimativa do consumo global do piso 0.

PISO 0	l/mês	m ³ /mês
	250840,2	250,8

4.2.3.5. Piso -1

O piso -1 é constituído por anfiteatros para o ensino, pela biblioteca, por parte do centro de congressos, por laboratórios e respetivas salas de apoio, espaços de circulação e casas-de-banho. Existem ainda outras salas com funções que vão variando de acordo com as necessidades do pavilhão. Neste piso circulam, maioritariamente estudantes, embora também docentes e assistentes da biblioteca e pavilhão que garantem o bom funcionamento dos respetivos espaços.

Após várias iterações adotou-se uma taxa de ocupação de 65% da ocupação máxima nos dias de semana. Assumiu-se também que neste piso, ao fim-de-semana, não existe a circulação de pessoas, hipótese que se adequa à realidade. No Quadro 4.33 é possível encontrar os principais utilizadores de cada espaço.

Quadro 4.33 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso -1.

Espaços	Nº máximo de utilizadores por espaço	Nº máximo de utilizadores	Estimativa do número médio de utilizadores nos dias de semana com o centro de congressos em funcionamento	Estimativa do número médio de utilizadores nos dias de semana sem o centro de congressos em funcionamento
Anfiteatro para ensino	556			
Laboratórios e respetivas salas de apoio	30			
Centro de congressos	54	695	452	417
Biblioteca	55			
Espaços de circulação	-			
Receção	2			
Outros Espaços	-			

É importante referir que o centro de congressos não se encontra em funcionamento todos os dias do ano. Como tal, considerou-se, como estimativa que, numa semana, a contribuição deste espaço para o consumo dos dispositivos sanitários é apenas, em média, durante três dias. Nos restantes dois dias da semana apenas se considera como contribuidores das descargas dos dispositivos sanitários os restantes utilizadores dos anfiteatros, laboratórios e respetivas salas de apoio e bibliotecas. Assumiu-se que, cada uma das pessoas que se encontram no piso -1 realiza uma descarga por dia nos vários dispositivos sanitários em ambos os casos. A estimativa do número de descargas dos dispositivos sanitários é apresentada no Quadro 4.34.

Quadro 4.34 - Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários no piso -1.

PERÍODO	Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários
Dias de semana com centro de congressos em funcionamento	452
Dias de semana com centro de congressos em funcionamento	417

Relativamente às **casas de banho**, as hipóteses tidas em consideração nos pisos anteriores, em relação aos dispositivos sanitários, são semelhantes. No Quadro 4.35 encontram-se as atividades sistematizadas, bem como os respetivos consumos médios por dia. Note-se que o consumo de limpeza é menor, visto que as casas-de-banho neste piso apresentam características diferentes das referentes aos pisos anteriores. As casas de banho apenas são limpas uma vez por dia durante os dias de semana.

Quadro 4.35 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso -1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Casas-de-banho	105,14	Limpeza	40 l/Casa-de-banho	600,0	12000,0
		Descarga dos autoclismos/urinóis	8 l/descarga	3614,0	68910,4
		Lavatórios	7,5 l/min 20 s/lavagem	1129,4	22587,5

Relativamente aos **anfiteatros para ensino**, estes apresentam consumos por m² semelhantes aos determinados nas salas de aula pelos mesmos motivos, onde em média é consumido um balde de 20 l/70 m². No Quadro 4.36 são apresentados os consumos de água dos anfiteatros e a respetiva área. Estes são limpos uma vez por dia durante os dias da semana

Quadro 4.36 - Atividades e respetivos consumos relativos aos anfiteatros para o ensino do piso -1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Anfiteatro para ensino	628,79	Limpeza geral	20l/70 m ²	182,4	3645,0
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	182,4	3645,0

No Quadro 4.37 são apresentados os valores de consumo relativamente à limpeza geral e à limpeza do chão dos **laboratórios e as respetivas salas de apoio** que são semelhantes aos apresentados nos pisos anteriores. Estes são limpos uma vez por dia durante os dias da semana.

Quadro 4.37 - Atividades e respetivos consumos relativos aos laboratórios e respetivas salas de apoio do piso -1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Laboratórios e respetivas salas de apoio	671,05	Limpeza geral	20l/110 m ²	120,8	2415,8
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	194,6	3892,1

No que diz respeito aos **espaços de circulação**, a responsável pela equipa de limpeza referiu que neste piso, no pavimento revestido por pedra, a limpeza é realizada com a máquina auto-lavadora uma vez por dia apenas nos dias de semana. Em média, são utilizados quatro depósitos de 70l por cada limpeza. Nos restantes espaços de circulação é utilizado o método convencional onde é consumido 20l/70m². No Quadro 4.38 apresentam-se os consumos referentes aos espaços de circulação e áreas do piso -1.

Quadro 4.38 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso -1.

	Local	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Espaços de circulação	Átrio e corredores de chão com revestimento de pedra	871,41	Limpeza do chão	Auto-lavadora	280,0	5600,0
	Restantes espaços de circulação	113,94		Método convencional 20l/70 m ²	33,0	660,9

Relativamente à **biblioteca**, aferiu-se que a limpeza é realizada uma vez por dia durante os dias de semana, sendo que se estimou que os consumos deste espaço são para a limpeza geral 20l/110m² e para a limpeza do chão 20l/70m², tal como em outros espaços do pavilhão. A limpeza é realizada uma vez por dia. No Quadro 4.39 apresentam-se os respetivos consumos e área.

Quadro 4.39 - Atividades e respetivos consumos relativos à biblioteca do piso -1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Biblioteca	296,94	Limpeza geral	20l/110m ²	53,5	1068,9
		Limpeza do chão	20l/70m ²	86,1	1722,3

No que se refere ao **centro de congressos** considerou-se que este é limpo uma vez por dia, apenas nos dias em que se encontra em funcionamento. Tendo em consideração que neste espaço os consumos de água são superiores, é consumido 1 balde de 20l/70 m² para a limpeza do chão, que é o

consumo usual, mas também para a limpeza geral. No Quadro 4.40 indicam-se os valores de consumo mensais relativos a este piso.

Quadro 4.40 - Atividades e respetivos consumos relativos ao centro de congressos do piso -1.

Espaço	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Centro de congressos	212,70	Limpeza geral	20l/70 m ²	61,7	740,2
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	61,7	740,2

Existem ainda **outras salas** que apresentam funções variáveis consoante as necessidades do pavilhão. Estimou-se que o consumo de água nestas salas é menor que nas anteriores, visto que não são tão utilizadas como os restantes espaços do piso -1. No Quadro 4.41 indicam-se os valores de consumo relativos a este piso, tendo em conta que na limpeza geral é consumido 1 balde de 20l/110 m² e a limpeza do chão também apresenta o mesmo consumo, sendo que apenas são limpos uma vez por semana.

Quadro 4.41 - Atividades e respetivos consumos relativos aos restantes espaços do piso -1.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Outros espaços	239,14	Limpeza geral	20l/110 m ²	59,8	239,1
		Limpeza do chão	20l/110 m ²	79,7	318,9

No piso -1 as atividades que consomem volumes de água superiores são as que se realizam nas casas-de-banho. Seguidamente no Quadro 4.42 são apresentados os valores de consumo mensal relativos a este piso.

Quadro 4.42 - Estimativa do consumo global do piso -1.

PISO -1	L/mês	m ³ /mês
	127976,6	128,0

4.2.3.6. Piso -2

Os espaços que encontramos no piso -2 são o centro de congressos, as salas de apoio, os laboratórios e respetivas salas de apoio, outro espaço pertencente à biblioteca, os espaços de circulação e, por fim, as casas-de-banho. Neste piso circulam, maioritariamente pessoas que vêm assistir a conferências no

centro de congressos ou se encontram a trabalhar nos laboratórios e respetivas salas de apoio. Foi assumido que, ao fim-de-semana, não existe a circulação de pessoas.

Após várias iterações, novamente tendo em conta o consumo total do pavilhão, foi assumida uma taxa de ocupação de 60% da ocupação máxima nos dias de semana. No Quadro 4.43 é possível encontrar os principais utilizadores de cada espaço deste piso.

Quadro 4.43 - Estimativa do número médio de utilizadores do piso -2.

Espaços	Nº máximo de utilizadores por espaço	Nº máximo de utilizadores	Estimativa do número médio de utilizadores nos dias de semana com o centro de congressos em funcionamento	Estimativa do número médio de utilizadores nos dias de semana sem o centro de congressos em funcionamento
Laboratórios e respetivas salas de apoio	77			
Centro de congressos	440			
Biblioteca	1	518	311	47
Salas de apoio	-			
Espaços de circulação	-			

Tal como no piso -1, no piso -2 é possível encontrar auditórios e salas pertencentes ao centro de congressos. Pelos mesmos motivos apresentados no piso anterior, este espaço não se encontra em funcionamento todos os dias do ano. Como tal considerou-se que, numa semana, a contribuição deste espaço para o consumo dos dispositivos sanitários é apenas, em média, durante três dias. Nos restantes dois dias da semana, apenas se considera como contribuidores das descargas dos dispositivos sanitários os restantes utilizadores dos laboratórios e respetivas salas de apoio e o responsável pelo espaço da biblioteca. Assumiu-se que cada uma das pessoas que se encontram no piso -2 realiza uma descarga por dia nos vários dispositivos sanitários em ambos os casos. A estimativa do número de descargas dos dispositivos sanitários é apresentada no Quadro 4.44.

Quadro 4.44 - Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários no piso -2.

PERÍODO	Estimativa do número de descargas diárias dos dispositivos sanitários
Dias de semana com o centro de congressos em funcionamento	311
Dias de semana sem o centro de congressos em funcionamento	47

Seguidamente, nas casas de banho do piso -2 os volumes de água consumidos por m² por dispositivo sanitário e por limpeza de casa de banho mantêm-se semelhantes ao piso -1. Note-se que as casas-

de-banho existentes neste piso não dispõem de limpeza durante o fim-de-semana. No Quadro 4.45 encontram-se as atividades e os respetivos consumos.

Quadro 4.45 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso -2.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Casas-de-banho		Limpeza	40 l/Casa-de-banho	600,0	12000,0
	89,23	Descarga dos autoclismos/ urinóis	8 l/descarga	2486,4	24384,0
		Lavatórios	7,5 l/min 20 s/lavagem	777,0	10260,0

No que diz respeito aos **espaços de circulação**, no pavimento revestido por pedra, a limpeza é realizada com a máquina auto-lavadora uma vez por dia nos dias de semana. Em média, são utilizados três depósitos de 70l por cada limpeza. Nos restantes espaços de circulação é utilizado o método convencional. No Quadro 4.46 apresentam-se os consumos referentes aos espaços de circulação e áreas do piso -2.

Quadro 4.46 - Atividades e respetivos consumos relativos aos espaços de circulação do piso -2.

	Espaço	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Espaços de circulação	Átrio e corredores de chão com revestimento de pedra	383,61	Limpeza do chão	Auto-lavadora	210,0	1680,0
	Zona de escadas e elevadores	304,52		20l/70 m ²	88,3	1766,2

Relativamente ao espaço pertencente à **biblioteca**, apresenta os mesmos consumos que a biblioteca localizada no piso -1. No Quadro 4.47 apresentam-se também os consumos referentes aos **laboratórios e respetivas salas de apoio** os respetivos consumos e área.

Quadro 4.47 - Atividades e respetivos consumos relativos ao espaço pertencente à biblioteca e aos laboratórios e respetivas salas de apoio do piso -2.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Espaço pertencente à biblioteca + Laboratórios e respetivas salas de apoio	121,03	Limpeza geral	20l/110 m ²	426,7	8534,0
	+ 2249,52	Limpeza do chão	20l/70 m ²	687,5	13749,2

Note-se que é necessário estimar os consumos nas diferentes atividades laboratoriais referentes aos laboratórios existentes no piso -2. O objetivo inicial era determinar as restantes atividades do pavilhão e subtrair à estimativa de consumo efetivo indicado pelo contador. No entanto, as hipóteses assumidas resultaram num consumo global do pavilhão superior ao apresentado na realidade, como se poderá concluir no capítulo seguinte. Assim sendo, torna-se muito difícil determinar o consumo referente ao laboratório, visto que existem inúmeras pessoas que lá estudam e trabalham, cada uma com os seus padrões de consumo e diferentes utilizações. Para além disso, existem certos laboratórios que apresentam circuitos fechados de utilização da água. Como este valor não apresenta importância do ponto de vista do dimensionamento da solução de tratamento, tendo em conta que não se pretende que este volume de água seja sujeito a tratamento, optou-se por não o estimar. No entanto, fica referido que essa parcela se encontra em falta na estimativa de consumo global do pavilhão.

No Quadro 4.48 indicam-se os valores de consumo relativos às **salas de apoio**. Estas são apenas limpas uma vez por semana.

Quadro 4.48 - Atividades e respetivos consumos relativos às casas de banho do piso -2.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Salas de apoio	265,00	Limpeza geral	20l/110 m ²	47,7	190,8
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	76,9	307,4

No que se refere ao **centro de congressos** considerou-se que apresenta consumos/m² e a periodicidade de limpeza semelhantes aos indicados no piso -1. No Quadro 4.49 indicam-se os valores de consumo mensais relativos a este piso.

Quadro 4.49 - Atividades e respetivos consumos relativos ao centro de congressos do piso -2.

	Área (m ²)	Atividades de consumo	Consumo	l/dia	l/mês
Centro de congressos	726,96	Limpeza geral	20l/70 m ²	210,82	2529,8
		Limpeza do chão	20l/70 m ²	210,82	2529,8

No piso -2 as atividades que consomem volumes de água superiores são as que se realizam nas casas-de-banho e na limpeza dos laboratórios e respetivas salas de apoio. Seguidamente, no Quadro 4.50 são apresentados os valores de consumo mensal relativos a este piso.

Quadro 4.50 - Estimativa do consumo global do piso -2.

PISO -2	L/mês	m ³ /mês
		77931,23

4.3. Estimativa do consumo mensal do pavilhão de civil

Através da análise realizada anteriormente, é possível estimar o consumo global do pavilhão de civil. No Quadro 4.51 são apresentados esses valores.

Quadro 4.51 - Estimativa do consumo global do pavilhão de civil.

Piso	Consumo mensal (m ³ /mês)	Consumo mensal global do pavilhão (m ³ /mês)
3	86,7	
2	84,9	
1	359,2	
0	250,8	987,5
-1	128,0	
-2	77,9	

Recapitulando, o consumo médio mensal efetivo do ano de 2016, determinado no capítulo anterior foi de 741,76 m³/mês. A estimativa realizada pretendia ficar o mais próximo possível desse valor de consumo efetivo. No entanto, a metodologia aplicada para a determinação da estimativa do consumo global do pavilhão esteve dependente da informação disponível, pelo que é de ressaltar que não foi possível obter dados efetivos dos consumos dos dispositivos sanitários, como já tinha sido referido anteriormente. Como tal, na estimativa do consumo, foram assumidas diversas hipóteses que podem apresentar algumas diferenças em relação à realidade. Uma das medidas que pode ter contribuído para este valor acima do esperado é o volume de água gasto por descarga de urinol, que deverá ser menor do que uma descarga de autoclismo. No entanto, devido aos fatores referidos anteriormente optou-se por realizar a simplificação de considerar as descargas dos autoclismos e urinóis semelhantes. Note-se que a parcela relativa aos consumos nas diferentes atividades laboratoriais referentes ao laboratório existente no piso -2 se encontra em falta nesta estimativa, não tendo sido possível estimá-la pelos motivos enunciados no respetivo capítulo. Os volumes de água consumidos pelo sistema de ar condicionado também não foram considerados neste estudo preliminar. No entanto, em última análise, esses valores não se encontram diretamente relacionados com o dimensionamento sumário da solução de tratamento realizada no capítulo seguinte. Relativamente ao piso -3, embora seja o local principal onde a equipa de limpeza consome a maior parte dos volumes de água para a limpeza dos espaços do pavilhão, esses valores foram considerados ao nível de cada um dos pisos. Como tal, embora o piso -3 não seja referido nas estimativas que se seguem dos pisos do pavilhão, parte dos consumos aferidos ao nível de cada piso do pavilhão é relativo ao piso -3.

4.4. Estimativa do caudal efluente do pavilhão de civil

Seguidamente é necessário determinar o caudal efluente residual. Dado que existem perdas nos sistemas de drenagem, o volume de água que aflui à rede de águas residuais domésticas é menor que o consumido. Segundo o *Decreto regulamentar nº 23/95 – Artigo 123*, o fator de afluência à rede de águas residuais domésticas pode variar entre 0,7 e 0,9. Adotou-se um fator de afluência de 90%. Assim o caudal do efluente residual é apresentado no Quadro 4.52.

Quadro 4.52 - Estimativa do caudal efluente global do pavilhão de civil.

Piso	Caudal efluente residual (m ³ /mês)	Caudal efluente residual global (m ³ /mês)
3	78,0	
2	76,4	
1	323,3	
0	225,7	888,7
-1	115,2	
-2	70,1	

Não foi utilizado diretamente o valor da água consumida pelos lavatórios para o dimensionamento da parede verde, não só porque os consumos estimados para o pavilhão foram consideravelmente superiores ao consumo real do pavilhão, como também porque existe uma parcela da água consumida que não contribui para as águas residuais, como por exemplo no enchimento de garrafas de água (atividade bastante frequente no contexto desta universidade).

Como já foi referido anteriormente, o objetivo da parede verde é o de tratar as águas provenientes dos lavatórios dos pisos 1, 2 e 3, sendo que, após o tratamento, pretende-se que estas sejam reutilizadas na lavagem dos respetivos pavimentos dos pisos 1, 2 e 3 do pavilhão. No Quadro 4.53 é possível comparar a procura e a oferta de água. É importante referir que apenas se considerou a água utilizada na limpeza de pavimentos através do método convencional, balde e esfregona.

Quadro 4.53 – Comparação entre a procura e a oferta de água relativamente à solução de tratamento

Procura - Água necessária para a lavagem dos pavimentos dos pisos 1,2 e 3 (l/dia)	3736,7
Oferta - Água consumida nos lavatórios dos pisos 1,2 e 3 (l/dia)	4135,1
Oferta – Caudal efluente dos lavatórios dos pisos 1,2 e 3 (l/dia)	3721,6

Como podemos concluir, a água necessária para a lavagem dos pavimentos dos pisos 1,2 e 3 é apenas ligeiramente superior, pelo que se considera que esta solução apresenta viabilidade em termos de procura *versus* oferta.

5. DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DO SISTEMA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZENTAS

5.1. Considerações iniciais

Após a determinação do caudal efluente residual a tratar, é necessário realizar o dimensionamento preliminar dos vários componentes do sistema de tratamento. Na Figura 5.1 é apresentado o esquema de tratamento.

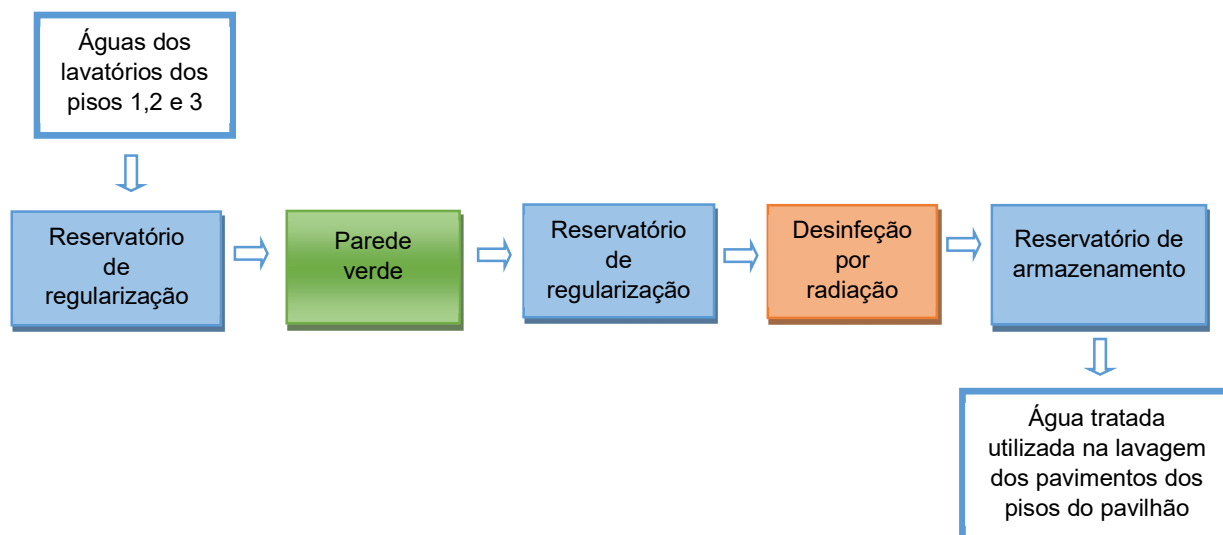


Figura 5.1 - Representação esquemática da solução de tratamento das águas cinzentas do pavilhão de civil do IST.

Em primeiro lugar, é necessário dimensionar um reservatório com a função de regularização de vazão, de forma a compensar as flutuações de consumo de água. Seguidamente, realiza-se a primeira fase do tratamento das águas cinzentas, através da parede verde que remove parte dos poluentes/contaminantes presentes nas águas cinzentas. Novamente é necessário colocar um reservatório para regularizar o caudal após esta fase. A segunda fase do tratamento consiste na desinfecção da água tratada pela parede verde através de radiação UV, para que o efluente final apresente características qualitativas que não ponham em risco a saúde das pessoas que vão contactar diretamente com ela. Por fim, adiciona-se um reservatório de armazenamento a partir do qual se vai realizar a reutilização da água. Note-se que poderia ser necessário proceder à introdução de um tanque de sedimentação.

Nos capítulos seguintes, é apresentado o dimensionamento sumário de cada um dos componentes do sistema de tratamento. É importante referir que, visto que se trata de um sistema experimental baseado num caso de estudo realizado em Pune em 2016 se adotou um processo de dimensionamento simplificado.

5.2. Captação: Reservatório inicial

As atividades que os utilizadores realizam nos lavatórios dos pisos 1,2 e 3 ocorrem a horas diferentes do dia, o que, conseqüentemente, provoca uma variação a curto prazo do fluxo da água. Visto que as águas cinzentas afluem à parede verde em intervalos periódicos, com um caudal pré-definido, é

necessário dimensionar um reservatório para compensar o desfasamento entre a sua afluência e o consumo da parede verde. No entanto, habitualmente existe alguma estabilidade entre a produção e as necessidades das águas cinzentas, o que leva a que seja suficiente dimensionar o reservatório para, aproximadamente, o consumo médio diário da respetiva casa de banho. Esta hipótese apresenta ainda como benefício o facto da qualidade das águas cinzentas não ser posta em risco.

Na Figura 5.2 são assinaladas as 3 torres, Torre Norte, Torre Central e Torre Sul onde estão localizadas as casas-de-banho e também onde se pretende instalar os reservatórios e as unidades de tratamento: paredes verdes. Por torre, por piso, existem duas casas-de-banho.

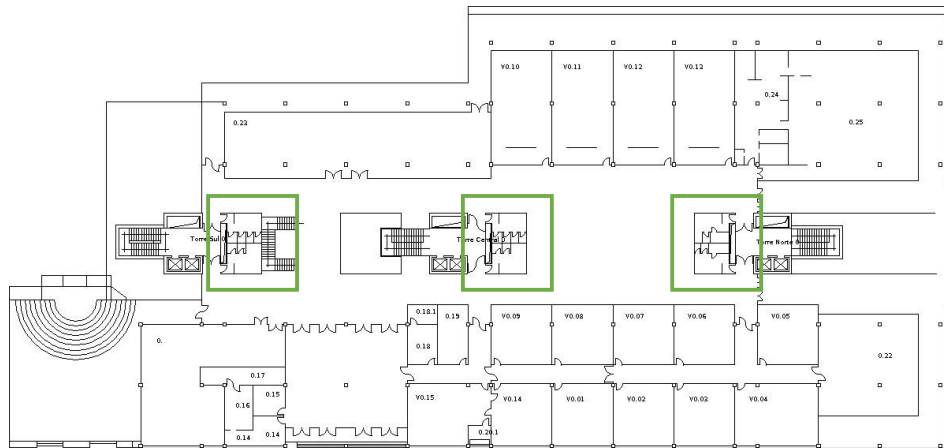


Figura 5.2 – Localização das casas de banho e respetivos lavatórios.

Fonte: Site institucional do IST

Visto que usualmente o reservatório é um dos componentes que ocupa uma área horizontal extensa e tendo em conta que não existe muito espaço disponível no pavilhão, optou-se por colocar um reservatório menor ao nível de cada casa de banho que liga diretamente com a respetiva parede verde. Pretende-se que este se encontre no local abaixo dos lavatórios que se pode observar na Figura 5.3.



Figura 5.3 – Local onde se pretende instalar os reservatórios de regularização.

Fotografia tirada no local

Visto que as casas-de-banho apresentam algumas variações nas medidas entre si, determinou-se que esse espaço no total, em média, apresenta 2,30m de comprimento, 0,8m de altura e 0,60m de profundidade. Note-se que uma fração desse volume está ocupada com a parte inferior dos lavatórios, sendo que se considera como altura útil apenas aproximadamente 0,55m.

Tomou-se como aproximação que o caudal do efluente residual relativo a cada casa de banho é o caudal total de cada piso a dividir igualmente pelas seis casas-de-banho existentes. Embora seja uma simplificação, assume-se que não está muito afastada da realidade, visto que existe uma distribuição aproximadamente uniforme de utilizadores por piso. No Quadro 5.1 é apresentado o caudal do efluente residual médio diário relativo às torneiras de cada casa de banho dos pisos 1,2 e 3 do pavilhão.

Quadro 5.1 – Estimativa do caudal do efluente residual das torneiras de cada casa de banho.

Piso	Estimativa do caudal do efluente residual de cada casa de banho (l/dia)	Estimativa do caudal do efluente residual de cada casa de banho (m³/dia)
3	79,28	0,079
2	76,65	0,077
1	464,34	0,464

Como se pode concluir através do Quadro 5.1, os pisos 2 e 3 apresentam valores menores face ao piso 1, por apresentarem um menor número de utilizadores. Como tal, embora haja um reservatório no piso 3, localizado por baixo dos lavatórios, optou-se por encaminhar as águas cinzentas do piso 3 para o piso 2. Seguidamente, o reservatório do piso 2, que detém as águas cinzentas do piso 2 e 3, faz a ligação com a parede verde. Como já foi referido, todos os reservatórios estão dimensionados para no mínimo, um dia de retenção, sendo que se optou por selecionar um volume total com um volume extra de reserva. Se, por algum motivo exista um consumo de água potável superior ao que o reservatório está dimensionado ou o consumo da parede verde seja interrompido, as águas cinzentas são conduzidas para o sistema de águas residuais convencional. No Quadro 5.2 são apresentadas as dimensões dos reservatórios que se pretendem instalar por piso.

Quadro 5.2 – Volume do reservatório necessário para cada piso.

Pisos	Volume do reservatório (l)
2+3	300
1	750

Note-se que a primeira fila de potes da parede verde é alimentada através de um tubo perfurado, que deriva diretamente de cada um dos reservatórios ao nível das casas de banho. Nesta etapa de tratamento poderia ser adicionado um tanque de sedimentação, de forma a remover os sólidos suspensos nas águas cinzentas.

5.3. Parede verde

Como critério de dimensionamento da parede verde, recorreu-se à carga hidráulica referenciada no caso de estudo realizado em Pune num edifício de escritórios (Masi et al., 2016). Assume-se que as águas cinzentas do pavilhão apresentam uma constituição qualitativa bastante semelhante à apresentada em Pune, visto que nos dois casos as águas provêm de lavatórios das casas-de-banho de utilizadores de escritórios equivalentes. No entanto, para salvaguardar a segurança dos utilizadores, adicionou-se uma etapa de desinfeção por radiação UV no Pavilhão de Civil, para ter em consideração a hipótese das suas águas cinzentas apresentarem uma maior concentração de poluentes. A carga hidráulica considerada é de $96\text{l/m}^2/\text{dia}$ para todas as áreas de tratamento. Através desse valor e do caudal residual efluente estimado para os lavatórios de cada casa de banho é possível determinar a área superficial dos potes necessários para tratar as águas cinzentas do pavilhão de civil.

Na Figura 5.4 é apresentada uma das torres onde estão localizadas as casas-de-banho. As janelas apresentadas na torre são referentes às casas-de-banho. De baixo para cima, o primeiro conjunto é referente ao piso 0, seguidamente ao piso 1 e por fim ao piso 2. Parte do piso 3 encontra-se acima da cobertura, não sendo totalmente visível.



Figura 5.4 – Torre central do pavilhão de civil.

Fotografia tirada no local

Visto que não existe espaço disponível ao nível do pavilhão para construir um reservatório que consiga acumular o volume total de águas cinzentas produzidas e os reservatórios estão localizados ao nível de cada casa de banho pretende-se que exista uma unidade de tratamento independente, parede verde, para cada um deles. Desta forma por torre existem quatro unidades de tratamento, como se poderá constatar seguidamente.

Recapitulando, no Quadro 5.3 são apresentados os valores do caudal do efluente residual total por piso, para cada torre por piso e também para cada casa de banho. Como já tinha sido referido, optou-se por encaminhar as águas cinzentas do piso 3 para o piso 2. Assim sendo, no Quadro 5.3 é apresentado o caudal acumulado dos dois pisos para que o dimensionamento da parede verde tenha essa hipótese em consideração. Note-se que se considerou as perdas por evapotranspiração

desprezáveis nas paredes verdes, por este fator depender do tipo de planta e pelo facto também das unidades de tratamento serem instalações interiores, onde haverá valores muito inferiores aos existentes na Natureza.

Quadro 5.3 - Estimativa do caudal do efluente residual para tratamento em cada torre e na respetiva casa de banho.

Pisos	Estimativa do caudal do efluente residual (l/dia)	Estimativa do caudal do efluente residual para tratamento em cada torre (l/dia)	Estimativa do caudal do efluente residual para tratamento em cada casa de banho (l/dia)
Piso 1	475,65	311,85	155,93
Piso 2	459,90		
Piso 3	2786,06	928,69	464,34

Seguidamente, é possível determinar a área superficial dos potes através da Expressão (1), da carga hidráulica, indicada seguidamente.

$$Ch = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Onde:

Ch - Carga hidráulica (l/m²/dia)

Q – Caudal do efluente (l/dia)

A – Área da solução de tratamento (m²)

No Quadro 5.4 são apresentados os valores da área total da parede verde por casa de banho e também, o respetivo número de potes. Note-se que se manteve também a área superficial de cada pote apresentada no caso de estudo de Pune, 0,01 m².

Quadro 5.4 – Estimativa do número de potes necessários para o tratamento das águas cinzentas por casa de banho.

Pisos	Área necessária dos potes para o tratamento das águas cinzentas por casa de banho (m²)	Nº de potes necessários para o tratamento das águas cinzentas por casa de banho (m²)
Piso 3+2	1,624	163
Piso 1	4,837	484

O facto do pavilhão já se encontrar construído leva a que seja necessário adaptar a solução de tratamento ao traçado já existente. Uma das paredes escolhidas para a parede verde é a que se

apresenta na Figura 5.4, como já tinha sido referido. As outras duas paredes onde se encontram as unidades de tratamento vão ser implementadas apresentam dimensões semelhantes. Contudo, é necessário analisar se o espaço existente na parede é suficiente para os potes que foram determinados anteriormente. No Quadro 5.5 são apresentadas as medidas da parede.

Quadro 5.5 – Dimensões das paredes das torres onde estão inseridas as paredes verdes.

Altura total (m)	12,7
Largura total (m)	7,50
Altura da janela	0,83
Altura entre janelas do piso 0 e 1	2,70
Altura entre janelas do piso 1 e 2 (m)	2,70
Altura entre chão e piso 0 (m)	1,60

Cada pote apresenta uma área superficial de 0,01 m², tendo-se assumido que a sua largura é 0,10m e o seu comprimento também. No artigo científico de Pune não é referida a altura dimensionada para cada pote, sendo que foi estimada uma altura de 0,15 m após consulta da fotografia da unidade de tratamento no artigo. No Quadro 5.6 são apresentados esses valores.

Quadro 5.6- Dimensões de um pote.

Um pote	
Comprimento (m)	0,10
Largura (m)	0,10
Altura (m)	0,15

Optou-se por um afastamento de 0,05m na vertical e na horizontal. Desta forma, para determinar o número de potes que é possível considerou-se na área por pote o respetivo espaço de intervalo, obtendo-se uma área ocupada na parede de 0,03 m².

Através destas medidas é possível aferir se existe espaço suficiente na parede para a unidade de tratamento. Numa primeira fase, a parede foi dividida em 3 painéis separados, como é possível observar na Figura 5.5. O objetivo é determinar o número máximo de potes que é possível instalar em cada um deles, tendo-se deixado uma folga de 0,05m em cima e em baixo em cada um dos painéis, com o objetivo de instalar o sistema de drenagem. Pretende-se que as paredes verdes inseridas no painel 1 tratem as águas cinzentas provenientes de cada um dos reservatórios do piso 2, que contêm as águas cinzentas do piso 2 e 3, e que as paredes verdes inseridas nos painéis 2 e 3 tratem as águas cinzentas provenientes dos reservatórios do piso 1, que apresentam um caudal efluente superior e por isso uma área superior de potes.

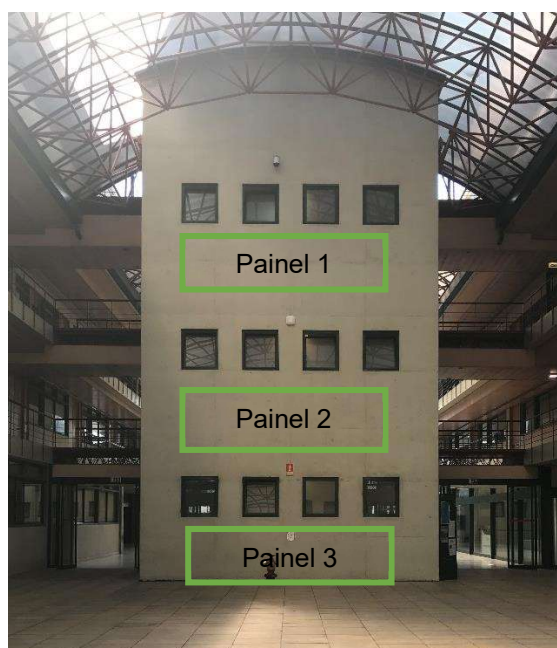


Figura 5.5 – Divisão da parede em três painéis.

Fotografia tirada no local

No Quadro 5.7 apresenta-se o número máximo de potes que é possível instalar e também os que são necessários para realizar o tratamento das águas cinzentas calculados anteriormente. É apresentada a soma dos potes referentes a cada casa de banho do respetivo piso.

Quadro 5.7 - Número máximo de potes que é possível instalar e números de potes necessários para o tratamento.

Painel	Área do painel (m ²)	Área de influência de cada pote (m ²)	Nº máximo de potes possíveis de instalar	Nº de potes necessários para o tratamento
1	7,50 x 2,60 = 19,50	0,03	650	163+163 = 326
2	7,50 x 2,60 = 19,50		650	484+484 = 968
3	7,50 x 1,50 = 11,25		375	

Ao analisar o Quadro 5.9 é possível verificar que existe espaço disponível para instalar as quatro unidades de tratamento. São necessários 326 potes para o tratamento das águas cinzentas do piso 2 e 3 e existe espaço suficiente para instalar 650 potes. No caso do tratamento das águas cinzentas do piso 1 são necessários 968 potes e existe espaço disponível para instalar 1025 potes.

Na Figura 5.6 encontra-se a localização esquemática das unidades de tratamento.

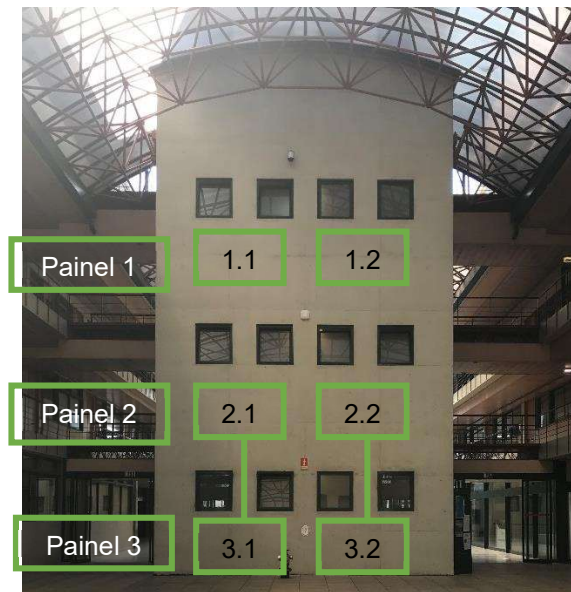


Figura 5.6 - Localização esquemática das unidades de tratamento.

Fotografia tirada no local

Visto que o espaço existente é suficiente para as unidades de tratamento, é necessário dimensionar cada uma delas. No quadro 5.8 encontra-se, em suma, as medidas que cada parede verde vai efetivamente ocupar tendo em conta as suas necessidades. Note-se que, no caso do painel 1, não é necessário ocupar todo o espaço disponível, ao contrário do que acontece no painel 2 e 3.

Quadro 5.8 - Dimensões das unidades de tratamento.

Painel	Parede verde	Comprimento da unidade de tratamento (m)	Largura da unidade de tratamento (m)	Área da parede verde (m²)
1	1.1	3,00	2,00	6,00
	1.2	3,00	2,00	6,00
2	2.1	3,75	2,60	9,75
	2.2	3,75	2,60	9,75
3	3.1	3,75	1,40	5,25
	3.2	3,75	1,40	5,25

Seguidamente, no Quadro 5.9 são indicados os valores dos potes existentes em cada parede verde, incluindo o número de potes por linha e por coluna.

Quadro 5.9 - Número de potes necessários por unidade de tratamento

Parede verde	Nº potes necessários	Nº de potes por linha	Nº de potes por coluna	Nº potes
1.1	163	20	10	200
1.2	163	20	10	200
2.1	484	25	13	325
3.1		25	7	175
2.2	484	25	13	325
3.2		25	7	175

Em suma, pretende-se instalar quatro unidades de tratamento por torre. Existem três torres no pavilhão de civil, logo pretende-se instalar 12 paredes verdes. Por torre, as paredes verdes que pretendem realizar o tratamento das águas cinzentas do piso 2 e 3 consistem em duas matrizes 20 x 10 potes, cada uma delas ligada ao respetivo reservatório da casa de banho. As paredes verdes que pretendem realizar o tratamento das águas cinzentas do piso 1 consistem em quatro matrizes, sendo que se encontram ligadas duas a duas. Não foi possível dimensioná-las de forma contínua por falta de espaço disponível. A primeira consiste numa matriz 25 x 13 potes e a segunda numa matriz 25 x 7 potes, cada um deste conjuntos encontra-se ligado ao respetivo reservatório.

Na Figura 5.7 é realizada uma representação esquemática das paredes verdes na torre central com o número de potes referente a cada unidade de tratamento.

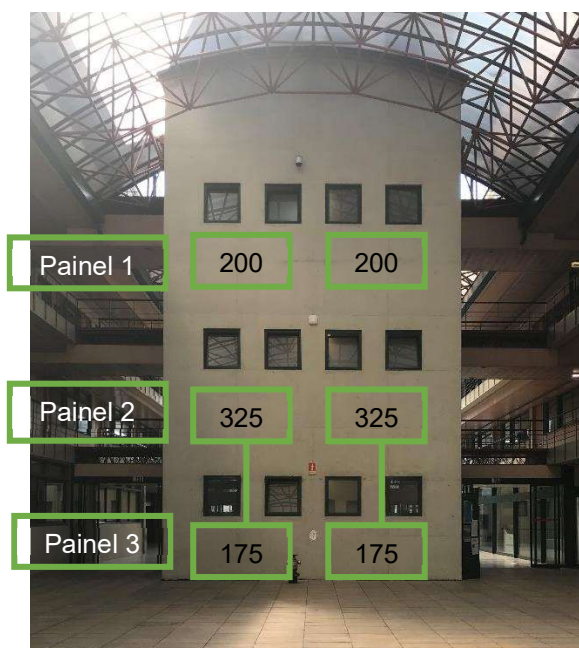


Figura 5.7 - Representação esquemática das paredes verdes na torre central com o número de potes referente a cada unidade de tratamento.

Fotografia tirada no local

5.4. Reservatório pré-sistema UV

Seguidamente, nesta fase é necessária uma estrutura de armazenamento com a finalidade de regularização de vazão do caudal, para alimentar o sistema de desinfecção de radiação UV, implementado na fase seguinte. Pretende-se que fique instalado no piso -3 do pavilhão de civil.

No Quadro 5.10 apresenta-se o valor do caudal proveniente da parede verde, ou seja, para o qual o reservatório deve ser dimensionado. Visto que, por algum motivo, pode não existir consumo por parte da unidade de desinfecção, optou-se por dimensionar o reservatório para que este tenha capacidade de armazenar água durante dois dias.

Quadro 5.10- Caudal afluyente da parede verde.

Pisos	Caudal afluyente da parede verde (l/dia)
Piso 1	475,65
Piso 2	459,90
Piso 3	2786,06
Total	3721,61

Como tal, pretende-se que o reservatório tenha uma capacidade de, no mínimo 7443,22 l. Note-se que é preferível que este não seja enterrado, de modo a que sejam feitas o mínimo possível de alterações no espaço já existente no pavilhão. Após consulta de diversos catálogos, optou-se por um reservatório com capacidade para 8500 litros. No Anexo G é apresentado um catálogo de um possível reservatório a utilizar.

5.5. Sistema UV

O processo de desinfecção por UV num sistema de tratamento tem como objetivo reduzir a presença de organismos patogénicos de forma a melhorar a qualidade microbiológica do efluente. O facto de não haver a necessidade de qualquer adição química, ser de fácil instalação e utilização e o seu custo operacional e a manutenção serem reduzidos, revela que esta solução apresenta benefícios consideráveis para tratamento local. Também o facto de não ser definida qualquer adição química, leva a que não exista a criação de subprodutos indesejados, como há no caso de a desinfecção ser realizada com cloro. Não há a necessidade de reabastecer ou armazenar os produtos químicos, o que garante uma maior segurança para os utilizadores. (Fenner et al., 2005; Friedler et al., 2010)

O caudal de efluente que se pretende tratar é de 3721,61 l/dia, ou seja, 3,721 m³/dia que é o caudal proveniente da parede verde armazenado no reservatório anterior. No Anexo H é apresentado o catálogo onde é possível observar um exemplo de um sistema de desinfecção compacto que poderia ser utilizado neste caso de estudo.

Do sistema de desinfecção por radiação UV resulta um efluente terciário com qualidade suficiente para ser reutilizado na lavagem dos pavimentos dos diversos pisos do pavilhão de civil, permitindo o contato direto com os seus utilizadores.

5.6. Reservatório para armazenamento final

Após realizado o processo de tratamento das águas cinzentas, estas são direcionadas para o reservatório. Pretende-se que o reservatório armazene a água tratada, a partir do qual se vai realizar a reutilização da água.

Optou-se por um reservatório semelhante ao reservatório selecionado entre o tratamento da parede verde e o sistema de desinfecção UV, visto que o volume de água deverá ser praticamente semelhante. Como tal, pretende-se que o reservatório tenha uma capacidade de no mínimo de 7443,22 l e que também fique instalado no piso -3 do pavilhão de civil. O reservatório escolhido apresenta assim uma capacidade de 8500l.

Note-se que no Anexo I é apresentada uma representação esquemática da tubagem existente no teto do piso -3 até à localização do primeiro reservatório, bem como a localização do sistema de desinfecção UV e reservatório de armazenamento.

6. VIABILIDADE ECONÓMICA DA SOLUÇÃO DE TRATAMENTO

6.1. Considerações iniciais

Após o dimensionamento sumário do sistema de tratamento, é realizada, neste capítulo, uma estimativa de todos os custos associados ao sistema adotado.

Na Figura 6.1 é apresentado o esquema de tratamento.



Figura 6.1 - Representação esquemática da solução de tratamento do pavilhão de civil do IST.

Pretende-se estimar o custo de cada um dos constituintes, com o objetivo de determinar o custo total da solução em estudo e, desta forma, realizar uma análise económica que permita concluir se a solução adotada é ou não economicamente viável. É importante referir que visto que se trata de um sistema experimental em modo preliminar é apenas apresentada uma estimativa de custos que pode estar sujeita a alterações. Note-se que certos constituintes poderiam ser construídos especialmente para este caso de estudo.

6.2. Estimativa de custos do primeiro reservatório de regularização

O primeiro constituinte da solução de tratamento é o reservatório de regularização de caudal. Note-se que todas as tubagens do sistema de tratamento são calculadas seguidamente capítulo 6.7.

É importante referir que, para a seleção do reservatório, é necessário ter em consideração a altura dos lavatórios, visto que estes já se encontram construídos. Pretende-se que os reservatórios sejam inseridos no volume por baixo de cada balcão da casa de banho. No entanto, estas características causaram dificuldades no processo de seleção do reservatório mais indicado para este caso de estudo, não tendo sido encontrado nenhum que se adequasse ao que se pretendia. Para além disso, não existe muita oferta de empresas com reservatórios com pequenas capacidades como se pretendia. A solução encontrada foi optar por construir um reservatório especificamente para este caso em estudo.

Após a consulta de diversos catálogos, foi selecionada a empresa *lpap* onde o custo estimado para um reservatório de superfície com a capacidade de 300l é de 88,00€. Tendo em consideração que se pretende um reservatório desta capacidade, mas adaptado às limitações existentes da altura, estimou-se o seu custo, duplicando o preço do convencional. Tendo em conta que estes reservatórios são necessários para o piso 2 e 3 e existem três torres, cada uma delas com duas casas de banho são necessários 12 reservatórios de 300l. O custo total é de 2112,00€, 176,00€ por cada reservatório.

No piso 1, visto que existe um maior consumo de água comparativamente ao piso 2 e 3, é necessário um reservatório com maior capacidade. Novamente, não foi possível encontrar um reservatório de 750l com as dimensões pretendidas para que este se encontre no local inferior aos lavatórios. A empresa

referida anteriormente que possui o reservatório de 300 l possui um com capacidade de 750l, que é a pretendida. Tendo em consideração que se pretende um reservatório desta capacidade, mas adaptado às dimensões existentes, estimou-se de novo o seu custo duplicando o preço do convencional. Este tipo de reservatório só é necessário para o piso 1, logo são necessários seis reservatórios. O custo total é de 2508,00€, 418,00€ por cada reservatório.

No anexo B é apresentado o catálogo onde estão incluídos os reservatórios da empresa *lpap* em que a proposta se baseou.

No Quadro 6.1 é apresentada a estimativa do custo total referente a todos os reservatórios necessários nesta fase do tratamento. Assumiu-se que neste orçamento, também está incluído o transporte, sendo que o custo da montagem é estimado no capítulo referente à mão-de-obra.

Quadro 6.1 - Estimativa dos custos dos reservatórios.

Localização do reservatório	Estimativa de custo (€)
Piso 3	1056,00
Piso 2	1056,00
Piso 1	2508,00
Total	4620,00€

A estimativa de custo total dos reservatórios iniciais de regularização é de **4620,00€**.

6.3. Estimativa de custos da parede verde

A estrutura apresentada seguidamente é um exemplo daquilo que poderia ser aplicado na parede do pavilhão de civil do IST. É denominado sistema *Minigarden* e tem como objetivo criar espaços verdes domésticos verticais.

A área referente a cada planta no sistema *Minigarden* é superior àquela que foi dimensionada para cada pote no capítulo anterior, recapitulando 0,01m² como apresentado no caso de Pune. Neste caso, cada módulo, com espaço para três plantas (cada linha apresentada na Figura 6.2), apresenta uma área de 0,12m² (0,646 x 0,19), ou seja 0,04m² por planta, como é possível aferir consultando as dimensões indicadas no Anexo C. Assim sendo, é necessário calcular o número de potes/módulos novamente.

De forma a determinar o número de plantas *Minigarden* necessárias para a solução de tratamento, foi necessário consultar no capítulo 5 a área necessária para o tratamento das águas cinzentas por cada casa de banho. Na Quadro 6.2 é indicado esse valor respetivo a cada piso e também o número de potes determinado por unidade de tratamento para o sistema *Minigarden*.

Quadro 6.2 - Área necessária dos potes para o tratamento das águas cinzentas por casa de banho.

Pisos	Área necessária dos potes (m ²)	Área por pote (m ²)	Número de potes necessários
Piso 3+2	1,62	0,04	41
Piso 1	4,84		121

Como indicado no Quadro 6.2 são necessários 162 potes no total. Embora seja apresentada em módulos independentes, cada um com espaço para 3 plantas é possível adicionar mais módulos na parte superior ou inferior de acordo com as necessidades. É importante referir que o *Minigarden* teria de ser sujeito a algumas alterações, visto que a solução apresentada tem módulos independentes, com rega independente por cada linha de três plantas e o objetivo é que o caudal das águas cinzentas seja dividido pelas colunas dimensionadas e que as percorra, de forma a realizar o tratamento de forma correta.

Sabendo que há a possibilidade de comprar um sistema com 24 espaços para plantas que apresenta o custo de 129,90€, optou-se por essa solução. Na Figura 6.2 é apresentado um exemplo, sendo que é possível encontrar no Anexo C mais detalhes sobre esta estrutura.

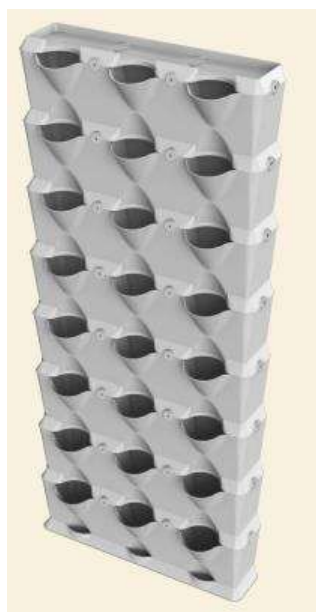


Figura 6.2 - Estrutura da parede verde: *Minigarden*

Fonte: <http://pt.minigarden.net>

Assim sendo, no Quadro 6.3 é apresentado o número de sistemas *Minigarden* de 24 potes necessários por torre e pelas três torres.

Quadro 6.3 - Estimativa do número de módulos necessários por torre.

Parede verde	Nº de sistemas <i>Minigarden</i> de 24 potes necessários	Total de módulos necessários por torre	Total de módulos necessários para a solução de tratamento nas três torres
1.1	2		
1.2	2		
2.1	3		
3.1	3	14	42
2.2	2		
3.2	2		

Tendo em consideração que são necessários 42 sistemas *Minigarden* para a solução de tratamento, o custo da estrutura é de 5455,80€. Como é necessário realizar algumas alterações ao sistema de rega e de forma a incluir também nos custos o sistema de transporte, o custo da estrutura foi aumentado em 20%, de forma a ter isso em consideração. Logo, o custo total da estrutura é de **6549,96€**.

Seguidamente, como já tinha sido referido anteriormente, pretende-se que os potes sejam preenchidos com 50% de LECA e com 50% de fibras de coco. Cada sistema *Minigarden* de 24 potes apresenta um volume útil de 0,14m³, de acordo com as dimensões apresentadas no Anexo C. Como tal, estimou-se que são necessários aproximadamente 6m³ de substrato para as três torres. Tendo em conta a proporção dos dois materiais referida, é apresentado no Quadro 6.4 as respetivas quantidades de substratos.

Quadro 6.4 - Quantidade necessária de LECA e fibra de coco

Tipo de enchimento	Quantidade necessária (m ³)	Quantidade necessária (l)
LECA	3,0	3 000
Fibras de coco	3,0	3 000

Após a consulta de diversos catálogos, selecionou-se a marca ARGEX para os sacos de LECA, onde é possível encomendar o *bigbag* que contem 3,0 m³ de LECA e custa 171,00 €. Visto que são necessários 3 m³ para os potes, é apenas necessário um *bigbag*. O transporte acresce o custo em 6,90€/m³ quando a entrega é em Lisboa. Logo o custo total é de **177,90€**.

No caso do substrato das fibras de coco, selecionou-se a marca *Batlle Huerto y Jardín*, onde cada saco contém 70l e apresenta um custo de 7,95€. Tendo em conta que são necessários 43 sacos, o custo das fibras de coco é de 341,85€. Como não foi possível encontrar o custo de transporte adicionou-se 15% do custo total de forma a ter esse fator em consideração. Logo o custo total é de **393,13€**.

No Anexo D são apresentadas as características referentes à LECA e às fibras de coco, bem como os respetivos preços.

Seguidamente, é necessário estimar os custos das plantas. Os géneros de plantas que a parede verde de Pune apresenta são os seguintes: *Abelia*, *Wedelia*, *Portulaca*, *Alternanthera*, *Duranta* and *Hemigraphis*. Em Portugal, não se encontrou facilmente alguns destes géneros, sendo que outros apresentavam valores de custos bastantes elevados. Seria interessante selecionar plantas tipicamente portuguesas com características semelhantes para testar se também era possível obter resultados da água tratada semelhantes. No entanto, optou-se por manter o mesmo género de planta, para não pôr em risco a viabilidade do tratamento. A *Abelia* foi aquela que apresentou custos dentro da gama expectável, tendo-se optado por colocá-la em todos os potes. O custo unitário é de 1,75€, sendo que as despesas de entrega são de 11,25€. No Anexo E são apresentadas as características referentes ao género de planta selecionada, bem como o respetivo preço. Tendo em consideração que são 1008 potes, a estimativa de custo total é de **1775,25€**.

Note-se que a mão-de-obra necessária para a implementação do sistema de tratamento é determinada no capítulo 6.8.

No Quadro 6.5 é apresentada a estimativa dos custos de cada constituinte das unidades de tratamento e o respetivo custo total.

Quadro 6.5 - Estimativa dos custos dos constituintes da parede verde.

Constituintes da parede verde	Estimativa de custos (€)	Estimativa dos custos da parede verde (€)
Estrutura da parede verde	6546,96	
LECA	177,90	
Fibras de coco	393,13	8893,24
Plantas responsáveis pelo tratamento	1775,25	

Por fim, para instalar cada uma das estruturas verdes é necessário montar um **andaime**. Sendo que se estima que as paredes verdes respetivas a cada torre demorem aproximadamente cinco dias úteis a ser instalada, é necessário alugar o andaime, no mínimo, durante três semanas. Optou-se por alugar o andaime durante um mês, 30 dias onde estão incluídos os fins-de-semana. Através da página consultada na Internet '*Gerador de preços. Espaços Urbanos. Portugal*', foi possível obter o custo de implementação do andaime, onde estão incluídos todos os custos associados ao seu transporte, material, mão-de-obra, aplicação e manutenção, para uma área de 75 m² e altura de 10m, que é a pretendida. O custo diário é de 208,29 €, como é possível aferir no Anexo F. Logo o custo do aluguer do andaime durante 30 dias é de 6248,70€. Note-se que é necessário realizar um custo adicional, pois o andaime vai ser desmontado duas vezes para realizar as três estruturas. Estimou-se um custo adicional de 20%. Logo o custo total do aluguer do andaime é de **6873,57€**.

6.4. Estimativa de custos do segundo reservatório de regularização

Após a unidade de tratamento da parede verde é necessário um reservatório de regularização que antecede o sistema de desinfecção por radiação ultravioleta. Como já foi referido no capítulo anterior, pretende-se que este reservatório tenha uma capacidade de 8500l. Após a consulta de diversos catálogos, o custo estimado para um reservatório horizontal de superfície foi de **1333,33€**. No Anexo G é apresentado o catálogo de onde este valor foi aferido.

6.5. Estimativa de custos do sistema de desinfecção por radiação UV

É possível constatar que o caudal apresentado é baixo, sendo que é suficiente um sistema de desinfecção compacto. Após a consulta de vários catálogos, selecionou-se o sistema de desinfecção denominado Ultravioleta Cintropur TRIO-UV 25 W. Este sistema é composto por um filtro de sedimentos, um filtro de carvão e pelo ultravioleta e pode receber no máximo 1 m³/h de caudal, o que é compatível com os baixos caudais apresentados neste caso de estudo. O custo estimado é de **642,43€**. No Anexo H é apresentado o catálogo de onde este valor foi aferido.

6.6. Estimativa de custos do reservatório de armazenamento

Por fim, no final do sistema de tratamento, é necessário um reservatório de armazenamento. Pretende-se que tenha uma capacidade semelhante ao reservatório de regularização que antecede o sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, por não se justificar diminuí-la. Sendo assim, pretende-se que este reservatório tenha uma capacidade de 8500l. O custo de **1333,33€** mantém-se. Novamente, no Anexo G é apresentado o catálogo de onde este valor foi aferido.

6.7. Estimativa de custos do sistema de tubagem

O custo estimado para o sistema de tubagem será aproximado, visto que não foi realizado o seu dimensionamento, este apenas foi traçado. É necessária tubagem nos seguintes locais:

- a) Ligação entre o reservatório do piso 3 e piso 2;
- b) Ligação entre o primeiro reservatório, localizado nas casas de banho dos pisos 1 e 2, e o início da parede verde;
- c) Alimentação da parede verde (este tubo deve ser perfurado após a compra, de forma a realizar a alimentação por coluna da parede verde) nas quatro unidades de tratamento em cada uma das três torres;
- d) Ligação entre o final da parede verde e o primeiro reservatório localizado no piso -3 (Note-se que esta alínea tem em consideração, a tubagem nas paredes desde o piso 0 e no piso -3 e a tubagem inserido no teto no piso -3 até à localização do primeiro reservatório. Esta segunda parte encontra-se no Anexo I.);
- e) Ligação entre os dois reservatórios localizados no piso -3.

No Quadro 6.6 é apresentada a estimativa para cada uma das alíneas anteriores.

Quadro 6.6 - Estimativa do custo das tubagens.

Localização	Comprimento (m)	Comprimento total (m)
a)	3m/casa de banho x 6 casas de banho = 18	
b)	1m/casa de banho x 12 casas de banho = 12	
c)	Parede verde 1.1 e 1.2 – 10,3 x 2 Parede verde 2.1 e 2.2 – 7,5 x 2	151,60
d)	85	
e)	1	

Tendo em consideração que são necessários 151,60 m, optou-se por calcular os custos de 160 metros. Cada 3m de tubo são 2,30€, logo a estimativa de custo do material é de 368,00€. Tendo em consideração que é necessário considerar também o transporte, determinou-se como custo global **404,80€** (10% do custo global relativo ao transporte).

No Anexo J é apresentado o catálogo de onde este valor foi aferido.

6.8. Estimativa de custos da mão-de-obra

Tendo em conta a dimensão do sistema de tratamento, estimou-se que são necessários três meses para realizar a obra. No Anexo L encontra-se uma proposta de planeamento das diversas atividades com o respetivo período de execução. Evidentemente, essa proposta encontra-se sujeita a alterações no caso de se realizar um projeto de execução mais detalhado.

Desta forma, estimou-se que para a concretização da obra são necessários os seguintes trabalhadores, com o respetivo salário, apresentados no Quadro 6.7. Os valores do salário-base foram retirados da *Tabela Salarial* referente ao ano de 2016, sendo que foi adicionada uma parcela relativa aos custos de estrutura da empresa, 30% do salário-base. Note-se que o engenheiro responsável pelo projeto também se encontraria durante os três meses a acompanhar a execução do sistema de tratamento.

Quadro 6.7 – Estimativa do custo da mão-de-obra necessária para a implementação da solução de tratamento.

Trabalhadores	Salário-base (€)	Custos de estrutura da empresa (€)	Salário (€) para os três meses de trabalho
Pedreiro de 1^a	562,00	168,60	2191,80
Servente	557,00	167,10	2172,30
Canalizador de 2^a	559,00	167,70	2180,10
Servente	557,00	167,10	2172,30
Jardineiro	559,00	167,70	2180,10
	Total		10896,60

A estimativa do custo total da mão-de-obra é de **10896,60€**.

6.9. Estimativa de custos total da solução em estudo

O custo global da solução em estudo é dado pelo somatório de cada um dos constituintes do sistema e da mão-de-obra. Por motivos conservativos, multiplicaram-se todos os custos calculados anteriormente por 1,05. Desta forma, existe alguma margem, no caso de algum dos constituintes ter custos superiores ao que foi determinado. No Quadro 6.8 são apresentados os custos de cada um dos constituintes antes e depois, bem como uma percentagem relativa ao custo total. Note-se que era necessário estudar a viabilidade dos sabões existentes no pavilhão serem viáveis para o tratamento na parede verde, como tal pode ser necessário adicionar os custos referentes a sabões biológicos que permitam um tratamento tecnicamente viável.

Quadro 6.8 – Estimativa do custo total da solução.

Constituintes da solução de tratamento	Estimativa de custos (€)	Estimativa de custos conservativa (€)	Percentagem relativa ao custo total	Estimativa do custo total da solução (€)
Reservatório de regularização	4 620,00	4 851,00	13%	36 747
Parede Verde	8 893,24	9337,90	25%	
Aluguer do andaime	6 873,57	7 217,25	20%	
Reservatório de regularização	1 333,33	1 399,99	4%	
Sistema de desinfecção	642,43	674,55	2%	
Reservatório de armazenamento	1 333,33	1 399,99	4%	
Sistema de tubagem	404,80	425,04	1%	
Mão-de-obra	10 896,00	11 440,80	31%	

6.10. Viabilidade económica da solução adotada: apresentação e discussão de resultados

O objetivo desta solução de tratamento sempre foi a de realizar um ciclo fechado no pavilhão de civil, através do tratamento das águas dos lavatórios dos pisos 1,2 e 3 e da utilização posterior da água tratada na limpeza dos pavimentos do pavilhão de civil dos mesmos pisos.

No Quadro 6.9, é apresentada a água consumida nos lavatórios dos pisos 1, 2 e 3 e o respetivo saneamento, em l/dia e l/ano, bem como o efluente tratado pela parede verde. Este último representa a oferta da água após o tratamento pela solução adotada.

Quadro 6.9 - Valores relativos à água consumida nos lavatórios dos pisos 1, 2 e 3 e o respetivo saneamento e efluente tratado da parede verde.

	l/dia	l/ano	m³/ano
Água necessária para a limpeza dos pavimentos pelo método convencional nos pisos 1,2 e 3	3736,64	1 363 873	1364

O objetivo é que toda a água tratada seja reutilizada, no entanto, no caso de não ser possível, a qualidade da água tratada permite que esta seja diretamente descarregada no sistema de drenagem pluvial, sem que apresente custos adicionais de tratamento para o município. Tendo em conta a água necessária para a limpeza dos pavimentos apresentada no Quadro 6.10, é possível concluir essa hipótese onde, em princípio, toda a água tratada é reutilizada para a lavagem dos pavimentos.

Quadro 6.10 - Água necessária para a limpeza dos pavimentos.

	l/dia	l/ano	m³/ano
Água consumida nos lavatórios dos pisos 1,2 e 3	4135,13	1 509 323	1510
Efluente dos lavatórios dos pisos 1,2 e 3	0,9 x 4135,13 = 3721,61	1 358 384	1359
Efluente tratado pela parede verde	3721,61	1 358 384	1359

Com as paredes verdes, há uma diminuição dos custos no que diz respeito à faturação de água e à tarifa de saneamento. No entanto, é importante ter em consideração que a tarifa de saneamento de águas residuais urbanas decompõe-se em duas parcelas, numa fixa, que está relacionada com a disponibilidade do respetivo serviço e noutra variável, que está diretamente relacionada com o tratamento da água, calculada por parte do município como função do volume de água consumida, 90% do respetivo consumo de água. Propõe-se que o município fosse informado desta solução de forma a poder diminuir os custos relativos a esta tarifa e, desta forma, o IST poder recuperar o dinheiro investido na solução de tratamento de uma forma mais rápida. Assume-se que esta proposta seria aceite, através da colocação de um contador ao nível dos dispositivos, de forma a poder descontar o respetivo saneamento (90% da água consumida).

Segundo as informações fornecidas pelo Engenheiro Mário Matos, o preço que o IST paga pelo m³ de água consumida é de 1,67€ e pela taxa de saneamento variável é de 1,64€/m³. O custo global, tendo em conta também a tarifa de saneamento fixa, taxa de recursos hídricos, taxa adicional para a Câmara Municipal e a quota de serviço, é de 3,50€/m³ faturado. Igualmente, segundo os dados fornecidos pelo Engenheiro Mário Matos, o valor de consumo de água do ano de 2016, relativamente ao contador estudado anteriormente, foi de 8489 m³. Como tal, o valor a pagar pelo seu consumo foi de 14 177 € e

o custo do respetivo saneamento foi de 12 530 €. Com a solução de tratamento existe assim uma poupança de 2278€/ano no consumo de água e, no caso do saneamento, uma poupança de 2228€/ano. Seguidamente, embora esta solução de tratamento seja auto-sustentável, é expectável que necessite de serviços de manutenção. Optou-se por considerar como custos de manutenção aproximadamente 5% dos constituintes da parede verde ao ano.

É necessário também ter em consideração o custo de energia que o sistema de desinfecção UV tem ao longo dos anos em que vai ser implementado. Tendo em consideração que o caudal médio que a parede verde pretende tratar é 3,72m³/dia e que o sistema de desinfecção escolhido trata um caudal de 1m³/hora, são necessárias no mínimo 4 horas, tendo-se assumido 7 horas de funcionamento do sistema no caso de por algum motivo o sistema se encontre em funcionamento por um maior período de tempo. No ano 2016, o custo da energia foi de 0,1383 €/KWh. Logo, o custo anual é de 3,83 €, aproximadamente 4,00 €.

Tendo isto em consideração, em seguida são apresentados no Quadro 6.11 os montantes monetários gastos por ano (em água e saneamento) para o pavilhão de civil com e sem a solução de tratamento proposta.

Quadro 6.11 – Comparação dos custos atuais e dos custos após a implementação da solução em estudo.

	Custo da água consumida (€/ano)	Custo do saneamento (€/ano)	Custo de manutenção (€/ano)	Custo da energia do sistema UV (€/ano)	Custo total (€/ano)
Sistema atual	14 180	12 530	-	-	26 710
Sistema com a solução de tratamento proposta	11 902	10 302	500	4	22 708

Tendo em conta tudo o que foi determinado nesta dissertação é agora possível realizar o estudo de viabilidade económica. Neste estudo pretende-se avaliar se existe aplicabilidade da solução de tratamento dimensionada para o pavilhão de civil, através de uma projeção do seu comportamento nos próximos 20 anos de exploração. Esta análise é essencial, na medida em que as suas conclusões determinam se se deve realizar o investimento na solução de tratamento.

No gráfico seguinte, Figura 6.4, são apresentados os custos acumulados, tendo em consideração o investimento realizado para a instalação da solução de tratamento. Note-se que foi considerado que a solução é implementada nos últimos três meses de 2017 e que, em janeiro de 2018, está operacional para iniciar o tratamento. Assumiu-se que o preço de água por m³ mantém-se constante ao longo dos anos, tendo-se apenas atualizado os custos do consumo de água e de saneamento, a uma taxa de atualização de 5,0%, para o ano de instalação da solução de tratamento. No Anexo M, encontra-se o

Quadro onde estão todos os valores referentes à Figura 6.3 a 20 anos de exploração da solução de tratamento.

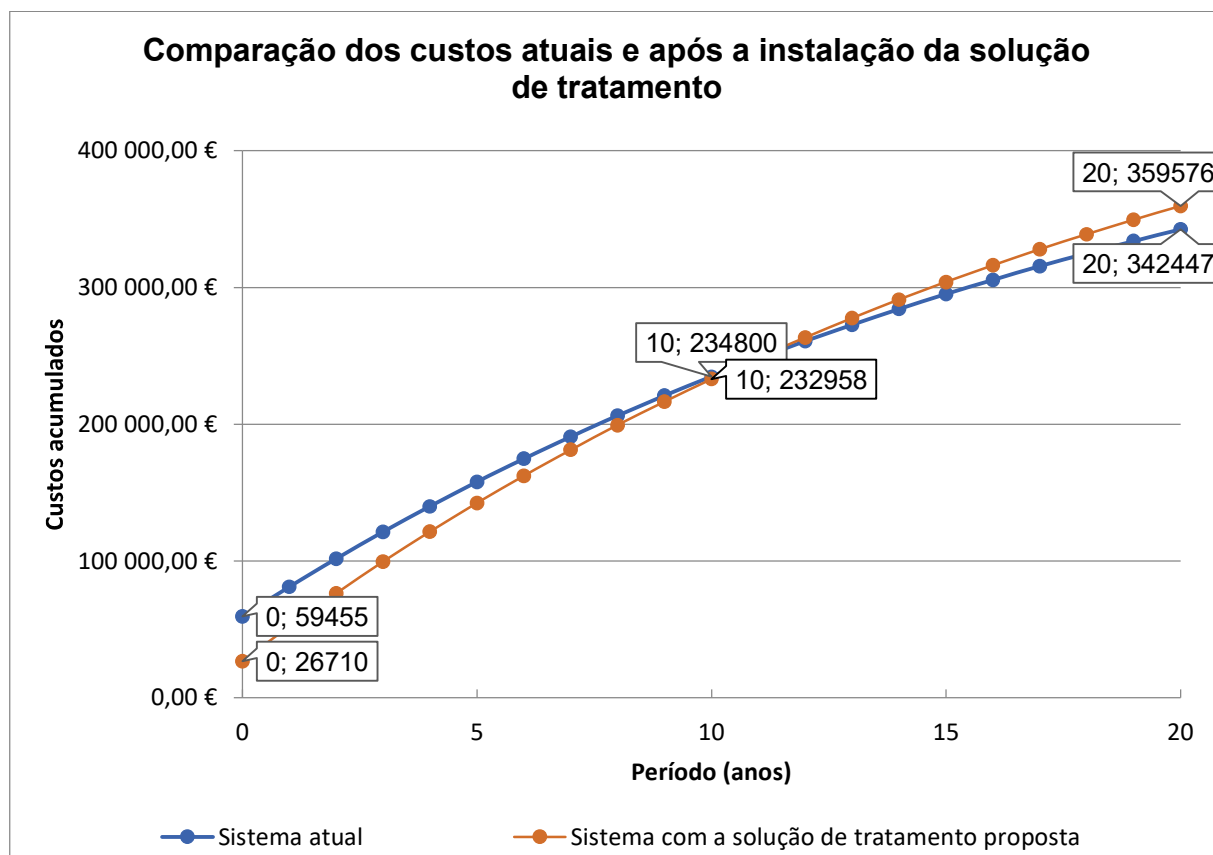


Figura 6.3 – Comparação entre a evolução dos custos atuais e após a instalação da solução de tratamento: Tempo de retorno do investimento.

Aproximadamente no ano 11, após a implementação da solução de tratamento, é possível recuperar todo o dinheiro investido inicialmente, ou seja, é partir deste ano que o IST começa a beneficiar economicamente com a solução instalada. Numa estimativa de 15 a 20 anos, existe aproximadamente um benefício económico na ordem dos 9 000€ e 17 000€ respetivamente. Considera-se que este é um projeto viável, na medida em que existe a recuperação do capital investido num período claramente inferior ao tempo de vida estimado para o projeto. A solução de tratamento pode permanecer no IST, por inúmeros anos, desde que com a devida manutenção que, para além disso, também apresenta custos baixos, tendo em conta as restantes soluções de tratamento de águas residuais. O investimento inicial também é baixo e estima-se que seja possível que esses custos iniciais sejam inferiores, já que se optou por realizar uma estimativa de custos conservativa. O ponto em que existe o período de retorno do investimento pode variar por isso consoante os custos do investimento reais e tornar o projeto economicamente mais atrativo.

Em suma, considera-se que a solução de tratamento dimensionada é viável economicamente.

7. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. Águas cinzentas: Um bem essencial

A água com qualidade própria para consumo humano utilizada para atividades que não necessitam de um nível de tratamento tão elevado, deu origem à necessidade de encontrar recursos alternativos, na medida em que os recursos hídricos disponíveis no meio ambiente escasseiam. A presente dissertação desenvolve a temática do tratamento e da reutilização das águas cinzentas no local onde estas são tratadas através de uma solução natural, a parede verde, abordando os seus benefícios ambientais e económicos. A contribuição para a redução da utilização de água potável, bem como a redução de descargas poluentes, o que contribui para a melhoria dos ecossistemas e qualidade da água dos meios recetores, são benefícios inerentes a este tipo de solução. A viabilidade de uma solução de tratamento de águas residuais não depende só dos seus aspetos económico-financeiros, mas também dos ambientais. As águas cinzentas foram as águas residuais selecionadas por apresentarem baixo teor de poluição comparativamente com as águas residuais convencionais, o que leva a que o nível de tratamento não seja tão exigente.

Analisaram-se diversos casos de estudos, contudo foi abordado com maior detalhe o relativo a duas paredes verdes instaladas em Pune na Índia, a partir do qual se dimensionou a solução de tratamento apresentada. Optou-se por implementá-la no pavilhão de civil no IST visto que este é um espaço com elevados consumos de água e esta ser utilizada, maioritariamente, para fins menos nobres. Para este caso de estudo foi adicionada a etapa de desinfecção de forma a salvaguardar os utilizadores que contactam diretamente com a água após o seu tratamento.

Todos os consumos referentes aos dispositivos sanitários foram estimados através de informações fornecidas pela equipa de limpeza e por consulta de bibliografia. É necessário ter em consideração as limitações inerentes relativas a essa estimativa, pois apenas se teve acesso ao consumo mensal real do ano de 2016. Os valores de consumos seriam consideravelmente mais fiáveis se tivesse existido a monitorização em contínuo ao nível de cada dispositivo sanitário, ou pelo menos de uma amostra significativa que retratasse a realidade de consumos do pavilhão. No entanto, como já foi referido anteriormente existiram limitações temporais que não possibilitaram essa opção.

O custo estimado para a solução de tratamento em estudo foi cerca de 37 000 €, pelo que no final de 11 anos, existe o retorno do investimento inicial. Este é um projeto viável, na medida em que existe a recuperação do capital investido num período claramente inferior ao tempo de vida estimado para a solução de tratamento. A sua manutenção apresenta custos baixos, tendo em conta as restantes soluções de tratamento de águas residuais existentes no mercado. Note-se que se assumiu que o preço de consumo da água se mantém constante ao longo dos anos, tendo sido apenas atualizado ao ano de implementação da solução, o que pode não corresponder à realidade. Tendo em conta a crescente falta de água, provavelmente o seu preço por m³ vai aumentar ao longo dos anos considerados, o que apresenta como vantagem o facto de consequentemente este tipo de soluções naturais com reutilização no local, poderem tornar-se cada vez mais atrativas do ponto de vista económico e ambiental. Note-se que os consumos do pavilhão de civil foram sobrestimados, o que pode significar

que as paredes verdes apresentam dimensões superiores àquelas que seriam necessárias para o tratamento das águas cinzentas aí produzidas. Esse facto pode permitir que o investimento inicial seja menor e que o período de retorno também diminua, o que torna esta solução de tratamento mais atrativa. É importante também referir que os constituintes que apresentam custos superiores são a parede verde (25%) e a mão-de-obra (31%). Era possível diminuir esses custos no caso de construir uma estrutura da parede verde adaptada a este caso de estudo e também se fosse possível, não ser necessário contratar uma equipa exterior ao IST. No entanto, optou-se por estudar a solução com custos mais elevados, para apresentar a solução com o maior tempo de retorno do investimento.

Em suma, tendo em conta a qualidade e quantidade das águas cinzentas, é crucial que estas não sejam tratadas como um resíduo que deve ser restituído ao meio recetor, mas sim como um recurso de valor após o tratamento adequado, podendo ser reutilizadas em lavagem de pavimentos, por exemplo, como foi realizado no caso de estudo analisado. A possibilidade de utilizar águas residuais tratadas como uma fonte alternativa, independente do sistema de abastecimento público, permite a conservação de parte dos recursos hídricos com qualidade elevada que iriam ser utilizados para fins de serviço.

7.2. Perspetivas de desenvolvimentos futuros

É importante referir que os contributos futuros não se restringem ao caso de estudo abordado, mas a todos os edifícios que apresentem disponibilidade, tendo em conta os benefícios ambientais que uma solução de tratamento natural oferece. De seguida, face ao exposto ao longo desta dissertação, são apresentados alguns tópicos e perspetivas de desenvolvimentos futuros:

- É importante referir que, embora através das hipóteses assumidas ao longo da dissertação se tenha alcançado conclusões coerentes, relativamente aos consumos de água no pavilhão de civil, essas apresentariam uma maior fiabilidade se tivesse existido a **monitorização em contínuo ao nível de cada dispositivo sanitário, como já foi referido**. Desta forma, teria sido possível obter padrões de consumo, de acordo com os padrões comportamentais dos utilizadores, que apresentam uma variabilidade inerente considerável e realizar o dimensionamento da solução de tratamento a partir de dados reais do pavilhão.
- Seria interessante estudar a viabilidade **de instalar uma unidade de tratamento com uma área de tratamento menor**, para uma habitação por exemplo. Tendo em conta o investimento inicial menor, o período de retorno deveria ser ainda menor.
- Relativamente à solução de tratamento, realizar um **protótipo** com o objetivo de estudar a sua viabilidade em termos de tratamento, com a utilização de plantas tipicamente portuguesas, como já foi referido anteriormente. Poderá ser inclusivamente uma solução mais económica.
- Seria interessante estudar **o impacto que os tratamentos das águas residuais no local têm nas redes de drenagem e ETAR**, tendo em consideração que o caudal efluente diminui e as características qualitativas das águas se alteram.
- A viabilidade de um projeto de reutilização das águas residuais, deve ter em conta os aspetos ambientais, económico-financeiros e socioculturais. Estes últimos, por vezes, são

desvalorizados e, no entanto, principalmente em soluções que podem estar em contato com o público, como é o caso, estes aspetos não deviam ser negligenciados. Por esse motivo, seria importante analisar **a aceitação deste tipo de projeto por parte da população** que a vai abranger e realizar ações de sensibilização para este tipo de soluções ainda pouco conhecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Australian Capital Territory. (2007). Greywater Use: Guidelines for residential properties in Canberra. *Australian Capital Territory*, (October), 1–24.
- Baptista, J. M., Almeida, M. D. C., Vieira, P., Silva, A. C. M., Ribeiro, R., Fernando, R. M., Serafim, A., Alves, I., & Cameira, M. R. (2001). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água: Versão Preliminar*. Lisboa: Laboratório de Engenharia Civil com o apoio do Instituto Superior de Agronomia.
- Baptista, J. M., Almeida, M. D. C., Silva, A. C. M., Ribeiro, R., Fernando, R. M., Serafim, A., Alves, I., & Cameira, M. R. (2012). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Lisboa: Laboratório de Engenharia Civil com o apoio do Instituto Superior de Agronomia.
- Barroso, L. P. M. (2010). *Construção sustentável - soluções comparativas para o uso eficiente da água nos edifícios de habitação*. Universidade de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia. Retrieved from <http://run.unl.pt/handle/10362/4112>
- Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., & Melin, T. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187(1–3), 89–101. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.070>
- Coutinho, A. C. (2009). Reutilização de Água Utilização de águas cinzentas in situ. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Eriksson, E., Andersen, H. R., Madsen, T. S., & Ledin, A. (2009). Greywater pollution variability and loadings. *Ecological Engineering*, 35(5), 661–669. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.10.015>
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85–104. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Fenner, R. A., & Komvuschara, K. (2005). A New Kinetic Model for Ultraviolet Disinfection of Greywater. *Journal of Environmental Engineering*, 131(6), 850–864. Retrieved from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:6\(850\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:6(850))
- Fernandes, A. C., Guerra, M. D., Ribeiro, R., & Rodrigues, S. (2016). Relatório do Estado do Ambiente Portugal, Agência Portuguesa do Ambiente.
- Ferreira, F. A. A. (2012). *Referenciais para os níveis de consumo de água sustentáveis em edifícios de habitação*. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Friedler, E. (2004). Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology*, 25(9), 997–1008. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/09593330.2004.9619393>
- Friedler, E., & Gilboa, Y. (2010). Performance of UV disinfection and the microbial quality of greywater effluent along a reuse system for toilet flushing. *Science of the Total Environment*, 408(9), 2109–2117. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.051>
- Gattringer, H., Claret, A., Radtke, M., Kisser, J., Zraunig, A., Rodriguez-Roda, I., & Buttiglieri, G. (2016). Novel vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in tourist resorts. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 11(3), 263–274. Retrieved from <https://doi.org/10.2495/SDP-V11-N3-263-274>
- Gonçalves, R. F., Nour, E., Philippi, L., Alves, W., Jordão, E., Bazzarella, E., Anecchini, k., Sezerino, P., Peters, M., Roston, D. (2006). *Uso racional da Água em Edificações*. Prosab. Brasil: Universidade Federal do Espírito Santo.
- Hilaco, S. (2012). *Implementação do Plano de Segurança da Água para consumo humano em Portugal*. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. Retrieved from <http://run.unl.pt/handle/10362/7393>

- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., & Judd, S. (2000). Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, 1(4), 285–292. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00030-3)
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50(2), 157–164.
- Marecos, H., & Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de Águas Residuais*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Masi, F., Bresciani, R., Rizzo, A., Edathoot, A., Patwardhan, N., Panse, D., & Langergraber, G. (2016). Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 342–347. Retrieved from <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.019>
- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652–659. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>
- Matos, C., Sampaio, A., & Bentes, I. (2012). Greywater Use in Irrigation : Characteristics , Advantages and Concerns. *Water Management, Pollution and Alternative Strategies*, 159–184.
- Nações Unidas. (2010). Cumprir a promessa: um balanço prospectivo tendo em vista promover um programa de acção concertado para a realização dos Objectivos de Desenvolvimento do Milénio até 2015. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>
- Nolde, E. (2000). Grey Water Reuse Systems for Toilet Flushing in Multi-storey Buildings-over Ten Years Experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275–284.
- Saldanha Matos, J., & Santos Ferreira, F. (2012). *Aspectos da qualidade da água*. Lisboa: Instituto Superior Técnico
- Saldanha Matos, J. de. (2003). Aspectos Históricos a Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. *Engenharia Civil-UM*, 16, 13–24.
- Santos, M. (2008). Reutilização das águas residuais urbanas tratadas, 1–100. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia. Retrieved from <http://run.unl.pt/handle/10362/1397>
- Silva, T. (2012). *Estudo de viabilidade técnico-económico do aproveitamento das águas em sistemas prediais*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Retrieved from http://run.unl.pt/bitstream/10362/9628/1/Silva_2012.pdf
- Simões, C., Rosmaninho, I., & Henriques, A. G. (2008). Guia para a Avaliação de Impacte Ambiental de Estações de Tratamento de Águas Residuais, 92. Agência Portuguesa do Ambiente.
- USGS. (2016). *How much water is there on, in, and above the Earth?* Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>
- Valesan, M., Fedrizzi, B., & Sattler, M. A. (2010). Vantagens e desvantagens da utilização de peles-verdes em edificações residenciais em Porto Alegre segundo seus moradores. *Ambiente Construído*, 10(3), 55–67. Retrieved from <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000300004>
- Vieira, P., Silva, A., Almeida, M. do C., Baptista, J. M., & Ribeiro, R. (2002). Inquérito aos hábitos de utilização e consumos de água na habitação. *10º Encontro Nacional de Saneamento Básico/ 10º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental*.

ANEXOS

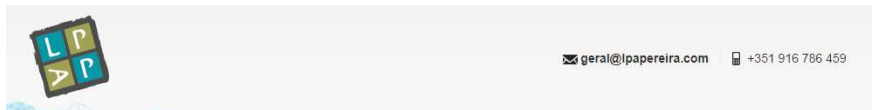
Anexo A – Casos de estudo com a respetiva qualidade do efluente

Quadro A. 1 – Exemplos de soluções de tratamento das águas cinzentas com a respetiva qualidade do efluente.

Local	Nível de tratamento			Qualidade do Efluente	Referência
	Primário	Secundário	Terciário		
Austrália	Grade grosseira +Filtro	Lodos ativados (tanque de aeração +clarificador)	Desinfecção com cloro		Neal (1996)
	Filtração simples ou dupla		Cloração	CBO ₅ > 50	Jefferson et al. (1999)
	Grade + filtro duplo / areia	Membrana		CBO ₅ = 4,7 CQO = 35,7 Turbidez = 0,34	Jefferson et al. (1999)
	Grade	Membrana		CBO ₅ < 19 CQO = 112 Turbidez < 1	Jefferson et al. (1999)
Inglaterra	Grade	Lodo ativado com membrana (MBR)		CBO ₅ = 1,1 CQO = 9,6 Turbidez = 0,32	Jefferson et al. (1999)
	Grade	Biofiltro aerado submersos		CBO ₅ = 4,3 CQO = 15,1 Turbidez = 3,2	Jefferson et al. (1999)
Alemanha	Decantação	Biodisco / 4 estágios	Radiação UV	CBO ₅ = 5	Nolde (1999)
	Decantação	Leito fluidizado	Radiação UV	CBO ₅ = 5	Nolde (1999)
Israel		Contador Biológico Rotativo + Bacia de Sedimentação	Radiação UV		Friedler et al. (2010)
		Bio reator de Membrana	Radiação UV		Friedler et al. (2010)
Espanha	Tanque de aeração para pré-tratamento	Parede verde +sistema de aeração		CBO ₅ = 3,88 CQO = 13,89 Turbidez=0,3	Gattringer et al (2016)

Fonte :Adaptado de (Gonçalves et al., 2006)

Anexo B – Reservatório de regularização inicial



Depósito de Água Vertical mod PA



Modelos	Volume lt	Altura mm	Diâmetro mm	Boca Inspeção	Ligação DIN	Preço
PA-300	300	770	770	200	1"	88,00 €
PA-500	500	900	915	200	1"	138,00 €
PA-750	750	1000	1060	200	1" 1/4"	209,00 €
PA-1000	1000	1100	1205	300	1" 1/4"	236,00 €
PA-1500	1500	1300	1300	300	1" 1/4"	317,00 €
PA-2000	2000	1400	1450	400	1" 1/2"	378,00 €
PA-3000	3000	1500	1735	400	1" 1/2"	521,00 €
PA-5000	5000	1800	2030	400	2"	796,00 €

Fonte: <http://www.lpapereira.com/depositos-agua-verticais.html>

Anexo C – Minigarden: Estrutura da parede verde



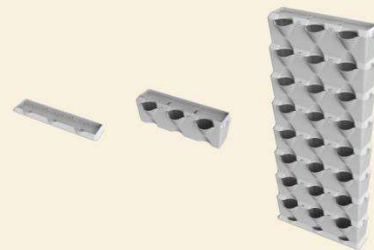
FICHA TÉCNICA

Registos e Patentes

O Minigarden® Vertical Kitchen Garden está protegido por uma patente mundial via PCT (Patent Cooperation Treaty) ao qual foi atribuído o nº PCT/PT2006 /0000003 e ainda pelos registos de modelo ou desenho industrial.

Descrição do produto

Unidade de venda:	Prato	Módulo	Set Kitchen Garden
Conteúdo:	1 Prato	1 Módulo + 6 Clips	8 Módulos + 48 Clips + 1 Prato



Dimensões:	64,6 x 14 x 3 cm	64,6 x 19 x 20 cm	64,6 x 19 x 147 cm
Capacidade Máxima:		12 litros	96 litros
Capacidade Recomendada:		10 litros	80 litros
Peso:	0,34 kg	1,01 kg	8,42 kg
Material:	Polipropileno Moplen com proteção UV		
Acabamento:	Matt, Grain MT-11007		

Fonte: <http://pt.minigarden.net>

Anexo D – Constituição do substrato dos potes da parede verde



Tabela de Preços

Referência	Saco 50 litros		Bigbag 1,5 m³		Bigbag 3,0 m³		Granel
	unidade	m³	unidade	m³	unidade	m³	m³
Argex 8-16	€ 3,50	€ 70,00	€ 93,00	€ 62,00	€ 171,00	€ 57,00	€ 44,00
Argex 3-8	€ 3,70	€ 74,00	€ 99,00	€ 66,00	€ 183,00	€ 61,00	€ 48,00
Argex 3-8F	€ 3,90	€ 78,00	€ 105,00	€ 70,00	€ 195,00	€ 65,00	€ 52,00
Argex 2-4	€ 4,30	€ 86,00	€ 117,00	€ 78,00	€ 219,00	€ 73,00	€ 60,00
Argex 0-2	-	-	€ 93,00	€ 62,00	-	-	€ 44,00
Argex Geotecnia	-	-	-	-	-	-	€ 44,00

Os preços acima indicados correspondem a material colocado sobre camião na fábrica em Bustos, Oliveira do Bairro.

Sacos de 50 litros: São fornecidos em paletes com 65, 35 e 30 sacos de 50 litros.

Paletes de Madeira: As paletes de madeira não estão incluídas nos preços e serão debitadas separadamente ao preço unitário de € 5,90. O cliente será reembolsado aquando da sua devolução em bom estado nas nossas instalações.

Bigbags: Sacos de 1,5 m³ e 3,0 m³ com alças para elevação e movimentação. Tara retornável.

Granel: Carga na fábrica a partir de silo para camião.

Preço de transporte por m³ Todas as referências

Distância	Preço/m³	Zonas de referência
Até 50 km	€ 2,10	Aveiro, Coimbra, Figueira da Foz
Até 100 km	€ 3,50	Porto, Leiria, Viseu
Até 150 km	€ 5,50	Braga, Guimarães
Até 200 km	€ 6,90	Lisboa, Castelo Branco, Vila Real, Guarda
Até 250 km	€ 9,00	Chaves, Vigo
Até 350 km	€ 13,20	Algarve, Badajoz

Fonte: http://argex.pt/documentos/20151201_tabela_precos_Argex.pdf



Planetahuerto *cultiva a tua vida!*

Destes 0,01€ a partir de 49€ Estado do teu pedido

O que procuras?

Minha conta Favoritos Meu carrinho

Horta e jardim Bonsai Alimentação bio Dietética Cosmética bio Bebê e Criança Bricolage Lar Animais Revista **OFERTAS**

Horta e jardim > Terra e Adubo > Substratos > Substrato de fibra de coco

Substrato de fibra de coco

★★★★★ 4 Opiniões

BATLLE

BLOQUE DE FIBRA DE COCO 70L SUBSTRATO

1 bloco 2 kg + 45L = 70L SUBSTRATO

€7,95

€1,59 / Kg

Escolha uma medida:

3 x 0,65 kg

5 kg

Quantidade: - 1 +

Adicionar ao carrinho

Adicionar aos favoritos

Disponibilidade: Stock

Peça já e o receberás Entre quinta-feira, 29 de setembro e 29 de setembro

Devolução Garantida Satisfeito ou Reembolsado

Também podes estar interessado em

Fonte: https://www.planetahuerto.pt/venda-substrato-de-fibra-de-coco_00035

Anexo E – Plantas constituintes da parede verde

Planfor.pt
Viveiros e Centro de Jardinagem

Registe-se | Entrar

Inserir palavra a pesquisar

Ajuda | Conta | Carrinho

Conselhos de Jardinagem | Plantas | Ferramentas de Jardinagem | Sementes Bolbos Substratos | Jardineiras Vasos e Floreiras | Deco Mobiliário de Jardim | Ideias de presente

Muito bom  baseado em 616 opiniões

Bonsai Bordo do

MEU CARRINHO

Designação	Disponibilidade	Preço unitário com IVA	Quantidade	Total com IVA
<p>2150K Abélia</p> <p>Abélia grandiflora</p> <p>Jovem planta em tronco - Altura da planta: 10/15 cm</p> <p>Espaço de plantação entre as plantas: 80 cm.</p> <p>Preço unitário disponível desde 10 unidades compradas.</p>	Disponível	1,75€	<input type="text" value="0"/>	17,50€
Despesas de entrega PORTUGAL				11,50€
Total do carrinho Euros com IVA				29,00€

Fonte: <https://www.planfor.pt/index.php?langue=PO&action=panier>

Anexo F – Gerador de preços para o andaime

© CYPE Ingenieros, S.A. Software para Engenharia e Construção

Google Pesquisa personalizada

O que são estes preços?

Duração do aluguer (dias naturais) 30

Fachada **Andaime** Superfície da fachada (m²) 75

(Superfície resultante do produto da projecção em planta do perímetro mais saliente da fachada, pela altura máxima de trabalho do andaime)

Perímetro do plano de fachada

Sem duplicidade de elementos verticais duplicados

Menos de 50% de elementos verticais duplicados

Mais de 50% de elementos verticais duplicados

Presença de elementos construtivos (varandas, cornijas, galerias, etc.), que sobressaem mais de 30 cm do plano de fachada

Nenhum

Menos de 50% do seu perímetro

Mais de 50% do seu perímetro

Ampliar Ocultar os capítulos Enviar sugestão Exportação FIE BDC

0XA110 Ud Aluguer de andaime tubular de fachada. 208,296

Aluguer durante 30 dias naturais, de andaime tubular normalizado, tipo multidireccional, até 10 m de altura máxima de trabalho, formado por estrutura tubular de aço galvanizado e quente, de 40,3 mm de diâmetro e 3,2 mm de espessura, sem duplicidade de elementos verticais, composto por plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra, para a execução de fachada de 75 m².

Unidade	Qtd	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
m ²	1	Aluguer diário de m ² de andaime tubular normalizado, tipo multidireccional, de 10 m de altura máxima de trabalho, constituído por estrutura tubular de aço galvanizado e quente, de 40,3 mm de diâmetro e 3,2 mm de espessura, sem duplicidade de elementos verticais, incluindo cumprindo as exigências de qualidade expostas na norma NEN-EN ISO 9001 segundo EN 12510 e EN 12511; composto de plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas a 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra, para execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquiteiro monofilamento, de polietileno 100%.	2.266,995	0,09	204,21
%	1	Costas directas complementares	2,000	204,21	4,00
				Total	208,296

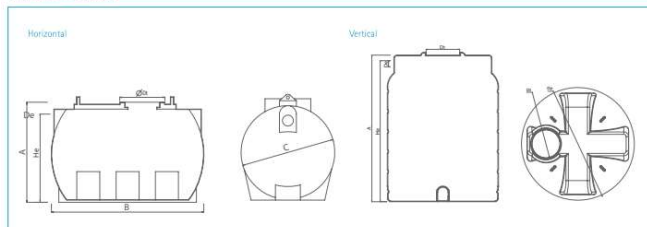
Fonte:

http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=30|0_0_0|0XA110|apr_0xa_110:_0_0_0_0_25_0_0_0_0_0_0

Anexo G – Reservatório de regularização pré-sistema de desinfecção UV

RESERVATÓRIOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DE SUPERFÍCIE E REFORÇADOS

DESENHO TÉCNICO



DADOS TÉCNICOS

Modelo	V (l)	A (mm)	Dp (mm)	Dt (mm)
RVS2 - 3500	3500	1570	1913	600
RVR2 - 3500				
RVS2 - 4500	4500	1907	1913	600
RVR2 - 4500				
RVS2 - 6500	6500	2575	1913	600
RVR2 - 6500				
RVS2 - 8500	8500	2922	1913	600
RVR2 - 8500				

ARMAZENAMENTO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS

Reservatórios Superfície

Código	Reservatório Horizontal Superfície	P.V.P. (€)
025800000	R.H.S. 600 LTS	241,67
026400000	R.H.S. 1000 LTS	325,00
026500000	R.H.S. 2000 LTS	508,33
026600000	R.H.S. 3000 LTS	666,67
026700000	R.H.S. 5000 LTS	1.175,00

Código	Reservatório Vertical Superfície	P.V.P. (€)
029200000	R.V.S.2. 3500 LTS	666,67
029300000	R.V.S.2. 4500 LTS	800,00
029400000	R.V.S.2. 6500 LTS	1.066,00
039400000	R.V.S.2. 8500 LTS	1.333,33
029500000	R.V.S.2. 10500 LTS	1.750,00
039300000	R.V.S.2. 14500 LTS	2.166,67

Fonte: <http://pre.pt/eurotubo/pdf/Produtos/Depositos/Depositos%20Grande%20Dimensao/Tabela/Tabela%20precos%20PT.pdf>

Anexo H – Sistema de desinfecção UV

Ultravioleta Cintropur TRIO-UV 25 W



Marca: CINTROPUR
Código do Produto: TAUVC004
Disponibilidade: 5 a 10 dias

Preço: 642,43€ (IVA Incluído)

Qtde: [Adicionar ao carrinho](#)

- OU -

[Adicionar para comparar](#)

0 Comentários | [Escrever um comentário](#)

[Partilhar](#) [Email](#) [Facebook](#) [Twitter](#)



Descrição

Comentários (0)

Produtos Relacionados (2)

O *Ultravioleta Cintropur* é um equipamento de desinfecção compacto capaz de remover todo o tipo de micro-organismos da água.

Composto por:

- Filtro de Sedimentos;
- Filtro de Carvão;
- Ultravioleta.

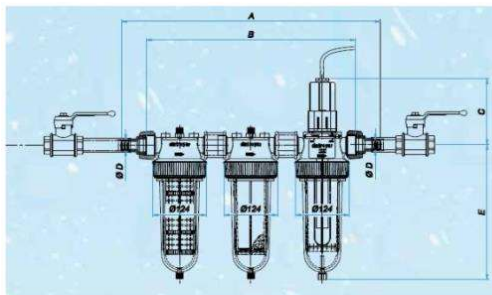
Substituição de Componentes:

- *Lâmpada: anualmente;*
- *Tubo de Quartzo: de 3 em 3 anos.*

Características Técnicas:

Ultravioleta Cintropur	AUV003 TRIO-UV
Ligações (Polegada)	3/4" - 1"
Caudal (m ³ /h)	1
Pressão Máxima (kg/cm ²)	16
Temperatura Máxima (°C)	50
Lâmpada (W)	11
Botão ON/OFF	-
Luz Piloto da Lâmpada UV	-
Contador de Horas	-
Alarme Sonoro	-

Dimensões e Peso:



Ultravioleta Cintropur	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (Ø)	E (mm)	Peso (Kg)
AUV003 - TRIO-UV	601,5	487	154	3/4" - 1"	310	4,3

Fonte: http://www.aquafoz.com/loja/index.php?route=product/product&path=71_142&product_id=534

Anexo I – Implantação do sistema de tubagem no piso -3

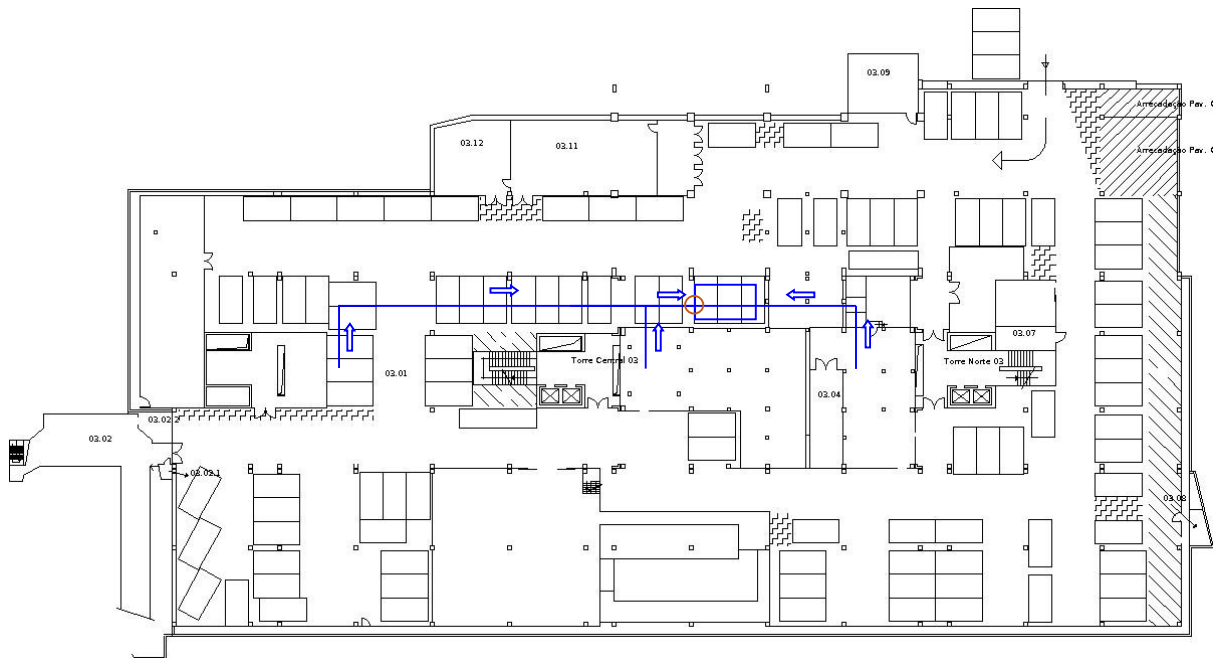


Figura I.1 - Representação esquemática da implantação do sistema de tubagem do piso -3.

Anexo J – Sistema de tubagem

O que está à procura?

PRODUTOS | PROMOÇÕES | FAZER É FÁCIL | SERVIÇOS | LOJAS

0,00€ 0 artigos

QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO
AJUDE-NOS A MELHORAR O NOSSO SITE PARA SI
RESPONDA AQUI

Onde está: > Produtos > Canalização > Tubos e acessórios evacuação > Tubos e pontas > **Tubo PVC D32 3M**

Tubo PVC D32 3M
Ref.16995055

Características:
Diâmetro: 32 mm
Material: PVC

2,30€

Disponibilidade
(Escolha uma loja)
* data prevista de entrega

Adicionar ao carrinho

Click & Drive: Gratuito
Entrega em casa: Desde 5€

Adicionar à lista

Garantia de satisfação
Mudou de opinião?
Garantimos-lhe a troca do produto ou reembolso do valor

Outras opções
Tubo PVC D32 3M 2,30€

Características

Vantagens	> Os tubos de PVC são resistentes à corrosão interna e externa, são resistentes à acção de fungos, bactérias, insectos e roedores e são materiais recicláveis e reciclados. O PVC é um bom isolante acústico, eléctrico e térmico.
Tipo	> Tubo
Comprimento	> 3 m
Espessura	> 1.5 mm

Fonte: <http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Canalizacao/Tubos-e-acessorios-evacuacao/Tubos-e-pontas/16995055.aspx>

Anexo L – Planeamento prévio do projeto de execução

Quadro L.1 - Proposta de planeamento das diversas atividades com o respetivo período de execução.

Trabalhadores	Pedreiro+Servente Canalizador+Servente	Pedreiro+Servente	Jardineiro	Canalizador+Servente	Pedreiro+Servente	Jardineiro
Atividades	Realização dos trabalhos de instalação dos reservatórios nas casas de banho e respetiva tubagem	Montagem da estrutura da parede verde Torre Norte	Plantação dos potes na Torre Norte	Instalação do sistema de tubagem na parede verde na Torre Norte	Montagem da estrutura da parede verde Torre Central	Plantação dos potes Torre Central
Planeamento						
Semana 1	✘					
Semana 2		✘				
Semana 3		✘				
Semana 4			✘		✘	
Semana 5			✘		✘	
Semana 6				✘		✘
Semana 7						✘
Semana 8						
Semana 9						
Semana 10						
Semana 11						
Semana 12						

Quadro L.2 - Proposta de planeamento das diversas atividades com o respetivo período de execução.

Trabalhadores	Canalizador+Servente	Pedreiro+Servente	Jardineiro	Canalizador+Servente	Pedreiro+Servente Canalizador+Servente	Trabalhador da respetiva empresa	Pedreiro+Servente Canalizador+Servente Jardineiro
Atividades	Instalação do sistema de tubagem na parede verde na Torre Norte	Montagem da estrutura da parede verde Torre Sul	Plantação dos potes na Torre Sul	Instalação do sistema de tubagem na parede verde na Torre Sul	Realização dos trabalhos de instalação dos reservatórios no piso-3 e respetiva tubagem	Instalação do sistema de desinfecção UV	Ligação do sistema de tratamento
Planeamento							
Semana 1							
Semana 2							
Semana 3							
Semana 4							
Semana 5							
Semana 6		✘					
Semana 7	✘	✘					
Semana 8			✘				
Semana 9			✘				
Semana 10				✘			
Semana 11					✘	✘	
Semana 12					✘		✘

Anexo M – Comparação entre a evolução dos custos atuais e após a instalação da solução de tratamento: Tempo de retorno do investimento.

Quadro M.1 - Comparação entre a evolução dos custos atuais e após a instalação da solução de tratamento.

	Custos acumulados com a solução de tratamento	Custos acumulados sem a solução de tratamento
Ano 0	59455	26710
Ano 1	81082	52148
Ano 2	101678	76375
Ano 3	121295	99448
Ano 4	139976	121422
Ano 5	157769	142350
Ano 6	174714	162282
Ano 7	190852	181264
Ano 8	206222	199342
Ano 9	220859	216560
Ano 10	234800	232958
Ano 11	248077	248574
Ano 12	260722	263447
Ano 13	272764	277612
Ano 14	284233	291103
Ano 15	295156	303951
Ano 16	305559	316187
Ano 17	315466	327840
Ano 18	324902	338939
Ano 19	333888	349509
Ano 20	342447	359576