



# **Impacte da rega com águas residuais tratadas no desenvolvimento das plantas de uma parede verde e influência desta estrutura verde na qualidade do ar interior**

**MARIA INÊS GONÇALVES BOAVENTURA**

(Licenciada em Engenharia Química e Biológica - Ramo de Engenharia do Ambiente)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadoras:

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo

Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues

Doutora Maria Idália da Silva Gomes

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João

Vogais:

Doutora Sandra de Jesus Martins Mourato

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo

**Dezembro de 2024**



# **Impacte da rega com águas residuais tratadas no desenvolvimento das plantas de uma parede verde e influência desta estrutura verde na qualidade do ar interior**

**MARIA INÊS GONÇALVES BOAVENTURA**

(Licenciada em Engenharia Química e Biológica - Ramo de Engenharia do Ambiente)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadoras:

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo, DEQ/ISEL

Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues, DEM/ISEL

Doutora Maria Idália da Silva Gomes, DEC/ISEL

Júri:

Presidente: Doutora Isabel Maria da Silva João, DEQ/ISEL

Vogais:

Doutora Sandra de Jesus Martins Mourato, ESTG/IPLeiria

Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo, DEQ/ISEL

**Dezembro de 2024**



## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho só foi possível graças a variadas pessoas que estiveram presentes e que, de alguma forma contribuíram para a realização do mesmo.

Às minhas orientadoras: Professora Ana Barreiros, Professora Alexandra Rodrigues e Professora Idália Gomes, docentes do ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, pela disponibilidade e orientação, fundamental para o desempenho desta dissertação.

Ao professor Vítor Silva do departamento de Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações e de Computadores do ISEL, pela sua colaboração e disponibilidade.

À empresa Terra Composta e às auxiliares do ISEL, que ajudaram na manutenção das plantas.

Ao Instituto Politécnico de Lisboa, pelo financiamento do Projeto IPL/IDI&CA2024/HealthyIES\_ISEL.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo financiamento do projeto UIDB/04625/2020 na unidade de pesquisa CERIS.

Aos meus pais, que todos os esforços fizeram na contribuição do meu percurso académico.

À minha irmã, um dos maiores apoios e pilar da minha vida e que sempre esteve presente durante todo o meu percurso académico (e não só). Um muito obrigada por todo o apoio incondicional, compreensão e motivação.

Ao Bruno, por todo o apoio e compreensão, um muito obrigada por tudo.

A vocês os quatro, pilares de apoio na construção e desenvolvimento do meu ser, dedico esta tese.



## Declaração de integridade

Declaro que esta(e) dissertação / ~~trabalho de projeto~~ / ~~relatório de estágio~~ é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

Inês Boaventura  
Lisboa, 16 de Novembro de 2024



## RESUMO

A qualidade do ar no interior (QAI) dos edifícios tem uma influência significativa na saúde dos ocupantes, quer do ponto de vista físico como psicológico. Uma das estratégias de melhoria da QAI é a utilização de plantas, as quais, como qualquer outro ser vivo, necessitam de água para sobreviver. Contudo, devido aos problemas de escassez de água é necessário repensar o uso de um recurso tão precioso como a água potável (AP), avaliando alternativas sustentáveis, como é o caso das águas residuais tratadas (ART).

O presente estudo teve como objetivo verificar qual o impacto da rega com ART no desenvolvimento das plantas de uma estrutura verde natural (EVN), monitorizando o seu crescimento, e qual o impacto das plantas na QAI de uma sala de aula no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, através da monitorização pontual de diversos parâmetros, como a temperatura (T), humidade relativa (HR), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), compostos orgânicos voláteis (COV) e partículas em suspensão, PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>.

O estudo dividiu-se em duas fases: na primeira fase, todas as plantas foram regadas com AP e realizou-se a primeira monitorização à QAI. Na segunda fase do estudo, metade das plantas começaram a ser regadas com ART e a outra metade continuou a ser regada com AP. Fez-se ainda a segunda monitorização à QAI.

Relativamente aos resultados das monitorizações da QAI, observou-se que, apesar de alguns incumprimentos relativamente aos valores da Legislação Portuguesa, a Portaria n.º 138-G/2021 de 1 de julho, a QAI é, de modo geral, aceitável, observando também o impacto positivo da EVN na QAI.

Quanto ao crescimento das plantas, não se verificou um crescimento superior nas plantas regadas com ART, como seria de esperar. Apesar disso, verificou-se que as plantas foram crescendo ao longo do tempo, sendo a ART uma opção viável na substituição da AP.

**Palavras-chave:** Águas residuais tratadas, eficiência hídrica, estruturas verdes naturais, qualidade do ar interior.



## **ABSTRACT**

Indoor air quality (IAQ) in buildings has a significant influence on the health of occupants, both from a physical and psychological point of view. One of the strategies for improving IAQ is the use of plants, which, like any other living being, need water to survive. However, due to water scarcity problems, it is necessary to rethink the use of such a precious resource as drinking water (DW), evaluating sustainable alternatives, such as treated wastewater (TWW).

The present study aimed to verify the impact of irrigation with TWW on the development of plants in a natural green structure (NGS), monitoring their growth, and what is the impact of plants on the IAQ of a classroom at the Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, through spot monitoring of various parameters, such as temperature (T), relative humidity (RH), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), volatile organic compounds (VOC) and suspended particles, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>.

The study was divided into two phases: in the first phase, all plants were watered with DW and the first IAQ monitoring was carried out. In the second phase of the study, half of the plants began to be irrigated with TWW and the other half continued to be irrigated with DW. A second monitoring of the IAQ was also carried out.

In relation to the results of the IAQ monitoring, it was possible to observe that, despite some non-compliances with the values of Portuguese Legislation, Ordinance No. 138-G/2021 of July 1st, the IAQ is, in general, acceptable, also was possible to verify the positive impact of NGS on IAQ.

As for plant growth, there is no superior growth in plants watered with TWW, as would be expected. Despite this, it appears that the plants grew over time, making TWW a viable option for replacing DW.

**Keywords:** Treated wastewater, water efficiency, natural green structures, indoor air quality.



## ARTIGOS EM CONFERÊNCIAS

- Boaventura, M. I., Rodrigues, A. S., Barreiros, AM., Gomes, M.I. (2023) “Impact of Irrigation with Treated Wastewater on Plant Development in a Natural Green Structure and Indoor Air Quality” 2nd International Conference on Challenges in Engineering, Medical, Economics and Education: Research & Solutions (CEMEERS-23b) Nov. 23-24, Istanbul (Turkiye). ISBN 978-989-9121-31-7 (apresentação oral)
- Gomes, Maria Idália; Barreiros, A.M.; Maria Inês Boaventura; Alexandra S. Rodrigues. (2024) "Do plants improve indoor air quality? Myth or Reality? A case study in a university environment using treated wastewater for plants irrigation". ICoWEFS 2024, 8-10 maio, Portalegre, Portugal. ICoWEFS 2024 Sustainability Proceedings <https://www.springer.com/series/15734>. (apresentação oral).

### Resumos em conferências

- Boaventura, M.I.; Rodrigues, A.S.; Barreiros, A.; Gomes, M.I. (2024) Impact of a natural green structure, water with treated wastewater, on indoor air quality". 1st International Conference of FEE Eco Campus - “Getting Higher Level Education Climate Ready”, Lisboa. (apresentação oral)



## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. METODOLOGIA .....	4
1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	5
2. QUALIDADE DO AR INTERIOR .....	7
2.1. PRINCIPAIS FATORES E POLUENTES QUE INFLUENCIAM A QAI.....	9
2.2. SÍNDROME DO EDIFÍCIO DOENTE E DOENÇAS RELACIONADAS COM O EDIFÍCIO .....	18
3. INFLUÊNCIA DE PAREDES VERDES NA QUALIDADE DO AR INTERIOR .....	21
3.1. PAREDES VERDES: FACHADAS VERDES E PAREDES VIVAS .....	22
4. ÁGUAS RESÍDUAIS TRATADAS.....	27
4.1. REUTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS.....	29
4.2. ANÁLISE SWOT .....	36
5. CASO DE ESTUDO .....	39
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL EM ESTUDO .....	39
5.2. IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRUTURA VERDE NATURAL .....	40
5.3. METODOLOGIA DA MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR.....	43
5.3.1. PRIMEIRA FASE DO ESTUDO: “ANTES DA REGA COM ART”.....	44
5.3.2. SEGUNDA FASE DO ESTUDO: “REGA COM ART” .....	46
5.4. METODOLOGIA DA MONITORIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS 48	
6. RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO .....	51
6.1. MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR.....	51
6.1.1. PRIMEIRA FASE DO ESTUDO: “ANTES DA REGA COM ART” .....	51
6.1.2. SEGUNDA FASE DO ESTUDO: “REGA COM ART” .....	58
6.2. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS .....	64

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	75
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 3-1 - Exemplo ilustrativo de como as fachadas vivas criam uma barreira de proteção entre o meio externo e interno, contra a radiação solar, vento, poluição e ruído. ....	22
Figura 3-2 - Sistema de paredes verdes .....	23
Figura 3-3 - Fachadas Verdes Direta e Indireta. (a) Fachada verde Direta com vegetação plantada no solo; (b) Fachada Verde Direta com plantas enraizadas numa estrutura; (c) Fachada Verde Indireta com vegetação plantada no solo; (d) Fachada Verde Indireta com plantas enraizadas numa estrutura.....	24
Figura 3-4 - Paredes vivas; (a) Parede Viva Contínua; (b) Parede Viva Modular .....	25
Figura 4-1 - Evolução do número de instalações de tratamento do setor em alta .....	33
Figura 4-2 - Evolução do número de instalações de tratamento do setor em baixa.....	33
Figura 4-3 - Destino dado à ART, em Portugal, em 2022.....	34
Figura 5-1 - Planta da SV, indicação das plantas e do aparelho de medição da QAI ao centro da sala .....	40
Figura 5-2 - Fotografia da SV com localização da EVN.....	41
Figura 5-3 - Exposição das plantas na sala, maio 2024 .....	42
Figura 5-4 - Disposição das plantas na SV .....	46
Figura 5-5 – Imagem das plantas com kapaline e quadrados laranja com 10 x 10 cm para servir de escala à medição da área frontal das plantas .....	49
Figura 6-1 - Variação da Temperatura na SV e na SN .....	51
Figura 6-2 - Variação da Humidade na SN e SV .....	53
Figura 6-3 - Comparação do CO <sub>2</sub> entre a SV e a SN .....	54
Figura 6-4 - Comparação dos COV entre a SV e a SN .....	55
Figura 6-5 - Comparação das PM <sub>2.5</sub> entre a SV e a SN.....	56
Figura 6-6 - Comparação das PM <sub>10</sub> entre a SV e a SN.....	57
Figura 6-7 - Variação da Temperatura na SV e na SN .....	58
Figura 6-8 - Variação da Humidade Relativa na SV e na SN .....	59
Figura 6-9 - Comparação do CO <sub>2</sub> entre a SV e a SN .....	60
Figura 6-10 - Comparação dos COV entre a SV e a SN.....	62
Figura 6-11 - Monitorização PM <sub>2.5</sub> entre a SV e a SN .....	63
Figura 6-12 - Monitorização PM <sub>10</sub> entre a SV e a SN.....	64
Figura 6-13 - Evolução da área da espécie Scindapus aureus ao longo dos meses (Planta 1 e 2).....	65

Figura 6-14 - Evolução da área da espécie <i>Scindapsus aureus</i> aos longo dos meses (Planta 3 e 4).....	66
Figura 6-15 - Evolução da área das espécies <i>Dracaena trifasciata</i> e <i>Chlorophytum comosum</i> ao longo dos meses (vaso 5 e 6).....	67
Figura 6-16 - Evolução da área da espécie <i>Dyopsis lutescens</i> ao longo dos meses (Planta 7 e 8).....	68
Figura 6-17 - Evolução da área da espécie <i>Aloe Vera</i> ao longo dos meses (Plantas 9 e 10).....	69
Figura 6-18 - Evolução da área da espécie <i>Ficus benjamina</i> ao longo dos meses (Plantas 11 e 12).....	70
Figura 6-19 - Representação dos vasos 13, 14 e 15 com as duas espécies de plantas: <i>Scindapsus aureus</i> e <i>Chlorophytum comosum</i> (adaptado de Miranda T. C., 2022).....	71
Figura 6-20 - Evolução da espécie <i>Scindapsus aureus</i> ao longo dos meses (vasos 13, 14 e 15).....	72
Figura 6-21 - Evolução da espécie <i>Chlorophytum comosum</i> ao longo dos meses (vasos 13, 14 e 15).....	73

## ÍNDICE TABELAS

Tabela 2-1 – Fatores/Poluentes e fontes que afetam a Qualidade Ar Interior .....	10
Tabela 4-1 – Vantagens e limitações do uso das águas cinzentas, águas pluviais e águas residuais.....	31
Tabela 5-1 – Monitorização da QAI na primeira fase do estudo na SV.....	45
Tabela 5-2 – Monitorização da QAI na primeira fase do estudo na SN .....	45
Tabela 5-3 – Valores de CQO, CBO <sub>5</sub> , N e P da água residual tratada .....	47
Tabela 5-4 - Monitorização da QAI na segunda fase de estudo na SV e SN.....	48



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AR – Água Residual

ART – Água Residual Tratada

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DRE – Doença Relacionada com o Edifício

EVN – Estrutura Verde Natural

HR – Humidade relativa do ar

OMS – Organização Mundial de Saúde

PM<sub>10</sub> – Partículas em suspensão de diâmetro inferior a 10 µm

PM<sub>2,5</sub> – Partículas em suspensão de diâmetro inferior 2 ,5 µm

QAI – Qualidade do Ar Interior

SED – Síndrome do Edifício Doente

SN – Sala Neutra

SV – Sala Verde

T – Temperatura do ar



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Grande parte da nossa vida é passada em ambientes fechados, desde os tempos de escola, ao tempo passado a trabalhar. Atualmente, as pessoas passam cerca de 87% do seu tempo em ambientes fechados (Ortiz-Ospina, et al., 2020). Muitas das vezes, a qualidade de ar no interior dos edifícios é baixa e por vezes pior do que a qualidade do ar no exterior (Montgomery & Kalman, 1989, Pegas, et al 2011, Abbatt & Wang, 2020). Muitos edifícios não possuem as condições mínimas de renovação de ar, devido a uma ventilação ineficiente, e não existe controlo de temperatura do ar e humidade do ar. A má qualidade do ar interior (QAI) pode provocar diversos desconfortos ou até mesmo graves problemas de saúde, como é o caso dos problemas respiratórios. Para além de afetar a saúde dos ocupantes, estudos demonstram que uma má qualidade do ar interior pode ter impactes nas capacidades cognitivas e na sua produtividade, como é referido no estudo de Daisey, et al., (2003) ou Ferreira & Cardoso (2013).

As escolas são consideradas uma das infraestruturas mais importantes na sociedade, um dos primeiros locais para o desenvolvimento das atividades sociais, onde crianças e jovens passam a maior parte do tempo. Uma má QAI nos espaços escolares, para além dos efeitos adversos na saúde, pode também afetar a concentração, produtividade e o desempenho.

Em 2013, o Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro monitorizou o ar das salas de 14 estabelecimentos de ensino do 1º ciclo na cidade de Lisboa. Nas conclusões verificou-se falta de ventilação, número excessivo de ocupantes para as dimensões das salas, a falta de critério na escolha dos materiais de mobiliário e de limpeza, verificando ainda que, os trabalhos de reabilitação das salas eram os principais causadores para que as taxas de poluentes no ar interior ultrapassassem o estipulado pela legislação portuguesa (Alves, 2013). Outro estudo, realizado em 2020 por Faria, et al. (2022), verificou que são as salas de aula que mais contribuem para os níveis elevados de exposição das crianças a  $PM_{2.5}$ , estando estes valores relacionados com o transporte de partículas do exterior para o interior, da re-suspensão das partículas devido ao movimento dos alunos e deficiente ventilação.

Assim sendo, nos últimos anos tem se assistido a uma tentativa de melhoria dos edifícios, tanto no seu exterior como no seu interior, de modo a enfatizar o baixo consumo de energia e a redução do impacte que os edifícios têm no ambiente. Fatores como o conforto térmico,

a qualidade do ar, a ventilação interior, o conforto visual e acústico são os mais avaliados, com o objetivo de avaliar a influencia na saúde, no conforto e na produtividade dos ocupantes. Para além desses fatores, existem outros fatores interessantes de se estudar, como é o caso da ligação entre os ocupantes dos edifícios e a natureza (Mujan, et al., 2019).

A instalação de paredes verdes no interior dos edifícios vieram beneficiar a qualidade do ar interior, eliminando quantidades significativas de compostos orgânicos voláteis (COV) e reduzindo níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) até 25%. Além do benefício na QAI melhora a acústica do espaço (uma vez que as plantas absorvem, difratam e refletem o som), removem toxinas e equilibram a humidade. Para além disso, trazem um conforto visual, um bem-estar à saúde mental e estimulam a produtividade dos ocupantes (Biotecture, 2023).

Mas tal como todos os seres vivos, as plantas necessitam de água para a sua sobrevivência. Cada planta tem uma necessidade diferente de água para poder se desenvolver, sendo que a quantidade de água a aplicar na planta varia consoante a estação do ano, o clima e as condições climáticas. Água em excesso leva ao apodrecimento das raízes e, contrariamente, água em falta, leva à desidratação da planta e posteriormente à sua morte.

Atualmente, é possível verificar que os períodos de seca são cada vez mais frequentes e mais extremos, obrigando a procura de alternativas à rega com água potável, que possam satisfazer as necessidades hídricas. Esta procura não se deve apenas à seca extrema, mas também ao facto de a água doce estar cada vez mais escassa. O crescimento populacional, a urbanização e a industrialização são três razões pelas quais a água doce está a escassear.

Por essa razão, uma das alternativas à utilização da água doce, é a utilização da água residual tratada (ART). Esta alternativa diminui a necessidade de captação, tratamento e distribuição de água para consumo humano, satisfazendo as necessidades hídricas das plantas ou culturas, sendo também possível a sua utilização em usos urbanos que não necessitem da potabilidade das águas, como é o caso da lavagem de ruas ou de viaturas. Apesar de ser uma boa alternativa, as constantes regas com estas águas também trazem impactes, tanto para as próprias plantas ou culturas, como para a saúde humana (Monteiro, et al., 2021, González & Rubalcaba, 2011).

O benefício da utilização de plantas para a remoção de poluentes do ar interior começa a ser estudado, em particular em ambientes universitários. É pertinente verificar qual o contributo de uma estrutura verde natural (EVN) (que será composta por plantas com reconhecida capacidade em remover poluentes), na melhoria da qualidade ao ar interior numa

sala de aula numa instituição de ensino superior, e consequente qual o impacte da utilização de água potável versus água residual tratada, na rega das respetivas plantas.

## 1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo verificar o impacte de uma estrutura verde natural na QAI de edifícios, mais concretamente, numa sala de aula do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, comparando-a com uma sala sem estrutura verde e analisando diversos parâmetros da qualidade do ar.

Verificar qual o impacte da rega com ART no crescimento das plantas comparando-as com as plantas da mesma espécie, mas regadas com AP.

Resumidamente, os objetivos deste trabalho são:

- Verificar se as plantas influenciam na QAI;
- Verificar qual é o impacte da rega com ART no desenvolvimento das plantas.

### 1.3. METODOLOGIA

Para concretizar estes objetivos, foi necessário proceder à monitorização das salas de aula em estudo. Esta monitorização foi feita simultâneo em duas salas distintas: a Sala Verde (SV) e a Sala Neutra (SN). A SV e a SN têm as mesmas dimensões e a mesma capacidade. O que as diferencia é a presença de uma parede verde, composta por diferentes espécies de plantas.

De maneira a verificar a influencia da estrutura verde a fez-se a monitorização de diversos parâmetros com um equipamento calibrado portátil de leitura direta, *Kaiterra Sensedge Mini 5-in-1* colocado no centro da sala e afastado das paredes em pelo menos 1 m e a uma altura de 77 cm como o recomendado na ISO 16000-1 (2004), sendo os parâmetros monitorizados os seguintes:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Compostos orgânicos voláteis totais (COV<sub>T</sub>);
- Partículas em suspensão de diâmetro inferior a 2.5 µm e 10 µm (PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> respetivamente);
- Temperatura (T) em graus (°C);
- Humidade relativa (HR) em percentagem (%).

Verificar o desenvolvimento das plantas regadas com ART e AP através da sua monitorização, mais concretamente, do seu crescimento, através de análise de imagem.

## 1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação é composta por 7 capítulos, os quais são de seguida apresentados de forma resumida.

### **Capítulo 1: Introdução**

No primeiro capítulo fez-se um breve enquadramento do tema, expondo os objetivos e as metodologias utilizadas para conseguir esses objetivos.

### **Capítulo 2: Qualidade do Ar Interior**

No segundo capítulo fala-se sobre o que é a QAI, os principais fatores e poluentes que afetam a QAI e as consequências da exposição a estes poluentes.

### **Capítulo 3: Influência de paredes verdes na qualidade do ar interior**

No terceiro capítulo apresenta-se o conceito de paredes verdes e os tipos de estruturas existentes e como é que as plantas influenciam na qualidade do ar.

### **Capítulo 4: Águas residuais tratadas e sua aplicabilidade**

No quarto capítulo apresenta-se o conceito de águas residuais e águas residuais tratadas, onde é que estas podem ser aplicadas e quais os impactes que o uso de ART apresenta para o ambiente e para a saúde pública.

### **Capítulo 5: Caso de Estudo – Métodos e Monitorizações**

No quinto capítulo apresenta-se a metodologia e procedimentos utilizados na monitorização da qualidade do ar interior e no desenvolvimento das plantas.

### **Capítulo 6: Resultados, Análise e Discussão**

No sexto capítulo são apresentados os resultados obtidos no estudo, comparando com trabalhos similares, tendo em conta a literatura especializada na área.

### **Capítulo 7: Conclusões**

O sétimo capítulo sintetiza os resultados obtidos no estudo e as conclusões obtidas do mesmo.



## 2. QUALIDADE DO AR INTERIOR

Na atualidade, cada vez mais as pessoas passam a maior parte do seu tempo, cerca 87%, em espaços interiores, sejam estes, por exemplo, espaços habitacionais, locais de ensino, trabalho ou de lazer (Ginja, et al., 2012, APA, 2010).

Segundo OCDE (2014), Portugal faz parte dos países em que o tempo de ensino é pelo menos 5% superior ao tempo de ensino obrigatório na União Europeia. Em Portugal, os alunos do 1º e 2º ciclo passam 834 horas por ano em aulas e o 3º ciclo 892 horas por ano. Quando se faz a comparação com os outros países da União Europeia, a sua média é de 776 horas para o 1º e 2º ciclo e 892 horas para o 3º ciclo (Azevedo, 2018), ou seja, os estudantes portugueses tendem a passar mais tempo nos locais de ensino. Isto faz com que haja uma preocupação maior relativamente ao ar que respiramos nestes ambientes fechados, uma vez que variados artigos já comprovaram que a poluição atmosférica representa um efeito negativo na saúde das pessoas, como por exemplo, os estudos realizados por Dapper, et al. (2016) e Briggs (2003).

A OMS estimou em 2012 que a poluição dentro dos edifícios foi responsável por 4,3 milhões de mortes, enquanto, a poluição no exterior terá sido responsável por 3,7 milhões de mortes. Comparando as percentagens das doenças causadas pela poluição do ar, no interior e o exterior respetivamente, tem-se: ataques de coração (34% e 40%), doença isquémica do coração (26% e 40%), doenças respiratórias obstrutivas crónicas (22% e 11%) e infeções respiratórias graves em crianças (12%) e, provocado pela poluição do ar no exterior, cancro do pulmão, com uma percentagem de 6% (WHO, 2014).

Em outubro de 2017, *The Lancet*, divulgou um estudo ao qual afirma que cerca de 6,5 milhões de mortes prematuras em todo o mundo são consequência da poluição do ar, estimando o aumento desse número para 7,5 milhões em 2040, ressalvando que o problema não está apenas no ar exterior, mas também no ar interior. Dos 6,5 milhões de mortes atribuídas à poluição do ar em 2040, cerca de 3 milhões de mortes podem ser causadas pela poluição do ar interior (Veolia, 2023, Romanello, et al., 2023)

Dados da OMS mostram que 99% da população mundial respira ar que excede os limites das diretrizes da OMS, contendo elevados níveis de poluentes. Uma das prioridades da OMS, através das suas diretrizes para a qualidade do ar interior, é a saúde pública, com o objetivo de eliminar ou reduzir ao mínimo, a exposição aos poluentes conhecidos ou que são suscetíveis de serem perigosos (WHO, 2010, WHO, 2023).

A qualidade do ar interior continua a ser um tema negligenciado, embora tenha grande impacto em toda a população mundial. O microclima de uma sala de aula é o primeiro fator que determina um ambiente escolar saudável, sendo influenciado pela ventilação, temperatura e humidade. As salas de aula por norma são mal ventiladas e costumam estar lotadas, resultando de um aumento de poluentes, como o dióxido de carbono, que é um dos responsáveis por problemas de concentração; as atividades antropogénicas são responsáveis pela emissão de dióxido de azoto e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos; em alguns locais, o radão, proveniente do solo e de materiais de construção à base de granito e os compostos orgânicos voláteis (libertados pelos materiais de construção, móveis, detergentes, entre outros) e o material particulado, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>. Estes poluentes, quando em excesso, são responsáveis pelo mau estar dos ocupantes do edifício, e em condições mais severas, são responsáveis pelo desenvolvimento de doenças respiratórias ou até mesmo cancro do pulmão (Pulimeno, et al., 2020; APA, 2021).

Diversos estudos comprovam que existem algumas plantas capazes de reduzir os poluentes do ar interior, como é o caso de Wolverton, et al. (1989) e Irga, et al. (2018). A diminuição da concentração dos poluentes no interior dos edifícios através das plantas, é uma solução para mitigar alguns dos sintomas do chamado Síndrome do Edifício Doente (SED) ou da Doença Relacionada com o Edifício (DRE).

Apesar de existirem alguns estudos sobre a utilização das plantas na remoção de poluentes no interior dos edifícios, a informação acerca da eficiência de paredes verdes em contexto universitário é escassa, tornando-se pertinente o seu estudo.

Uma vez que vivemos numa era em que as alterações climáticas estão cada vez mais presentes, como por exemplo através secas extremas e mais frequentes, o uso de águas residuais tratadas na rega das plantas vem completar o estudo, tornando-se pertinente verificar se a conjugação de uma parede verde regada com água residual tratada, influência ou não, na melhoria da qualidade do ar interior e, ao mesmo tempo, se a rega com este tipo de efluente é uma mais-valia no desenvolvimento das plantas.

A qualidade do ar (QA) pode ser definida de várias maneiras. Segundo o Relatório do Estado do Ambiente (REA) (2023), a qualidade do ar pode ser definida como a interação entre vários fatores, dos quais, a perigosidade dos poluentes, o volume das emissões, a topografia e as condições meteorológicas. A OMS refere que a poluição atmosférica ocorre quando há contaminação do ambiente, seja ele interno ou externo, através de um agente químico, físico ou biológico, e que este seja responsável pela modificação das características naturais da atmosfera (WHO, 2023). A APA (2010) refere que a qualidade do ar interior é definida como as “*características químicas, físicas e biológicas do ar interior não residencial, em locais de trabalho ex., gabinetes, etc., espaços públicos interiores, não incluindo espaços interiores industriais ou na presença de operações que possam afetar o conforto ou saúde do ocupante*”. Para além da definição de QA, é também referido que o ar ambiente interior também resulta da localização do edifício, do clima, do sistema de ventilação do edifício, de fontes de contaminação, da humidade e do número de ocupantes. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (2020) refere que a qualidade do ar interior está relacionada com os tipos de contaminantes e suas concentrações, que são conhecidos ou suspeitos de afetar o conforto, o bem-estar, a saúde, resultados de aprendizagem e o desempenho das pessoas no trabalho. Os contaminantes referidos incluem partículas (sejam estas de origem biológica ou não), gases orgânicos (como os COV e Compostos Orgânicos Semi-Voláteis - COSV) e gases inorgânicos (monóxido de carbono - CO, ozono - O<sub>3</sub> e Óxidos de Nitrogénio - NO<sub>x</sub>). Outros fatores como a humidade, odores, ventilação, infiltrações, emissões internas e as concentrações de contaminantes externos também influenciam a concentração dos contaminantes internos.

## **2.1. PRINCIPAIS FATORES E POLUENTES QUE INFLUENCIAM A QAI**

Como foi referido anteriormente, a qualidade do ar de um edifício não depende apenas do sistema de ventilação, da localização, mas também de outras fontes de contaminação. As fontes de contaminação tanto podem ser de origem exterior como de origem interior (como por exemplo, a densidade ocupacional do edifício e os equipamentos existentes).

Os principais fatores e poluentes que se pode encontrar numa sala de aula, e respetivas fontes, são apresentados na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Fatores/Poluentes e fontes que afetam a Qualidade Ar Interior

<b>Fator/Poluente</b>	<b>Fonte</b>
<b>Temperatura e humidade relativa</b>	Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.
<b>Circulação do ar/Ventilação (inadequada)</b>	Medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento do AVAC pelos ocupantes, conceção desajustada dos espaços em avaliação.
<b>Dióxido de carbono</b>	Número de pessoas (suor, transpiração, respiração e digestão), queima de combustíveis fósseis (gás, aquecedores, etc.).
<b>Partículas</b>	Entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de AVAC, limpezas, ocupantes, vegetação, solo, e fatores externos que afetam a QAI, como as emissões de veículos, trabalhos de construção e demolição.
<b>Compostos orgânicos voláteis</b>	Computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, tintas, adesivos, calafetagem, solventes, impermeabilizantes e isolantes, derivados de silicone, produtos de combustão, desinfetantes, cosméticos e outros produtos de uso pessoal (desodorizantes, perfumes, laca).

(Adaptado de APA, 2010, Loureiro, 2015)

## ❖ TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA

A temperatura e a humidade relativa são parâmetros físicos que estão diretamente relacionados com o conforto térmico, sendo os parâmetros mais significativos no que toca ao conforto que se sente nos edifícios.

A temperatura é influenciada por diversos fatores, como a radiação, velocidade do ar, ventilação, humidade. A temperatura necessária para que o nível de conforto seja sentido pelos ocupantes depende da atividade dos ocupantes, do seu vestuário, idade e temperatura corporal. Temperaturas mais altas, em conjunto com uma percentagem de humidade elevada, influencia o crescimento dos microrganismos, como é o caso de fungos e bactérias (Coentro, 2015, APA, 2010).

Relativamente à humidade, quando inferior a 25%, aumenta o desconforto e faz com que as membranas mucosas e a pele fiquem secas, podendo levar a formação de gretas e irritação, e irritação ocular. Contrariamente, quando os valores da humidade relativa são elevados, faz com que haja condensação nas superfícies interiores do edifício e, conseqüentemente, desenvolvimento microbiano, libertando esporos, células, fragmentos e/ou compostos orgânicos voláteis, afetando assim, a qualidade do ar interior (APA, 2010, Coentro, 2015).

Outro problema associado à humidade, é a sua influência na degradação química de materiais. Isto contribui para a emissão de produtos de degradação para o ar interior. Quando há uma fraca ou inadequada ventilação, faz com que esta concentração aumente (Coentro, 2015).

## ❖ CIRCULAÇÃO DO AR

A circulação do ar é um parâmetro de conforto, uma vez que, a circulação excessiva causa arrefecimento (APA, 2010)

A circulação do ar tem como componentes a deslocação do ar por convecção e por ventilação. O movimento do ar por convecção é aquele no qual uma massa de ar movimentase através das diferentes densidades, ou seja, o ar interior tem temperatura superior ao ar exterior, o que faz com que suba, pois é menos denso que o ar com temperatura menor. Esta movimentação do ar vai fazer com que seja criado um pequeno vácuo, puxando o ar exterior para o interior do edifício, formando assim um fluxo de ar natural (PetaProj, 2023).

Já a ventilação acontece quando há a renovação e filtragem de ar, sendo assim possível, diluir e remover poluentes interiores. Uma ventilação insuficiente faz com que a concentração de poluentes aumente, uma vez que não há ar externo suficiente para diluir as fontes de emissão internas e expelir o ar interior para o exterior (APA, 2010, EPA, 2023).

Existem três tipos de ventilação: a ventilação natural, a ventilação mecânica e a ventilação híbrida. A ventilação natural é explicada pelo movimento de massas de ar induzidas pela diferença de pressão e/ou temperatura entre o interior e o exterior do edifício, através de uma abertura, seja ela de uma janela, porta ou outro tipo de abertura. A ventilação mecânica é explicada quando se introduz ar através de sistemas mecânicos (por extração). A ventilação híbrida consiste na combinação dos sistemas de ventilação natural e os sistemas de ventilação mecânica, ou seja, a renovação do ar interior para ar novo atmosférico exterior recorrendo à ventilação natural, sempre que as condições permitam caudais suficientes de renovação, e a ventilação mecânica, quando a ventilação natural é insuficiente, de forma alternativa ou complementar. É caso comum ter a admissão de ar exterior por meio naturais estimulada pela extração mecânica do ar (exaustão) (Decreto-Lei n.º 79/2006, 2006).

## ❖ DIÓXIDO DE CARBONO

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um gás incolor e inodoro. É um dos constituintes presentes na atmosfera, e um dos gases gerados no interior dos edifícios, principalmente através do metabolismo humano. As suas concentrações em espaços interiores variam consoante o local, a hora do dia, tendendo para aumentar, durante o dia, sendo normalmente mais elevados ao final da manhã e ao final da tarde, variando consoante a taxa de ocupação ao longo do dia.

Os níveis típicos de  $\text{CO}_2$  variam entre 600 e 800 ppm. A legislação portuguesa, estabeleceu valores de limiar de proteção, para o poluente  $\text{CO}_2$ , o valor de 1250 ppmv, numa média de 8 horas (Portaria n.º 138-G/2021, 2021).

O  $\text{CO}_2$  pode ainda ser considerado um indicador de taxa de renovação de ar, uma vez que constitui o biofluyente humano mais importante, e é proporcional ao metabolismo (Loureiro, 2015, APA, 2010).

## ❖ PARTÍCULAS

As partículas (ou aerossóis em suspensão no ar – PM<sub>x</sub>) são matéria sólida ou líquida em suspensão no ar, com um diâmetro que varia entre 0,005 e 10 µm (PM<sub>x</sub>). Exemplos desta matéria são os vírus, bactérias, esporos de fungos, poeira, fumo, pólen e fibras (sintéticas ou naturais). Estas são consideradas partículas grosseiras quando a sua dimensão é superior a 2,5 µm, e por partículas finas quando a sua dimensão é inferior a 2,5 µm.

As partículas com dimensões inferiores a 2.5 µm, no que toca à saúde humana, são as mais preocupantes, pois são geralmente inaladas, chegando à região torácica e provocando efeitos adversos na saúde. As partículas com dimensão superior a 10 µm são filtradas pelo nariz e pela garganta e são expelidas pela tosse, espirros ou até mesmo quando se engole.

As partículas podem ainda ser consideradas partículas secundárias. Isto acontece quando se dão reações de oxidação e transformação a partir de substâncias precursoras. Estas substâncias precursoras são o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), os óxidos de nitrogénio (NO<sub>x</sub>), o amoníaco (NH<sub>3</sub>) e os COV (APA, 2010, Coentro, 2015, IWOFR, 2021)

Foi estabelecido um valor limite diário de PM<sub>10</sub> de 50 µg/m<sup>3</sup>, numa média de 8 horas, Para as PM<sub>2.5</sub>, o valor limiar de proteção é de 25 µg/m<sup>3</sup> numa média de 8 horas (APA, 2021, Portaria n.º 138-G/2021, 2021).

O *ASHRAE Standard 62-1989* adotou um valor limite da *U.S. Environmental Protection Agency*, que é de 35 µg/m<sup>3</sup> por dia para as PM<sub>2.5</sub>, e de 150 µg/m<sup>3</sup> para as PM<sub>10</sub> por exposição diária (ASHRAE, 1989).

## ❖ COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Os compostos orgânicos voláteis (COV) são compostos orgânicos que provêm de variadas fontes, como por exemplo, tintas, artigos de limpeza, fragâncias utilizadas pelos ocupantes ou até mesmo, o suor, etc. Uma vez que a existência destes compostos orgânicos voláteis presentes no ar interior é muito variada, para facilitar o seu tratamento, estes foram divididos em várias classes. Estes foram divididos com base nas suas características químicas (alcanos, aromáticos, aldeídos, etc.), de acordo com as suas propriedades físicas (ponto de ebulição, pressão de vapor, número de átomos de carbono, etc.), e de acordo com o seu potencial de risco para a saúde (irritantes, neurotóxicos, carcinógenos, etc.). Relativamente à sua medição, uma vez que medir e identificar individualmente cada COV é dispendioso e

demorado, e porque em concentrações muito baixas são difíceis de identificar, desenvolveu-se o conceito de COV Totais ( $COV_T$ ).

O formaldeído ( $CH_2O$ ) é um dos COV mais conhecidos e o que mais facilmente se encontra presente em espaços interiores, sendo que a sua concentração varia com a ventilação, temperatura interior e exterior (ao longo do dia e até mesmo com a estação do ano) e com a humidade no interior dos edifícios, encontra-se nos materiais de construção, em produtos limpeza, entre outros. É altamente solúvel, e, portanto, facilmente se torna fortemente irritante e tóxico quando entra em contacto com o sistema respiratório, pele ou por ingestão. Provoca irritação oftalmológica, dores de cabeça, problemas de memória e concentração, náuseas, sensação de fadiga, tosse e espirros. Os resultados das medições podem ser comparados com as normas existentes, devendo o seu nível em espaços interiores ser inferior a 0,1 ppm (APA, 2010, Abreu, 2010, Portaria n.º 138-G/2021, 2021).

Relativamente ao valor limite de proteção estabelecido pelo Portaria n.º 138-G/2021, para os COV, é de  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e quanto ao formaldeído, o valor estabelecido é de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) adotou valores limites para os COV, mas estes não são apropriados para ambientes interiores uma vez que estes valores se aplicam a trabalhadores da indústria, e, portanto, a *ASHRAE Standard 62-1989* recomenda que os valores limite de exposição para compostos dos quais não existem normas de conforto seja de um décimo dos valores adotados pela ACGIH. A Comunidade Europeia apontou como objetivo para  $COV_T$ , um valor de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , onde nenhum COV individual exceda 10% da concentração de  $COV_T$ .

Estudos realizados na Europa e nos Estados Unidos da América, demonstram que, quando as concentrações se apresentam numa gama entre  $300 - 3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $COV_T$ , podem surgir odores, irritação e desconforto, juntamente com fatores de desconforto térmico e stress. Quando as concentrações são superiores a  $25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , foram identificados desconforto temporário e irritação respiratória (APA, 2010).

## ❖ OUTROS POLUENTES

Existem outros poluentes que se podem encontrar no interior de uma sala de aula, mas que neste caso, não foram estudados. É o caso do monóxido de carbono, ozono, óxidos de nitrogénio, óxido de enxofre, radão e matéria microbiana.

O monóxido de carbono é considerado um gás tóxico uma vez que este se combina com a hemoglobina no sangue, reduzindo o transporte do oxigénio para as células do corpo, provocando dores de cabeça, náuseas, fadiga, respiração rápida, dores no peito, confusão, diminuição do raciocínio e desempenho na aprendizagem. O *ASHRAE Standard 62-1989* diz que num período médio de 8 horas, o valor limite de exposição não deve exceder os 9 ppm (ou 10 mg/m<sup>3</sup>). No entanto, valores acima dos 5 ppm já indicam a presença indesejável de poluentes de combustão. Os valores limites de proteção da legislação portuguesa também aponta os 9 ppmv como valor limite (Portaria n.º 138-G/2021, 2021). As medições deste poluente devem ser realizadas junto das fontes/áreas onde existam queixas e em escadas e elevadores que comuniquem com essas fontes (APA, 2010, Coentro, 2015).

O ozono (O<sub>3</sub>) é um gás instável, extremamente oxidativo e reativo, daí ser um poluente perigoso para a saúde quando presente em excesso na troposfera. Em quantidades pequenas, a sua presença pode causar dores no peito, tosse, respiração acelerada e irritação na garganta. Em situações mais complicadas, pode ser responsável pelo agravamento de doenças respiratórias crónicas, tais como a asma. Existem fontes (interiores) que são responsáveis pela existência deste poluente, mas é o ozono exterior o principal responsável pela elevada concentração no interior dos edifícios. A sua concentração no interior dos edifícios varia entre 10 % a 80 % dos níveis do exterior. No que toca a valores limites para os padrões de saúde, a *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*, exige que o ser humano não seja exposto a uma concentração média superior a 0,10 ppm durante 8 horas; o *National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)* recomenda que nunca seja excedido um limite superior de 0,10 ppm (APA, 2021, Coentro, 2015).

Os Óxidos de Nitrogénio (NO<sub>x</sub>), quando em concentrações elevadas, provocam a sensação de irritação nos olhos e garganta, problemas nas vias respiratórias, provocando a diminuição na capacidade respiratória, dores no peito, edema pulmonar e danos no sistema nervoso central e tecidos orgânicos (Coentro, 2015, Ferreira L., 2020). Segundo a OMS, os valores recomendados para a exposição ao NO<sub>2</sub> é de 10 µg/m<sup>3</sup> anualmente e 25 µg/m<sup>3</sup> diariamente (WHO, 2021).

O Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) é um gás que, por ser bastante solúvel em água, torna-se perigoso, uma vez que reage rapidamente com a humidade existente no trato respiratório, provocando irritação nas vias respiratórias superiores (nariz e garganta). Também causa irritação ocular, pode provocar lesões a nível pulmonar, tosse e broncoconstrição. Pode ainda potenciar os efeitos em doenças cardiovasculares e respiratórias, como por exemplo a asma (Ferreira, 2020, AEA, 2013).

No que diz respeito aos valores recomendados de qualidade do ar pela OMS, num período de 24 horas, os valores-guia de exposição a este poluente é de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2021). O lado positivo é que, ao longo do tempo, a presença de  $\text{SO}_2$  nos combustíveis tem vindo a diminuir, o que, conseqüentemente, também têm vindo a diminuir as emissões deste poluente para a atmosfera, uma vez que, um dos principais emissores destes poluentes são os veículos (AEA, 2013).

O Radão é um gás que pode ser encontrado no solo, água e ar, o que facilita a sua entrada nos edifícios através de fissuras ou rachas, no afrouxamento das penetrações dos canos, em abertura de fossas/reservatórios, e acumular-se em áreas mal ventiladas. Quando entra no processo de decaimento radioativo, o radão gera novas partículas, como é o caso do polónio (Po-218 e Po-214), do chumbo radioativo (Pb-214 e Pb-210) e o bismuto (Bi-214). Estes produtos são denominados de *partículas-filhas* e, apesar do radão ser um gás, estes produtos encontram-se no estado sólido. A maioria destas partículas encontram-se ligadas a partículas de pó (aerossóis), presentes no ar interior. Quando inaladas, parte deposita-se nos pulmões, sendo absorvidas pelos tecidos pulmonares potenciando o risco de cancro nos pulmões. Segundo a Portaria n.º 138-G/2021, os valores de limiar de proteção para este poluente é de  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . A União Europeia aprovou a Diretiva 2013/59/EURATOM, onde diz que a concentração de referência para limiar de exposição ao radão, o valor de  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$  (média anual) no interior das construções, incluindo habitações e locais de trabalho (APA, 2010, Decreto-Lei n.º 102-D/2020, 2020, Segurança, 2015, Portaria n.º 138-G/2021, 2021).

A contaminação biológica no interior dos edifícios é feita por microrganismos como fungos (bolors e leveduras), bactérias, vírus, toxinas produzidas por fungos e bactérias (como é o caso dos esporos), pólen e ácaros. A presença destes microrganismos provoca irritação ocular, no nariz e na pele, reações alérgicas (como a asma e rinite), infeções (pneumonia, tuberculose, doença do Legionário) e reações tóxicas (micotoxinas). A humidade elevada (provoca a degradação química ou biológica dos materiais existentes no edifício, contribuindo assim, para a degradação da qualidade do ar), a ventilação reduzida, a disponibilidade de nutrientes, a temperatura adequada ao desenvolvimento e a existência de fontes de contaminação interiores (sistemas AVAC que incluam condensação da água ou que tenham água no seu processo de funcionamento), materiais de construção e decoração, infiltrações e os ocupantes do espaço, são fatores que favorecem o crescimento de microrganismos. A presença destes seres patogénicos e de fungos, contribui para o mau estar e saúde dos ocupantes dos edifícios. No caso dos fungos, estes também podem produzir COV, sendo que a sua presença caracterizada pelo cheiro a bolor. Existem estudos, em diferentes países, que em condições climáticas diferentes, mostra que, ocupantes em edifícios com humidade

elevada ou com mofo, estão em maior risco de terem sintomas respiratórios, infeções respiratórias, asma e rinite alérgica (WHO, 2009). Em situações mais raras, quando os ocupantes se encontram em exposição a fungos e outros agentes microbianos, e estes se encontram relacionados com a humidade, há o aumento de risco de doenças como pneumonite de hipersensibilidade, alveolite alérgica, rinite e sinusite crónica e sinusite fúngica alérgica. No que diz respeito a valores limite, para as bactérias de espécies comuns, os valores não devem exceder os 500 UFC/m<sup>3</sup> (unidades formadoras de colónias por metro cúbico) e que seja predominantemente Gram (+) e para a *Legionella*, os valores não devem exceder os 100 UCF/L (exceto em tanques de torres de arrefecimento, em que pode ir até aos 1000 UFC/L) (APA, 2010, Ferreira P. A., 2006, Loureiro, 2015, Portaria n.º 138-G/2021, 2021).

Atualmente sabe-se que não só os ocupantes de uma sala, as suas ações e a ventilação são responsáveis pela QAI. Os materiais de construção dos edifícios, os produtos e equipamentos de limpeza, o mobiliário, os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado também possuem compostos potencialmente perigosos, e que são libertados para o ambiente interior, contribuindo para a degradação da qualidade do ar (Ferreira A. M., 2014, Veolia, 2023).

A ainda existência de agentes biológicos, desenvolvidos a partir da humidade e fraca ventilação, também afetam a qualidade do ar interior. O excesso de humidade provoca o crescimento de microrganismos, como fungos e bactérias, que libertam para o ar esporos, células, fragmentos e compostos orgânicos voláteis (COV). Estes microrganismos e seus metabolitos são responsáveis por muitos casos de asma e de sintomas respiratórios, como a tosse ou até mesmo dificuldade respiratória. Alguns dos efeitos sentidos à exposição destes compostos são: dores de cabeça, náuseas ou tonturas, irritação ocular e respiratória, fadiga, dificuldade em permanecer concentrado ou até mesmo irritabilidade e letargia (Božić, et al., 2019, WHO, 1982, APA, 2010).

Com o passar dos anos, começou a se ponderar que o mau estar estivesse relacionado com os edifícios. Foi então que se começou a utilizar dois termos que estariam associados ao desconforto sentido pelos ocupantes, que pareciam estar ligados ao tempo passado num edifício, e que não estivessem associados a alguma doença ou causa específica. Estes termos são a Síndrome do Edifício Doente (SED) e a Doença Relacionada ao Edifício (DRE) (WHO, 1982).

## **2.2. SÍNDROME DO EDIFÍCIO DOENTE E DOENÇAS RELACIONADAS COM O EDIFÍCIO**

A Síndrome do Edifício Doente (SED) engloba uma série de sinais e sintomas inespecíficos que afetam os ocupantes de determinado edifício, resultando numa diminuição da qualidade de saúde, aumento do absentismo e diminuição na produtividade no trabalho. A SED foi reconhecida em 1982 pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e ocorre quando um conjunto de doenças é causado ou agravado pela poluição do ar em ambientes fechados. Entre os sintomas mais comuns, destacam-se alergias, asma, rinites, dores de cabeça, náuseas, fadiga, entre outros. Sendo que, estes não são diagnosticados individualmente, mas sim para a população ocupante do edifício (Ferreira A. M., 2014).

Segundo a OMS, o SED pode ser definido como *“uma situação na qual os ocupantes ou usuários de um edifício específico apresentam sintomas sem origem determinada e sem a possibilidade de constatação de uma determinada etiologia, sendo, portanto, desconhecida”* (Schirmer, et al., 2008).

Um edifício diz-se “doente” quando:

- Pelo menos 20% dos ocupantes de um edifício apresentem os sintomas acima referidos e que estes prevaleçam no mínimo duas semanas, para que este seja considerado um edifício doente (Schirmer, et al., 2008);
- A causa dos sintomas não for conhecida;
- A maioria dos ocupantes que apresentem sintomas se sente aliviado após deixar o edifício (Abreu, 2010).

Para algumas pessoas, os sintomas podem causar perturbações tanto no desempenho profissional como nas relações com outras pessoas, afetando assim a sua produtividade no local de trabalho, reduzindo o seu desempenho e aumentando o absentismo (WHO, 1982).

### **❖ CARACTERÍSTICAS DOS EDIFÍCIOS DOENTES**

De maneira geral, as causas da síndrome do edifício doente para cada indivíduo não são identificáveis. No entanto, analisando vários edifícios e sintomas causados, pode-se dizer que a causa para um edifício ser considerado doente passa por quatro categorias:

- Localização;
- Problemas relacionados com a estrutura do edifício, com o seu interior ou com os serviços do edifício, incluindo a emissão de compostos químicos, provenientes dos materiais de construção e dos móveis, iluminação e aquecimento;
- Problemas não relacionados diretamente com a estrutura do edifício, mas que ocorrem dentro do mesmo, como por exemplo, as alergias, sejam estas causadas pelo pólen, pó ou mofo;
- Problemas descritos como psicológicos. Estes podem ser causados por condições organizacionais, sociais, por objetos físicos ou até mesmo pelo espaço de trabalho (WHO, 1982).

A Doença Relacionada com o Edifício (DRE) está associada a situações pontuais de contaminação específica no interior do edifício e onde é possível não só identificar a fonte de contaminação presente no ar como também as alterações causadas na saúde. Por norma está relacionada com doenças de pele ou do trato respiratório, como reações alérgicas ou infeções, uma vez que há um contacto facilitado entre os contaminantes e os tecidos. Os agentes causadores da DRE, por norma induzem a doença através de um dos quatro mecanismos seguintes: imunológico, infeccioso, tóxico ou irritante (Building, 2015, Ferreira, 2014, Seltzer, 1994).

Para se ter a certeza de que se está presente de uma DRE é necessário ter em conta as alterações comuns e concretas da saúde dos ocupantes, ou seja, os sintomas devem ser clinicamente definidos e laboratorialmente comprovados e devem desaparecer após deixar o edifício após um período. Os sintomas mais comuns manifestados pelos indivíduos de DRE são: arrepios, alergias, dores musculares, febre, tosse e sensação de opressão torácica (Ferreira, 2014).

Como foi referido, existem quatro mecanismos associados ao DRE. Uma vez que os agentes causadores de doenças coexistem no mesmo local, por vezes a doença pode ter mais que um mecanismo. Por isso é necessário saber identificar os sintomas e depois localizar as fontes (Seltzer, 1994).

As doenças mais comuns provocadas por um edifício doente são: pneumonite por hipersensibilidade, *humidifier fever*, asma, rinite alérgica, conjuntivite, urticária, eczema, dermatite e infeções (APA, 2010).

Devido a este impacto negativo na vida das pessoas, que a QAI começou a ser uma preocupação, havendo então a necessidade de arranjar maneiras de melhorar esta

qualidade. Uma das opções, foi a introdução de plantas (paredes verdes), que irá ser discutido no Capítulo 3.

### 2.3. ENQUADRAMENTO LEGAL NO ÂMBITO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Apesar de, em 1951, já aparecerem identificados alguns requisitos da QAI através do Regulamento Geral das Edificações Urbanas, apenas em 2006 é que começou a ser exigido condições mínimas de QAI através da publicação do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto-Lei n.º 38382, 1951, Decreto-Lei n.º 79, 2006).

Em 1986, o **Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto** veio aprovar o Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritório e Serviços. Veio definir o quadro geral de requisitos a observar, por forma a garantir a saúde dos trabalhadores dos ramos das atividades referidas, remetendo para regulamentação complementar a definição de critérios e de normas relativos a aspetos específicos, à medida que se verifique a sua necessidade ou conveniência (Decreto-Lei n.º 243/86, 1986).

Mais tarde, com a entrada em vigor da **Portaria n.º 138-G/2021 de 1 de julho**, esta estabeleceu os requisitos para a avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência e critérios de conformidade, e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes e para a fiscalização do cumprimento das normas aprovadas (Portaria n.º 138-G/2021, 2021).

O **Despacho n.º 1618/2022 de 9 de fevereiro** veio ainda estabelecer o regime de avaliação simplificada anual (ASA) de requisitos relacionados com a qualidade do ar interior a aplicar em Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES) e em edifícios de comércio e serviços que abrangem creches, estabelecimentos de educação pré-escolar, estabelecimentos de ensino do primeiro ciclo do ensino básico e o regime de avaliação da qualidade do ar interior, realizada para efeitos de fiscalização. São ainda apresentados os métodos de medição para os poluentes físico-químicos e os poluentes microbiológicos, as definições das zonas e locais de amostragem e os critérios de conformidade a utilizar no relatório de avaliação da qualidade do ar interior, no âmbito da ASA, fiscalização ou avaliação voluntária (Despacho n.º 1618/2022, 2022).

### 3. INFLUÊNCIA DE PAREDES VERDES NA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Cada vez mais, o mundo está a ficar mais urbanizado. Segundo um relatório das Nações Unidas, entre 1950 e 2018, a população mundial residente nas áreas urbanas cresceu, de 30% para 55%. Em 2007 a população urbana já era superior do que a população residente em zonas rurais. Com esta tendência, espera-se que em 2050, aproximadamente 68% da população viva em cidades. Este aumento não afeta só a nível social e económico, mas também ambiental. Uma urbanização não controlada pode prejudicar a sustentabilidade através da expansão urbana, levando à poluição e à degradação ambiental (ONU, 2019). O aumento da urbanização, faz com que haja a diminuição de áreas verdes urbanas, o que gera diversos problemas ambientais, tais como a diminuição da ventilação natural, a diminuição da evapotranspiração, o aumento da frequência de fenómenos climáticos extremos (como chuvas intensas ou ondas de calor). Estes problemas têm contribuído para a importância em implementar infraestruturas verdes, como é o caso da arborização urbana e dos jardins horizontais e verticais.

Neste contexto, a implementação de jardins verticais, apresenta diversos benefícios, tanto para os edifícios, como para as áreas urbanas, e sem ser necessário utilizar o espaço livre da rua, que por norma, é escasso. A presença de jardins verticais (ou paredes verdes), contribui para um melhor desempenho térmico e acústico dos edifícios, uma vez que as plantas diminuem as trocas térmicas com o exterior, aumentando a humidade do ar; criam barreiras contra o vento, poluição sonora e atmosférica, como se pode verificar na Figura 3-1. Quando introduzidas no interior do edifício, as plantas melhoram o equilíbrio do oxigénio e humidade e removem toxinas (Biotecture, 2023, Barbosa & Fontes, 2016, Gonçalves, 2020, Ecotelhado, 2023, Perez, et al., 2014, Pradhan, et al., 2018).

A nível acústico, as plantas absorvem, difratam e refletem o som. O equilíbrio que as plantas proporcionam dependem da frequência com que o som é gerado, com as propriedades da sala (quando a parede verde é interna), o número de plantas, o seu tamanho e a área de superfície. As plantas alteram a acústica do ambiente, reduzindo o tempo de reverberação (Biotecture, 2023)

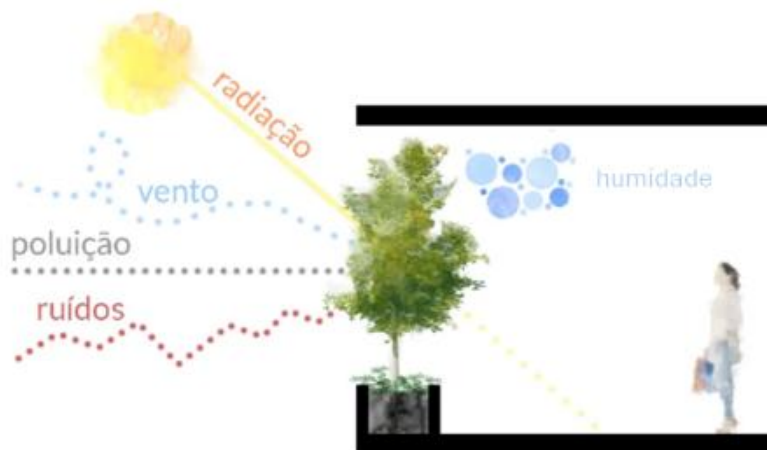


Figura 3-1 - Exemplo ilustrativo de como as fachadas vivas criam uma barreira de proteção entre o meio externo e interno, contra a radiação solar, vento, poluição e ruído. (adaptado de Barreto, 2019)

Relativamente aos benefícios para o ambiente urbano, para além do embelezamento dos espaços, existem outros, como por exemplo a oportunidade de convívio com a natureza, as plantas reduzem os níveis de CO<sub>2</sub> e renovar quantidades significativas de COV do ar.

### 3.1. PAREDES VERDES: FACHADAS VERDES E PAREDES VIVAS

As paredes verdes são uma estrutura constituída por vegetação, que se desenvolve sem precisar (obrigatoriamente) de se enraizar no chão e que são incorporadas nas fachadas exteriores ou nas paredes interiores dos edifícios.

Existem diferentes tipos de paredes verdes: as fachadas verdes e as paredes vivas, como se pode observar na Figura 3-2. Estas diferenciam-se pelas suas características, pelo seu desenvolvimento, o tipo de crescimento ou pelo seu sistema construtivo, podendo estar diretamente fixado na parede ou serem suportadas por uma estrutura.

As fachadas verdes por norma são constituídas por trepadeiras ou plantas suspensas, onde são cultivadas sobre ou adjacentes a uma superfície de um edifício, e de forma dispersa. Já nas paredes vivas, estas têm uma distribuição uniforme, utilizando um sistema modular ou contínuo, permitindo uma cobertura superficial mais ampla, e uma melhor adaptação aos edifícios (Virtudes & Manso, 2016, Bustami, et al., 2018, Gouws & Gouws, 2022).

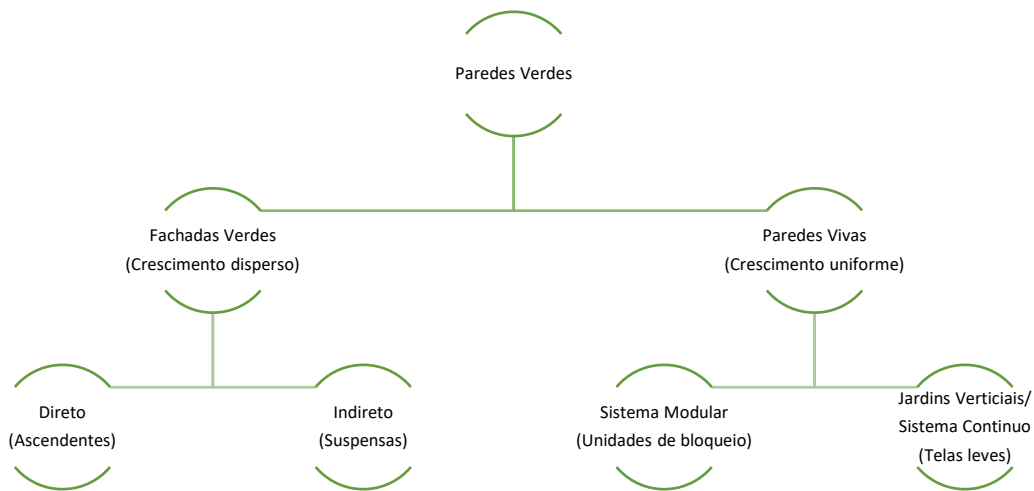
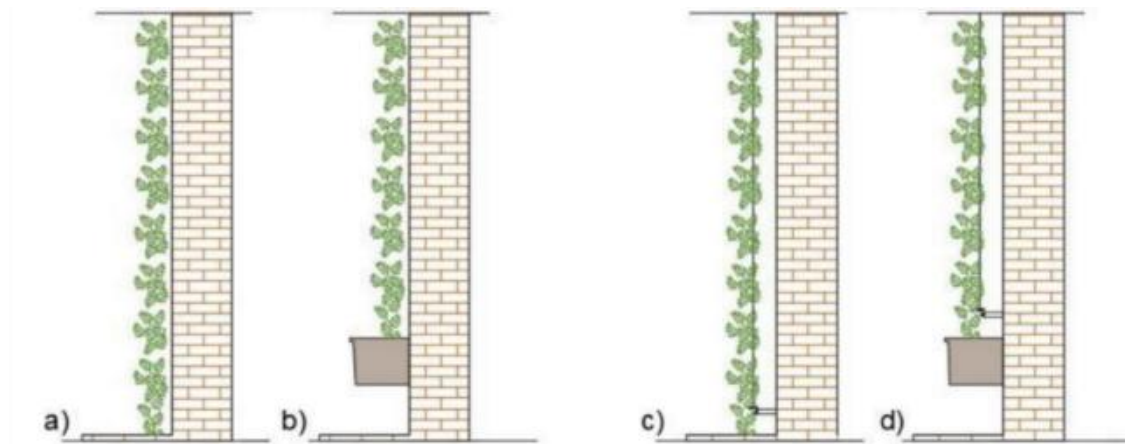


Figura 3-2 - Sistema de paredes verdes (adaptado de Manso & Catro-Gomes, 2015)

As fachadas verdes, podendo ser diretas ou indiretas, são designadas de fachadas verdes diretas quando se utilizam plantas como as trepadeiras, que são colocadas diretamente na fachada do edifício como um sistema de revestimento vivo e onde apresentam um crescimento ascendente e disperso. No caso das fachadas verdes indiretas, utilizam-se plantas suspensas, como é o caso dos *hangers*. Estas são colocadas numa estrutura, normalmente constituídas por guias contínuas ou modulares (por exemplo, cabos de tração ou grades) e desenvolvem-se ao longo do edifício, de cima para baixo. Esta estrutura permite que a vegetação não caia, aumentando a resistência das plantas às variações ambientais, como a chuva, neve, vento (no caso de serem fachadas externas) (Palermo & Turco, 2020). Na Figura 3-3, podemos verificar as diferenças entre a disposição das plantas no caso de se utilizar fachadas verdes diretas e fachadas verdes indiretas, ou seja, o crescimento sem suporte e o crescimento com auxílio a um suporte.



*Figura 3-3 - Fachadas Verdes Direta e Indireta. (a) Fachada verde Direta com vegetação plantada no solo; (b) Fachada Verde Direta com plantas enraizadas numa estrutura; (c) Fachada Verde Indireta com vegetação plantada no solo; (d) Fachada Verde Indireta com plantas enraizadas numa estrutura. (adaptado de Palermo & Turco, 2020)*

Nas paredes vivas as plantas são plantadas verticalmente numa estrutura. Nestas paredes é costume haver uma grande variedade de espécies de plantas, que são selecionadas consoantes as condições climáticas a que irão estar sujeitas.

Como se verificou na Figura 3-2, as paredes vivas podem ser modulares ou jardins verticais. As paredes vivas com sistema contínuo (ou jardins verticais) não requerem um substrato típico, como é o caso do solo, sendo que as plantas crescem em telas leves e absorventes, como uma camada de tecido, manta ou feltro, que é cortada de maneira a formar bolsos. Estas telas são conectadas em diferentes camadas (telas permeáveis, flexíveis e à proa da raiz), e que são suportadas pelo painel base, que está diretamente ligado a uma estrutura de suporte, constituída por um caixilho fixado indiretamente à parede. O sistema de irrigação é instalado no topo da estrutura e a água é distribuída uniformemente através da camada permeável.

As paredes vivas modulares são constituídas por painéis pré-vegetados com elementos específicos de suporte, como vasos, bandejas, sacos flexíveis ou telhas de plantador, nos quais as plantas crescem. O sistema de irrigação, normalmente, é instalado entre os painéis, sendo que, a água é escoada ao longo dos painéis, por toda a fachada e depositando-se na parte inferior (Palermo & Turco, 2020, Almeida, 2018).

Na Figura 3-4, podemos ver a diferença entre as paredes vivas contínuas e a parede viva modular, mais concretamente, o não uso e o uso de suportes para as plantas respetivamente.

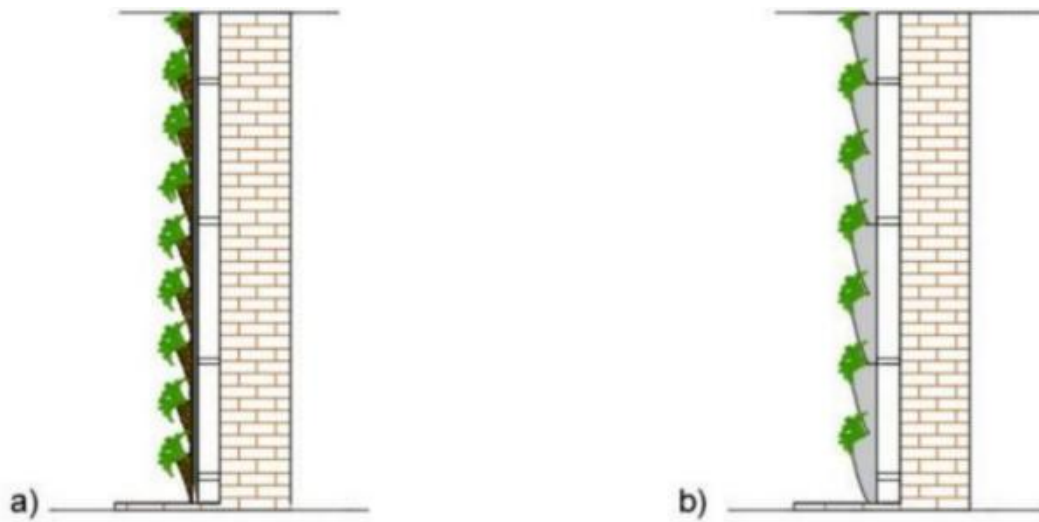


Figura 3-4 - Paredes vivas; (a) Parede Viva Contínua; (b) Parede Viva Modular (adaptado de Palermo & Turco, 2020)



#### 4. ÁGUAS RESÍDUAIS TRATADAS

A água é essencial para a vida, mas infelizmente, esta encontra-se sob ameaça. O seu consumo tem vindo a aumentar em todo o mundo cerca de 1% (por ano) desde a década de 1980, e a tendência manter-se-á nos próximos anos (ONU, 2019). Segundo a Unicef (2019), 2,2 milhões de pessoas não têm acesso a serviços de água potável com segurança, e cerca de metade da população mundial enfrenta problemas graves de escassez de água. O planeta Terra tem apenas 0,5% de água doce disponível. As alterações climáticas vieram afetar drasticamente este suprimento. Nos últimos 20 anos, o armazenamento da água terrestre (incluindo humidade do solo, neve e gelo) diminuiu, com uma taxa de 1 cm por ano. Prevê-se que a água armazenada nos glaciares e nas coberturas de neve, irá diminuir ao longo do século, reduzindo a disponibilidade de água durante os períodos quentes e secos nas regiões abastecidas pela água do degelo, onde atualmente vive um sexto da população mundial. Também se prevê que a subida do nível do mar aumente a salinização das águas subterrâneas, diminuindo a disponibilidade de água doce (Unicef, 2019, ONU, 2019, Salehi, 2022).

A água está no centro do desenvolvimento sustentável. É um dos principais objetivos da agenda da ONU 2030 (Objetivo 6) que defende o acesso universal e equitativo à água potável e ao saneamento até 2030. A água é fundamental para o desenvolvimento socioeconómico, para a produção de energia e alimentos, na construção de ecossistemas saudáveis e na sobrevivência da espécie humana. É também essencial para fazer frente às alterações climáticas, sendo o elo crucial entre a sociedade e o meio ambiente. Mesmo em países com recursos hídricos adequados, a escassez de água não é incomum. Esta pode depender das infraestruturas e sistemas de distribuição em colapso, de contaminações, da má gestão dos recursos hídricos, das alterações climáticas e do fator humano. Os recursos hídricos dependem da região, do clima (precipitação atmosférica, temperatura e da evapotranspiração), e da afluência de água proveniente das bacias hidrográficas, que podem ser partilhadas com outros países. Para além da disponibilidade dos recursos hídricos não ser constante ao longo do ano, as necessidades do ser humano também não são constantes: o crescimento populacional, a crescente urbanização, o desenvolvimento industrial, a produção de energia, a agricultura e o turismo são fatores que induzem o aumento de necessidade de água. Estas situações podem levar a um desequilíbrio entre a necessidade de água e a sua disponibilidade (Águas de Portugal, 2015). A escassez de água está a crescer rapidamente, com impacte em todos os sectores, na agricultura, na indústria, nos serviços e

no comércio. Assim, há a necessidade crescente de equilibrar a demanda dos recursos hídricos com a necessidade da comunidade (ONU, 2019, Unicef, 2019).

Em Portugal continental, ao longo das duas últimas décadas do século XX, fenómenos de secas e cheias têm sido cada vez mais frequentes, mais concretamente o aumento da frequência e da intensidade de situações de seca. Segundo o Plano de Prevenção, Monitorização e Contingência para situações de Seca (República Portuguesa, 2017), a percentagem de território afetado pelas secas, têm aumentando ao longo dos tempos. A maior frequência de situações de seca em Portugal é indicativo de um aumento do risco e da vulnerabilidade a este fenómeno, levando ao aumento dos impactos ao nível agrícola, social, efeitos negativos na biodiversidade, na qualidade da água, nos riscos de incêndios florestais e no empobrecimento dos solos (República Portuguesa, 2017). Segundo o REA (2024) Portugal continental, entre 1930 e 1988, apresentou um índice de escassez de água de 30%, aumentando para 34% entre 1989 e 2025. Estes valores indicam que o país se encontra numa situação de escassez elevada.

Os fenómenos de seca podem potenciar e/ou agravar situações de desequilíbrio entre as disponibilidades naturais e as necessidades para as principais utilizações (escassez). As disponibilidades hídricas podem ser definidas como a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração. A sua assimetria em Portugal é elevada, seja em termos espaciais, sazonais e anuais. Esta variabilidade faz com que seja necessário gerir os consumos de forma sustentável, adaptando-os às disponibilidades de cada região, e portanto, é fundamental dispor de capacidade de armazenamento de águas superficiais e subterrâneas. A sua potencial diminuição, bem como a maior frequência de situações de seca de maior severidade (alterando o ciclo hidrológico), são resultados das alterações climáticas. (República Portuguesa, 2017). Pela análise de dados de evolução do REA (2024), é possível verificar que, ao longo dos tempos, existe uma menor disponibilidade hídrica, sendo assim, um dos efeitos das alterações climáticas. É possível verificar também que, têm existido cada vez mais anos secos consecutivos, particularmente na região sul de Portugal.

A gestão dos recursos hídricos provém já desde o início do século XXI, como um dos paradigmas da sustentabilidade do desenvolvimento socioeconómico. Aplicar o conceito de sustentabilidade à utilização dos recursos hídricos pode significar a otimização deste recurso no presente, de maneira a não afetar as gerações futuras. Por exemplo, mais de 30 organizações das Nações Unidas têm programas de gestão sustentável de água e saneamento. Em 2023, foi criada a ONU-Água, cujo papel é garantir a cooperação entre os Estados-Membros em programas relacionados com a água e o saneamento, apoiando-os na administração dos recursos hídricos de forma sustentável (ONU, 2023).

#### **4.1. REUTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS**

A reutilização das águas surgiu como alternativa ao consumo da água potável (em algumas situações), contribuindo para o uso sustentável dos recursos hídricos, salvaguardando a utilização presente, e, a sua preservação para usos futuros, estando alinhado com os princípios da economia circular. O princípio de circularidade tem sido aplicado na gestão das águas, que outrora eram apenas descartadas. Segundo a Ellen MacArthur Foundation (2024), o conceito de economia circular implica a gradual dissociação entre a atividade económica e o consumo dos recursos, recorrendo sempre a fontes de energia renovável. Assim, este modelo permite contruir capital económico, e consequentemente crescimento económico, natural, protegendo e regenerando ecossistemas, e social, através de mais e melhores postos de trabalho. Este modelo baseia-se em três princípios: desenhar produtos e serviços que eliminem os resíduos e poluição, manter os produtos e os materiais em uso e regenerar os sistemas naturais. O crescimento da circularidade na utilização da água e a melhoria da eficiência hídrica têm uma relevância acrescida no atual contexto de alterações climáticas, constituindo assim, uma boa prática de gestão da água, face ao aumento da frequência e intensidade dos períodos de seca extrema e escassez de água permitindo assim, aumentar a resiliência dos sistemas (Ellen MacArthur Foundation, 2024, APA, 2021).

A reutilização da água tem crescido nos últimos anos, como paradigma da sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos, tornando-se relevante compreender os conceitos associados a esta gestão e à importância de recuperar águas residuais, sujeitas ao tratamento adequado, para subsequente utilização (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010). O aproveitamento das águas que outrora eram desaproveitadas, como é o caso das águas cinzentas, das águas pluviais e das águas residuais tratadas, são soluções aplicadas como alternativas eficientes que permitem reduzir a captação de água para produção de água potável, ajudando na diminuição da pressão sobre os recursos hídricos, consequência do crescimento populacional, das alterações climáticas e da crescente urbanização.

As águas cinzentas constituem a componente não sanitária, ou seja, são provenientes de, por exemplo, lavatórios, duches e máquinas de lavar roupa. Apresentam um baixo teor de matéria orgânica, nitratos, fosfatos e componente microbiológica. Estas podem ser reutilizadas para fins que não necessitem de água potável, como é o caso das descargas dos autoclismos, manutenção de lagos ou irrigação de campos agrícolas.

As águas pluviais (ou águas brancas) são as águas provenientes das chuvas. Estas podem ser armazenadas e tratadas, para posteriormente serem utilizadas, por exemplo, em rega de jardins e hortas, lavagem de roupas, lavagem de veículos, calçadas e pisos (May, 2009, Ferreira, 2022).

Por fim, as águas residuais urbanas são águas residuais domésticas ou a mistura de águas residuais domésticas com águas residuais industriais e pluviais coletadas para a rede de drenagem pública (Decreto-Lei n.º 152/97, 1997). Estas águas resultam da utilização de água que foi captada e tratada para o abastecimento de água potável para a população e para as atividades ligadas ao comércio e à indústria. Após a sua utilização, estas são sujeitas a um tratamento de modo que possam ser descarregadas legalmente, cumprindo a legislação, em meio terrestre (através de infiltração no solo) ou em águas superficiais (doces e costeiras).

As águas cinzentas, as águas pluviais e as águas residuais são opções muito atrativas como alternativa ao uso de água potável. Algumas vantagens e limitações ao uso de cada tipo de água (cinzenta, pluvial e residual), são apresentadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Vantagens e limitações do uso das águas cinzentas, águas pluviais e águas residuais

Tipo de água	Vantagens	Desvantagens
<b>Cinzentas</b> <sup>(1)</sup>	Redução de necessidade de captação de água potável	Falta de confiança nos sistemas de tratamento
	Redução do caudal afluyente às ETAR	Preocupação com os riscos para a saúde
	Facilidade e eficiência de tratamento	Falta de análises custos-benefícios
<b>Pluviais</b> <sup>(2)</sup>	Redução de necessidade de captação de água potável	Preocupação com os riscos para a saúde
	Contribui para o controlo das inundações, armazenando a água de escoamento superficial	Custos associados a implementação do sistema e sua manutenção
	Redução dos custos de exploração dos sistemas de abastecimento de água	Limite do suprimento (varia de acordo com a precipitação e a área de captação)
<b>Residuais</b> <sup>(3)</sup>	Redução de necessidade de captação de água potável	Preocupação com os riscos para a saúde
	Versatilidade no seu uso	Estar distante do local de aplicação
	Subproduto resultante do seu tratamento rico em nutrientes (lamas)	O tipo de tratamento varia consoante a sua utilização

(Adaptado de <sup>(1)</sup> Miranda, 2018, <sup>(2)</sup> Oliveira, 2008, <sup>(3)</sup> Marecos do Monte & Albuquerque, 2010)

Apesar das águas cinzentas e das águas pluviais serem igualmente sustentáveis, o presente trabalho utilizou água residual tratada para regar parte das plantas da Estrutura Verde Natural (EVN).

A reutilização das águas residuais tratadas tornou-se uma prática sustentável e uma fonte alternativa ao uso da água potável. No que toca à sustentabilidade da sua utilização, esta

permite a conservação dos recursos hídricos e, conseqüentemente, uma menor quantidade de descarte de efluentes.

Para que as águas residuais possam ser reutilizadas, estas dependem de vários fatores, como por exemplo, o nível de tratamento e da qualidade que é necessária para que essa água possa ser utilizada (pois varia consoante a sua aplicação), dos custos desses mesmos tratamentos e da sua distribuição. Estas podem ser aplicadas em variados fins, como é o caso da agricultura, na indústria, na recarga de aquíferos e em fins ambientais e recreativos.

Os tratamentos das águas residuais urbanas em Portugal, são regulados pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho na sua atual redação.

Em Portugal, existem 4353 instalações de tratamento, das quais 2838 (65%) correspondem a ETAR, 57% com tratamento secundário, 41% com tratamento mais avançado e 2% com tratamento primário (APA, 2024). No tratamento preliminar são retirados os sólidos mais grosseiros por gradagem e desarenação; no tratamento primário removem-se sólidos de menores dimensões através da decantação; no tratamento secundário, remove-se a matéria orgânica através de um tratamento biológico, e por fim, o tratamento mais avançado (terciário), inclui etapas de afinação para desinfeção ou remoção de nutrientes.

Em 2022, segundo o Relatório Anual dos serviços de Águas e Resíduos elaborado pela ERSAR, foram produzidas cerca de 1,9 milhões de metros cúbicos de águas residuais por dia (ERSAR, 2023).

Os serviços de águas, sejam eles de abastecimento ou de tratamento, são classificados de duas formas: o setor em alta e o setor em baixa, consoante as atividades realizadas pelas várias entidades gestoras. Esta classificação passou a ser utilizada depois da publicação do Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de novembro. Este Decreto-Lei esteve no cerne da criação dos sistemas multimunicipais (que são maioritariamente responsáveis pelo setor em alta) e dos sistemas municipais (que são maioritariamente responsáveis pelo setor em baixa). São considerados multimunicipais os sistemas de titularidade estatal que sirvam pelo menos dois municípios e exijam a intervenção do Estado em função de razões de interesse nacional, como é o caso das Águas do Vale do Tejo e as Águas do Norte (por exemplo); e sistemas municipais todos os outros, relativamente aos quais cabe aos municípios, isoladamente ou em conjunto, através de associações de municípios, ou em parceria com o Estado, definir o modo de organização e gestão. No que toca ao tratamento das AR, o setor em baixa consiste na recolha de AR junto ao produtor, rejeitando-as num setor em alta. O setor em alta consiste num conjunto de componentes, que permite a ligação do setor em baixa ao ponto de rejeição.

Como se pode verificar na Figura 4-1, de 2018 até 2022, o número de instalações de tratamento de águas residuais urbanas, no setor em alta, tem tido a tendência para aumentar.

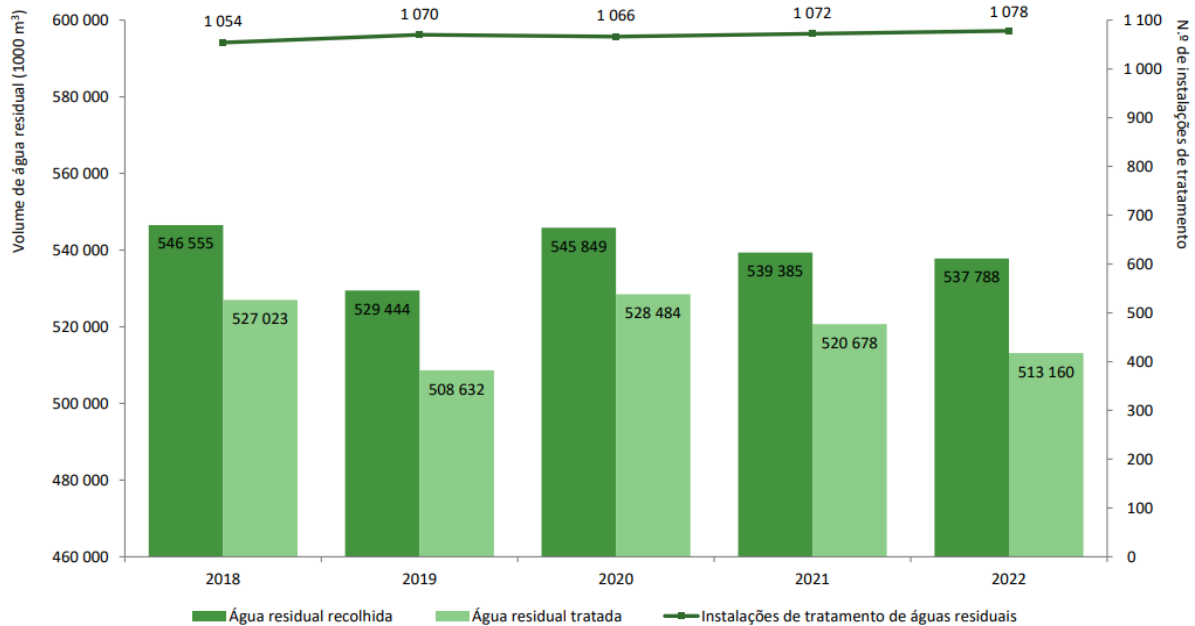


Figura 4-1 - Evolução do número de instalações de tratamento do setor em alta (adaptado de ERSAR, 2023)

Contrariamente, como se pode verificar na Figura 4-2, houve uma ligeira diminuição no setor em baixa.

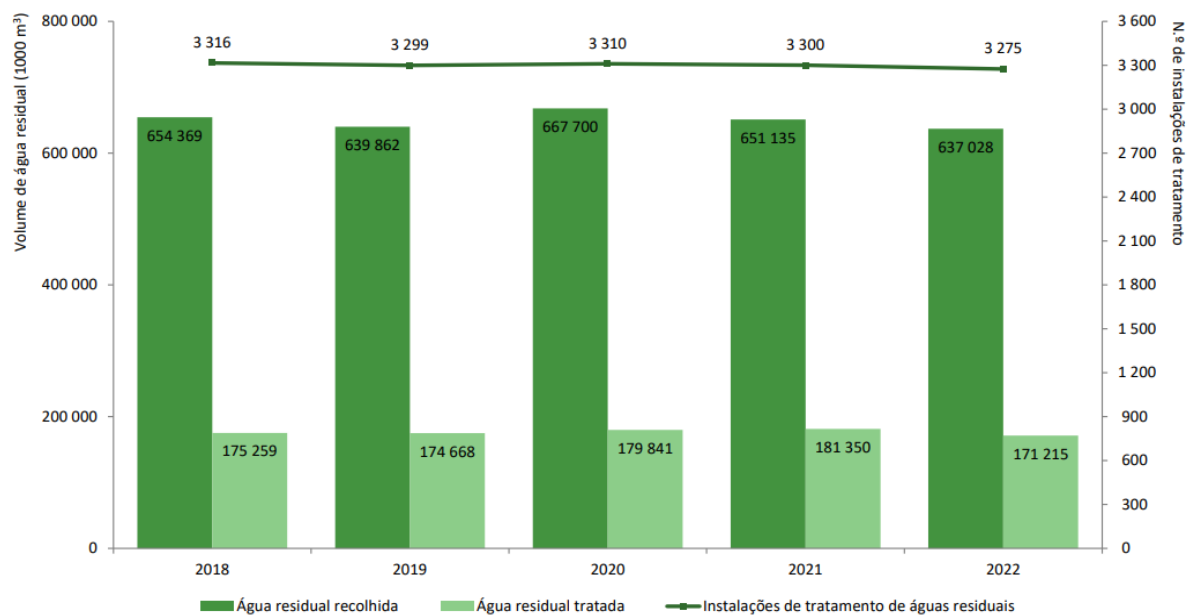


Figura 4-2 - Evolução do número de instalações de tratamento do setor em baixa (adaptado de ERSAR, 2023)

Considerando que a disponibilidade hídrica tem diminuído e, conseqüentemente, aumentado a pressão sobre as massas de água, há a necessidade de optar por outros sistemas, como é o caso da reutilização das águas residuais. No entanto, poucas são as instalações que produzem ART para reutilização em Portugal. Em 2022, apenas 5 entidades gestoras produziram ART para reutilizar, correspondendo a 2,9 milhões de metros cúbicos por ano, cerca de 0,4% da ART em estações de tratamento. Na Figura 4-3, é possível verificar o destino dado à ART que foi reutilizada (ERSAR, 2023).

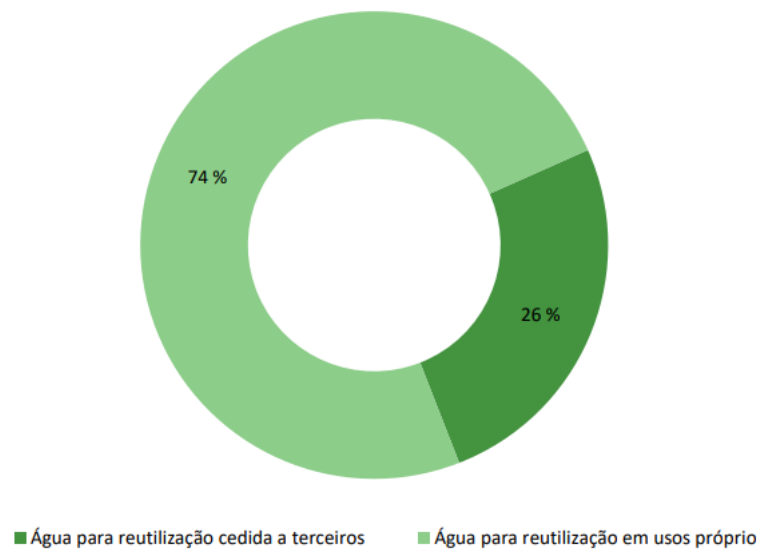


Figura 4-3 - Destino dado à ART, em Portugal, em 2022 (adaptado de ERSAR, 2023)

Assim sendo, consegue-se verificar que, 74% da ART foi utilizada pelas entidades gestoras para uso próprio, enquanto apenas 26% foi fornecida a outras entidades para reutilização.

Relativamente à legislação sobre a reutilização das ART, em Portugal, estas são regidas pelo Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, que estabelece o regime jurídico de produção de ART e sua utilização, e pelo Regulamento EU 2020/741, que estabelece os requisitos mínimos para a reutilização de água.

Em Espanha e Portugal, 20% da procura de irrigação para agricultura é através da água reutilizável. Já países como Itália e França conseguem utilizar até 45% das suas águas residuais. Contrariamente, os outros países da UE com necessidades mais baixas de irrigação, conseguem satisfazer praticamente as suas necessidades de irrigação com estas águas (Pistocchi, et al., 2017).

A reutilização da água ajuda a diminuir o stress hídrico (diminuindo a quantidade de água doce captada) e, sendo uma água mais rica em nutrientes do que a água doce, potencia o

desenvolvimento das plantas. A incidência das captações totais para irrigação sugere que, ao se reutilizar a água, é possível reduzir o stress hídrico até 10% (Pistocchi, et al., 2017). Infelizmente, verifica-se que em pleno século XXI, nem toda a água é aproveitada, havendo desperdícios associados a perdas e ao uso ineficiente da mesma. Por exemplo, em 2009 houve uma procura efetiva de água em Portugal de 4255 milhões de m<sup>3</sup>, sendo que apenas 65% se traduziu em consumo útil. Esta ineficiência do uso da água faz com que haja elevados prejuízos ambientais, sociais e económicos (Vaz, et al., 2017, APA, 2012).

Dos cerca de 48 km<sup>3</sup> de água disponibilizadas pelas Estações de Tratamento de Água Residual (ETAR) em toda a Europa, cerca de 13 km<sup>3</sup> são utilizadas em terras agrícolas. Apesar de ser uma contribuição muito significativa, esta utilização implica custos (Pistocchi, et al., 2017).

Segundo os autores de um estudo da Comunidade Europeia sobre a reutilização da água na agricultura, o custo de reutilização de águas residuais é calculado somando o custo do tratamento de água para reuso, o custo da infraestrutura e o custo energético (associado à distribuição) (Pistocchi, et al., 2017). Relativamente a estes custos, para tornar a água reutilizável, requer valores de 0,08 €/m<sup>3</sup>. No entanto, metade dos 13 km<sup>3</sup> requerem mais de 0,50 €/m<sup>3</sup> para serem implantados, incluindo custos de infraestruturas, tratamento e distribuição, enquanto cerca de 12% pode ultrapassar o 1 €/m<sup>3</sup>. Os custos relativos aos tratamentos por filtração e desinfeção rondam os 0,08 €/m<sup>3</sup>. Quando necessário um tratamento mais rigoroso, os custos acrescem cerca de 0,15 €/m<sup>3</sup>. Quanto aos custos energéticos, estes variam em média os 0,05 €/m<sup>3</sup>, que, quando combinado com o tratamento e distribuição, rondam os 0,25 €/m<sup>3</sup> ou menos. Os custos da água para reutilização dependem sempre da distância entre o local de procura e as ETAR, variando em toda a UE. Segundo este estudo, as maiores quotas de procura de irrigação da UE são detidas por Espanha, com 18 km<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, Itália, com 11 km<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, França e Grécia, variando entre 4 e 5 km<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, e Portugal, com aproximadamente 3 km<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Os outros membros da UE apresentam exigências de irrigação muito menores (Pistocchi, et al., 2017).

Noutro estudo, realizado pelos autores (Areosa, et al., 2024), foi possível determinar os custos associados à reutilização de ART, tendo em conta os requisitos de qualidade e as opções tecnológicas de tratamento. Relativamente aos custos de ART para a atividade agrícola, neste estudo, prevê-se que os mesmos rondem entre 0,02 e 0,57 €/m<sup>3</sup>. Para usos recreativos, os valores já são um pouco superiores, rondando os 0,43 e os 0,83 €, devido às maiores distâncias dos utilizadores e aos menores volumes. Os autores referem ainda que, estes valores são comparáveis aos encontrados em Valência (0,39 €/m<sup>3</sup> – 0,74 €/m<sup>3</sup>) e Itália

(0,01 €/m<sup>3</sup> – 0,48 €/m<sup>3</sup>), e inferiores aos custos médios de água potável na região de Portugal (0,84 €/m<sup>3</sup> em Lisboa e 0,87 €/m<sup>3</sup> em Leiria).

Outro aspeto importante a ter em conta, quando se quer utilizar ART, é a distância entre o ponto de tratamento e o ponto de consumo, como outrora foi referido. Segundo Pistocchi, et al. (2017), não é conveniente que esta distância exceda os 10 km, nem que seja transportada para sub-bacias com diferenças de elevação, mais concretamente, com elevações acima dos 200 m pois representa uma necessidade excessiva de bombeamento (Pistocchi, et al., 2017).

## **4.2. ANÁLISE SWOT**

A análise SWOT é uma ferramenta que permite analisar os pontos fortes (S - strengths), fracos (W - weaknesses), as oportunidades (O - opportunities) e as ameaças (T- threats) com o intuito de desenvolver um plano estratégico de um projeto, neste caso, a utilização de águas residuais tratadas. Esta análise permite analisar os pontos críticos de forma a se poder avaliar se é viável ou não, a reutilização das águas residuais tratadas para diversas aplicações.

**S**

- Redução da pressão sobre os recursos hídricos;
- Disponibilidade de abastecimento de água em épocas de seca e em zonas de escassez de água;
- Possibilidade de substituição de águas superficiais e subterrâneas por ART;
- Existência de regulamentos nacionais e europeus que estabelecem requisitos sobre a qualidade das ART;
- Utilização das ART como alternativa à água potável, na agricultura, indústria, rega paisagística, recarga de aquíferos, lavagens de ruas e viaturas.

**W**

- Segurança alimentar (exigência de análises e monitorizações regulares);
- Relutância na aceitação pública e falta de confiança do consumidor;
- Distanciamento entre o local de produção e o local de utilização;
- Possível contaminação das águas superficiais e subterrâneas;
- Falta de infraestruturas de armazenamento e tratamento.
- Falta de garantia de caudal.

**O**

- Reforço dos recursos hídricos através de fonte alternativa;
- Recuperação de nutrientes presentes nas ART;
- Implementação de novas tecnologias de tratamento;
- Resposta à preocupação social com a escassez de água e procura de alternativas.

**T**

- Custos energéticos associados ao tratamento das águas residuais, bombagem e distribuição;
- Falta de infraestruturas para distribuir as ART;
- Custos altos de produção, distribuição e operação;
- Possibilidade de maior procura do que oferta.

(Adaptado de Mesa-Pérez & Berbel, 2020, Mainali, et al., 2011, SUWANU EUROPE, 2020)



## 5. CASO DE ESTUDO

Nos capítulos anteriores foi referido o impacte que uma fraca QAI pode ter nos ocupantes, seja a nível físico seja psicológico. Uma maneira de contrariar a má QAI, para além da boa ventilação, é a utilização de plantas.

Assim, o presente estudo teve como objetivos verificar se uma Estrutura Verde Natural (EVN) influenciava ou não na Qualidade do Ar Interior (QAI). Para além disso, e uma vez que cada vez mais os períodos de seca intensa são mais frequentes, pretendeu-se verificar também se a rega com ART, influenciava no desenvolvimento das plantas.

Assim, o estudo dividiu-se em duas fases. Na primeira fase, “*Antes da rega com ART*”, foram realizadas medições da QAI e determinou-se a área das plantas através de captura de imagens e análise das mesmas. Na segunda fase, “*Rega com ART*”, parte das plantas foram regadas com ART e as outras continuaram a ser regadas com AP. Realizou-se uma nova monitorização da QAI e mediu-se a área frontal das plantas, ao longo do tempo, de maneira a verificar se a ART influenciava ou não no seu crescimento.

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL EM ESTUDO

Para o estudo foram seleccionadas duas salas de aula do Edifício G do Campus do ISEL: a sala G 2.07, designada de Sala Verde (SV) e onde foi instalada a EVN, e a sala G 2.08, designada de Sala Neutra (SN). Estas salas foram escolhidas por terem capacidade de albergar o mesmo número de alunos, pela área das salas e pela área envidraçada ser idêntica, proporcionando uma maior exposição solar. Para além disso, estas duas salas estão orientadas a Sudoeste e cada uma apresenta ainda uma porta virada para o pátio exterior. Ambas as salas têm capacidade para 50 pessoas, dispendo de secretárias e cadeiras, dois quadros brancos (fixados à parede) e um sistema de projeção (fixado ao teto), como se pode verificar na Figura 5-1. A utilização da SN serviu de comparação com a SV relativamente à monitorização da QAI, de maneira a se averiguar se as plantas da SV influenciavam ou não na QAI. Como se pode constatar pela disposição da sala, na Figura 5-1, existem três janelas grandes (JG) possíveis de abrir: uma junto da secretária do professor (que se encontra entre o pilar e a planta n.º 1 – JG1) e duas outras janelas ao pé das secretárias dos alunos (localizadas entre as plantas n.º 1 e n.º 6 – JG2 - e entre as plantas n.º 2 e n.º 5 – JG3). Na parede oposta, é possível verificar na Figura 5-3, a existência de duas janelas pequenas (JP)

ao longo da parede da sala que permaneceram sempre fechadas (uma entre a planta n.º 3 e n.º 4 – JP1, e entre as plantas n.º 4 e n.º 8 – JP2).

No centro da sala, é possível observar um pequeno quadrado branco, que simboliza o aparelho utilizado para fazer a monitorização da QAI. É de referir que, nenhum aluno se sentou ao lado do aparelho, de forma a não influenciar nas medições.

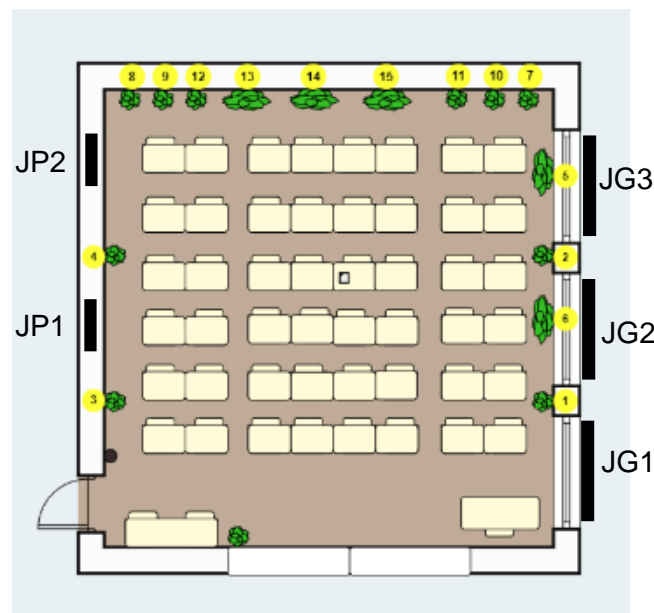


Figura 5-1 - Planta da SV, indicação das plantas e do aparelho de medição da QAI ao centro da sala

## 5.2. IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRUTURA VERDE NATURAL

A EVN foi colocada de modo a não dificultar a circulação dos ocupantes da sala nem perturbar os mesmos durante o leccionamento das aulas ou das avaliações. A EVN é constituída por diferentes elementos: vasos no pavimento, de diferentes dimensões, vasos suspensos na parede e vasos no pavimento para suporte de crescimento de plantas em treliças, como é possível observar na Figura 5-2 onde se apresentam algumas das plantas dispostas na sala em estudo.



Figura 5-2 - Fotografia da SV com localização da EVN

É de referir que as plantas selecionadas para integrar na EVN foram escolhidas com base na sua reconhecida capacidade em absorver determinados poluentes interiores, como é possível verificar no estudo realizado por Wolverton, et al. (1989). Neste estudo tentou se verificar o potencial das plantas na redução de determinados poluentes do ar interior, tendo sido demonstrada a capacidade de algumas plantas em remover formaldeído, benzeno e tricloroetileno do ar. As espécies onde se verificaram resultados mais apelativos, referente à redução de poluentes, foram as *Gerbera jamesonni*, *Hedera helix*, *Sansevieria laurentii*, *Chamaedore seifritzii*, *Dracaena deremensis* “Janer Craig”, *Dracaena massangeana* e *Chrysanthemum morifolium* (Wolverton, et al., 1989).

Em Portugal, o Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), realizou vários estudos em variadas escolas primárias em Aveiro, corroborando os resultados obtidos pela NASA para as espécies *Dracaena deremensis*, *Dracena marginata*, e *Spathiphyllum* “Mauna Loa”, verificando que as plantas têm a capacidade de remover alguns poluentes do ar, como é o caso do CO<sub>2</sub>, dos COV e das PM<sub>10</sub> (Pegas, et al., 2012). Segundo outros autores, como é o caso de Chauhan et al., (2022), a seleção das plantas deve ser efetuada com base nos valores de “Air Pollution Tolerance Index” (APTI). O APTI expressa a capacidade das plantas de combater os efeitos adversos da poluição, e é calculado com base em parâmetros afetados pelos poluentes atmosféricos, como é o caso do teor de ácido ascórbico, do teor total de clorofila, o teor relativo de água, o pH e o extrato foliar (Miranda T. C., 2022). Assim sendo, Chauhan et al., (2022), estimaram índices APTI de várias espécies de plantas, obtendo valores mais elevados para as seguintes espécies: *Dracena deremensis*, *Ficus benamina*, *Spathiphyllum wallisii*, *Epipremnum aureum*, *Philodendron bipinnatifidum*, *Dieffenbachia seguine*, *Sansevieria trifasciata* e *Ficus elástica*.

Husti et al. (2016), ainda afirmam que existem mais de 100 espécies de plantas com capacidade de remover ou reduzir as concentrações de poluentes do ar interior, como é o caso de *Dracaena spp.*, *Sansevieria trifasciata*, *Ficus spp.*, *Schefflera spp.*, *Spatiphyllum spp.*, *Orchids*, *Hedera helix*, *Dieffenbachia spp.*, *Epipremnum spp.* e *Nerium indicum*.

Relativamente à rega das plantas estas foram, inicialmente, regadas uma vez por semana. Em agosto, devido às temperaturas elevadas, a rega das plantas começou a ser bissemanal. Após isto, e com o início da descida das temperaturas, mais concretamente no mês de novembro, retornou-se à rega semanal.

Quanto ao tipo de água utilizada na rega, de fevereiro de 2023 a junho de 2023, as plantas foram todas regadas com Água Potável (AP). A partir de julho, metade das plantas começaram a ser regadas com Água Residual Tratada (ART), como é explicado no ponto 5.5.

Em termos de exposição solar, as plantas 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11 e 15 encontravam-se mais expostas à luz solar, dado que estavam juntos às janelas grandes da sala, as quais têm uma orientação a sudoeste (conforme se pode visualizar na Figura 5-3).



Figura 5-3 - Exposição das plantas na sala, maio 2024

### 5.3. METODOLOGIA DA MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

A monitorização da QAI foi realizada utilizando um equipamento portátil, *Kaiterra Sensedge Mini 5-in-1*, de leitura direta, calibrado, com leituras a cada minuto e que monitorizou diversos parâmetros.

Apresenta-se seguidamente os parâmetros monitorizados e respetivos graus de precisão:

- ❖  $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ : 0 - 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e 30 - 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 10\%$
- ❖  $\text{CO}_2$ :  $\pm 40 \text{ ppm} \pm 3\%$
- ❖ Temperatura do ar:  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
- ❖ Humidade relativa do ar:  $\pm 5\%$
- ❖ COV:  $\pm 15\% \pm 8 \text{ ppb}$

É de referir que ao longo do tempo foram realizadas outras monitorizações preliminares, só para verificar o funcionamento do aparelho e os dados obtidos em tempo real, como também para definir o procedimento experimental a realizar durante o estudo, tal como a abertura/fecho de janelas e/ou da portas e número de ocupantes em cada sala. Durante algumas das monitorizações prévias verificou-se a interferência de diversos fatores externos, como por exemplo, o fator humano, com a entrada e saída de pessoas das salas em monitorização, dado as monitorizações foram realizadas em tempo de aulas, o que levou à variação do número de ocupantes ao longo do tempo e ao facto de o número não ser igual em ambas as salas. Por outro lado, houve abertura e fecho de janelas e/ou portas consoante os ocupantes acharam necessário, implicando condições diferentes nas duas salas.

Assim sendo, as monitorizações foram realizadas em épocas de avaliação, permitindo um maior controlo das condições experimentais, nomeadamente do número de ocupantes e da abertura/fecho de portas ou janela(s). Estiveram duas pessoas em simultâneo a realizar as monitorizações da QAI e a fazer o controlo das condições experimentais, estando em permanente contacto para que as condições se mantivessem constantes nas duas salas durante as medições.

### **5.3.1. PRIMEIRA FASE DO ESTUDO: “ANTES DA REGA COM ART”**

Numa primeira fase, as plantas da EVN foram regadas com AP. A monitorização do seu crescimento iniciou-se em fevereiro de 2023 e concluiu-se em junho de 2023. A primeira monitorização da QAI foi realizada no dia 6 de junho. A monitorização em ambas as salas, foi realizada em simultâneo, entre as 18:00 e as 20:40 e, tentando sempre que o número de alunos fosse idêntico (21 ocupantes no total). Durante a monitorização as condições físicas de ambas as salas foram sempre as mesmas, ou seja, a abertura e fecho de porta e janelas foi realizada de forma controlada e em simultâneo nas duas salas, bem como a entrada e saída de alunos. Contudo, 20 minutos antes da monitorização, a SV foi limpa e higienizada (algo que não ocorreu na SN), tendo sido empregues produtos de limpeza com libertação de perfume.

Na monitorização realizada, apenas a janela junto à secretária do professor e, a janela ao fundo da sala (Figura 5-1) é que foram abertas/fechadas, as restantes permaneceram fechadas, em ambas as salas.

Como se pôde verificar pela disposição da sala, na Figura 5-1, existem três janelas: junto da secretária do professor e duas outras janelas ao pé das secretárias dos alunos (uma a meio e uma no final da sala). Durante a monitorização realizada, as janelas que foram abertas e fechadas foram a janela que se encontrava junto ao professor (denominada de JG 1) e, a janela ao fundo da sala, janela ao pé dos alunos, denominada de JG 3. Pode ainda verificar-se que na Figura 5-1 o aparelho de medição foi colocado no centro da sala.

Os passos seguidos em ambas as salas durante a monitorização estão representadas nas Tabelas 5-1 e Tabela 5-2.

*Tabela 5-1 – Monitorização da QAI na primeira fase do estudo na SV*

<b>Hora</b>	<b>Nº de ocupantes</b>	<b>Observações / Ação</b>
18:00	21	Abertura da porta e entrada dos ocupantes
18:15	21	Fecho da porta
18:30	21	Abertura de duas janelas (janela 1 e 2)
19:00	21	Abertura da porta
19:10	21	Fecho da janela 2 e fecho da porta
20:00	20	Abertura da porta
20:20	19	Fecho da porta
20:40	18	Porta aberta
Após 20:40	vazio	Saída de todos os ocupantes da sala

*Tabela 5-2 – Monitorização da QAI na primeira fase do estudo na SN*

<b>Hora</b>	<b>Nº de ocupantes</b>	<b>Observações / Ação</b>
18:00	21	Abertura da porta e entrada dos ocupantes
18:15	21	Fecho da porta
18:30	21	Abertura de duas janelas (janela 1 e 2)
19:00	19	Abertura da porta
19:10	19	Fecho da janela 2 e fecho da porta
20:00	18	Abertura da porta
20:20	18	Porta aberta
20:40	18	Porta aberta
Após 20:40	vazio	Saída de todos os ocupantes da sala

### 5.3.2. SEGUNDA FASE DO ESTUDO: “REGA COM ART”

Em julho de 2023, as plantas foram divididas em dois lotes distintos: 6 plantas regadas com ART e 7 plantas regadas com AP.

As plantas regadas com ART são as plantas 1, 3, 6, 7, 10, 11 e 14 e as plantas regadas com AP são as plantas 2, 4, 5, 8, 9, 12, 12 e 15, como é possível verificar na Figura 5-4.

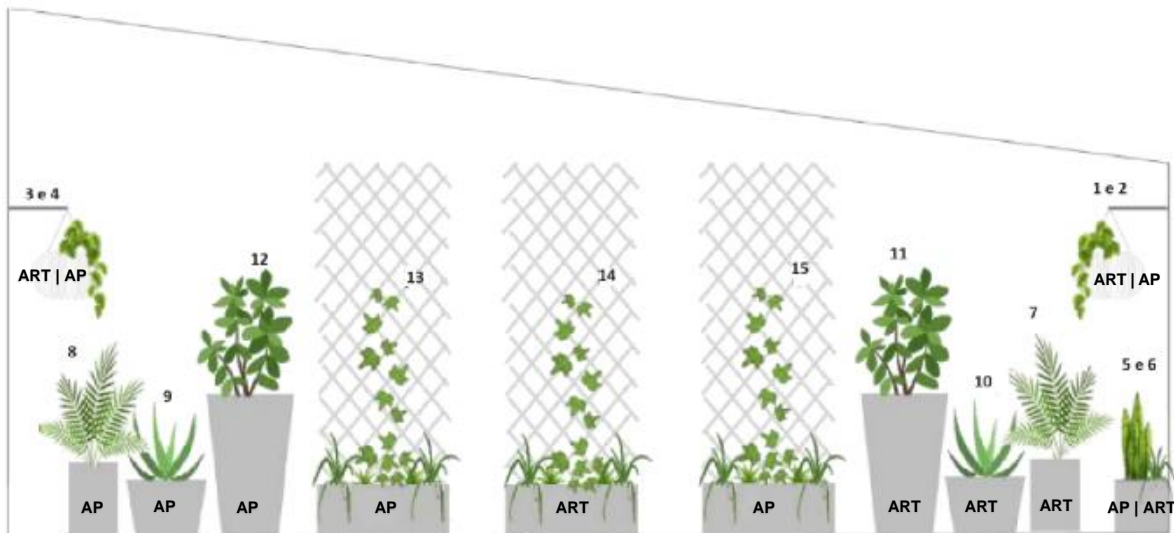


Figura 5-4 - Disposição das plantas na SV (adaptado de Miranda, 2022)

Legenda da figura:

1-4: *Scindapsus aureus* (Jibóia ou Hera-do-diabo)

5 e 6: *Dracaena trifasciata* e *Chlorophytum comosum* (Espada de São Jorge e Planta Aranha)

7 e 8: *Dypsis lutescens* (Areca-bambu ou palmeira-areca)

9 e 10: *Aloe Vera* (Babosa)

11 e 12: *Ficus benjamina* (Ficus)

13-15: *Scindapsus aureus* e *Chlorophytum comosum* (Jibóia e Planta Aranha)

A ART utilizada na rega das plantas foi recolhida numa ETAR urbana com tratamentos secundários, filtração com filtros de areia e desinfecção. As características da ART, em termos de matéria orgânica e de nutrientes, constam na Tabela 5-3. Ao se utilizar a ART em vez de AP, conseguiu-se poupar cerca de 45,9% de AP.

Tabela 5-3 – Valores de CQO, CBO<sub>5</sub>, N e P da água residual tratada

Parâmetro	Valor
Carência Química de Oxigénio (CQO)	39,1 ± 7,7 mg/L de O <sub>2</sub>
Carência Bioquímica de Oxigénio durante 5 dias (CBO <sub>5</sub> )	7 ± 1,3 mg/L de O <sub>2</sub>
Azoto Total (N <sub>Total</sub> )	11,5 ± 0,5 mg/L de N
Fósforo Total (P <sub>Total</sub> )	2,6 ± 0,3 mg/L de P

Para além da água residual, foi utilizada água da rede pública – EPAL, utilizada também inicialmente na primeira fase do estudo.

A segunda monitorização à QAI foi realizada em janeiro 2024, estação de inverno em Portugal. A monitorização foi realizada em ambas as salas (SV e SN), entre as 14:00 e as 16:30, com igual número de pessoas em sala (alunos e professor), ou seja, 25 pessoas presentes em cada sala. Durante a monitorização, as janelas permaneceram sempre fechadas e a porta foi aberta e fechada, simultaneamente.

Utilizou-se o mesmo equipamento de monitorização de QA e este estava localizado no mesmo local aquando da primeira fase do estudo. Os parâmetros monitorizados foram os seguintes: CO<sub>2</sub>, COV, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, temperatura (T) e humidade relativa (HR).

O aparelho utilizado foi o mesmo e a sua colocação durante a monitorização foi exatamente a mesma, como se verifica na Figura 5-1.

Os passos seguidos em ambas as salas durante a monitorização estão representadas na Tabela 5-4.

Tabela 5-4 - Monitorização da QAI na segunda fase de estudo na SV e SN

Hora	Nº de ocupantes	Observações / Ação
13:40	24	Entrada dos ocupantes e fecho da porta
14:10	25	Entrada de mais um ocupante. Porta e janelas fechadas
14:45	25	Abertura da porta
14:50	25	Fecho da porta
15:10	0	Saída de todos os ocupantes da sala. Porta aberta
15:20	25	Entrada de todos os ocupantes. Fecho da porta
Após 16:40	vazio	Saída de todos os ocupantes da sala

#### 5.4. METODOLOGIA DA MONITORIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

A monitorização da área das plantas foi realizada através de captura e análise de imagem, usando um telemóvel (para fotografar) e utilizando o software *Paint.Net* para a determinação das áreas das plantas. Este software permite realizar análise de imagem para determinar as áreas das plantas (projeção frontal das mesmas) de forma a verificar se as ART influenciavam ou não, o desenvolvimento das mesmas.

De forma a reduzir os erros de paralaxe nas medições, o registo fotográfico foi realizado sempre de igual forma, ou seja, com a planta sempre na mesma posição e com a câmara sempre à mesma distância, horizontal e vertical, da planta. Este registo foi realizado mensalmente com o auxílio de um tripé e de um *kapaline*, colocado por trás da planta, de modo a reduzir o ruído visual e aumentar o contraste do verde das plantas, facilitando, assim, as medições (Figura 5-5).

No *kapaline*, de cor branca, foram colocados quadrados coloridos com 10x10 cm, que serviram como escala, para determinação de número de pixels e determinação das áreas frontais das plantas.



*Figura 5-5 – Imagem das plantas com kapaline e quadrados laranja com 10 x 10 cm para servir de escala à medição da área frontal das plantas*



## 6. RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

### 6.1. MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Os resultados obtidos das monitorizações da QAI foram analisados em duas fases como referido anteriormente. Na primeira fase, todas as plantas foram regadas com AP (“Antes da rega com ART”). Na segunda fase, monitorizou-se a QAI após metade das plantas serem regadas com ART (“Rega com ART”). Para analisar os valores em causa, foi tido em conta os valores de limiar de proteção estabelecidos pela Portaria n.º138-G/2021 de 1 de julho.

#### 6.1.1. PRIMEIRA FASE DO ESTUDO: “ANTES DA REGA COM ART”

A primeira monitorização deu-se no início do verão de 2023. Foi feita em simultâneo em ambas as salas (SV e SN), entre as 18:00 h e as 20:40 h, tentando sempre que o número de ocupantes fosse idêntico (21 pessoas no total). Os resultados são apresentados de seguida.

#### ❖ Temperatura

Na Figura 6-1, é possível observar os resultados obtidos para a T em ambas as salas.

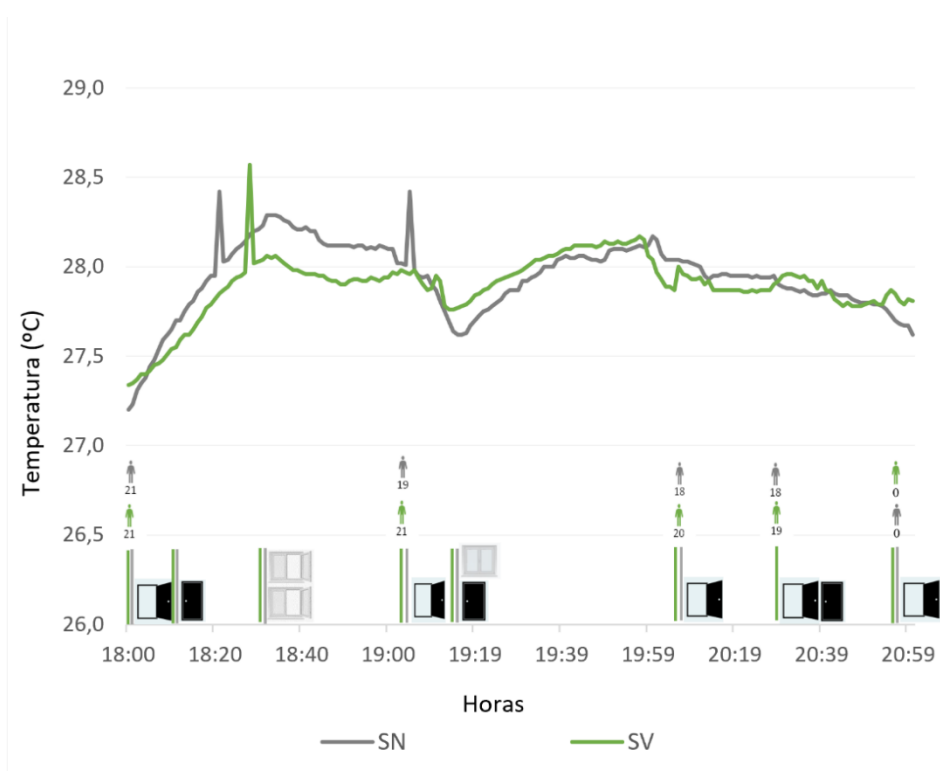


Figura 6-1 - Variação da Temperatura na SV e na SN

Durante a monitorização, a temperatura na SV apresentou valores entre os 27.3 °C e os 28.6 °C e a SN apresentou valores de 27.2 °C e a 28.4 °C, como se pode verificar na Figura 6-1.

Nesse dia, o site do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), registava valores entre as 22 °C e os 28 °C, sendo que no início da monitorização, às 18 h, o IPMA registava 28 °C e por volta das 20:30/21 h registava 22 °C, sendo os valores semelhantes aos obtidos dentro das salas.

Relativamente a este parâmetro, a legislação portuguesa não apresenta valores de limiar de proteção. No entanto, segundo o Decreto-Lei n.º 243/86 (1986), *“a temperatura dos locais de trabalho deve, na medida possível, oscilar entre 18 °C e 22 °C, salvo em determinadas condições climatéricas, em que poderá atingir os 25 °C”*. Uma vez que a monitorização foi realizada em pleno verão, é normal que os seus valores fossem superiores aos referidos. É ainda possível verificar que, sempre que se abria a porta, a temperatura diminuía, verificando-se assim, a importância da ventilação natural das salas.

Na SN a temperatura foi superior até por volta da primeira abertura de porta (cerca das 19:00 h), confirmando a afirmação que as estruturas verdes podem baixar a temperatura dos espaços. A partir dessa hora não há uma clara evidência sobre a influência das plantas, visto que, a temperatura é mais elevada por vezes na SN outras vezes na SV, podendo ser consequência da abertura de porta pelas 19:00 h (fazendo entrar o calor do exterior).

Apesar da diferença entre os valores da SV e da SN não serem muito significativos, vários autores revelam nos seus trabalhos que a presença das paredes verdes ajudam na redução dos efeitos térmicos, como é o caso de Safikhani, et al., (2014), Peterková, et al., (2019) ou Han & Ruan (2019).

### ❖ Humidade Relativa

Na Figura 6-2, é possível observar os resultados obtidos para a HR em ambas as salas.

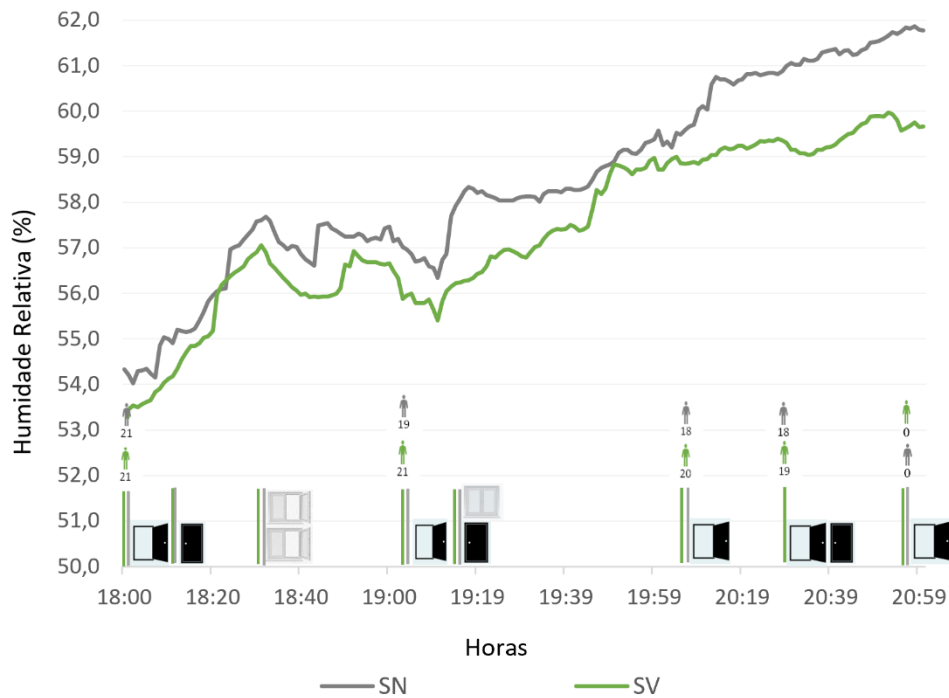


Figura 6-2 - Variação da Humidade na SN e SV

A HR na SV, variou entre os 52.8% e os 59.4%, enquanto na SN, variou entre 54% e os 61.4%, como se pode ver na Figura 6-2. Segundo o site do IPMA, os valores para a HR, nesse dia, rondavam os 56%, sendo os valores semelhantes aos obtidos no interior das salas.

Da mesma forma que a temperatura, não existem valores limite de proteção para a humidade, sendo que segundo a legislação, Decreto-Lei n.º 243/86 (1986), esta possa oscilar entre os 50% e os 70%. Neste parâmetro, foi possível verificar valores dentro do intervalo de valores referidos.

Tal como na temperatura, os autores Safikhani, et al., (2014), Peterková, et al., (2019) ou Han & Ruan (2019) revelam valores de humidade superiores na presença de paredes verdes, o que não é verificado neste caso. Para o presente caso de estudo, a SN apresenta, em quase todo o tempo de medição, valores mais elevados do que na SV.

### ❖ Dióxido de Carbono

Na Figura 6-3, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro CO<sub>2</sub> em ambas as salas.

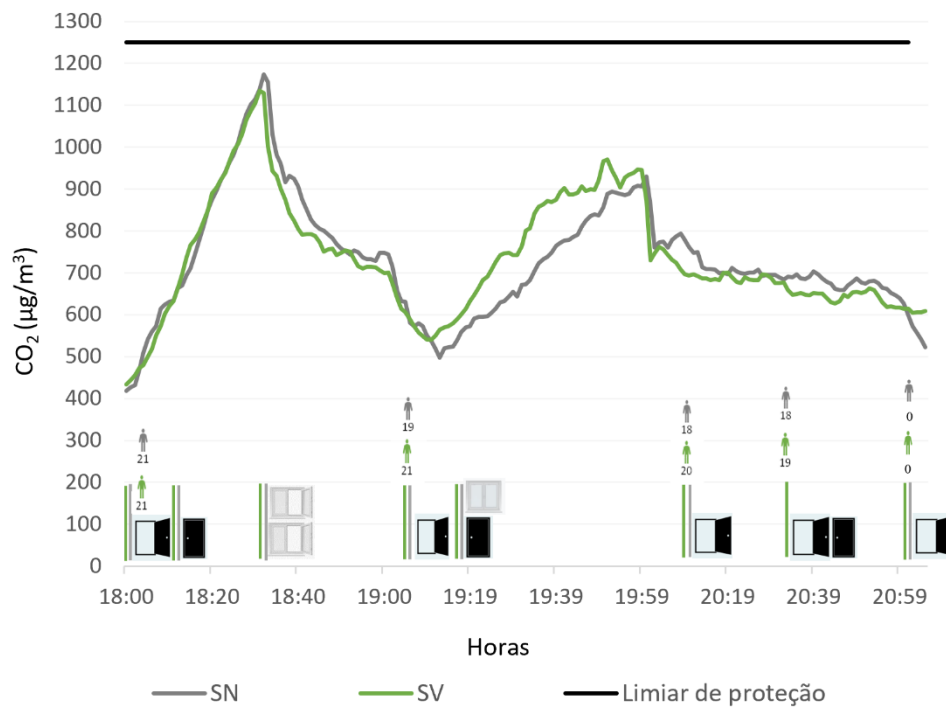


Figura 6-3 - Comparação do CO<sub>2</sub> entre a SV e a SN

Analisando a variação do CO<sub>2</sub> observa-se que, em alguns períodos, o nível de CO<sub>2</sub> medido foi ligeiramente superior na SV. Este efeito pode-se dever ao facto de a monitorização ter sido realizada ao final do dia, já com reduzida luz solar, pelo que as plantas deixaram de realizar a fotossíntese. Ainda assim, a presença das plantas não afetou negativamente, de forma significativa, os valores de CO<sub>2</sub> na sala.

Quanto à variação da presença dos ocupantes, é possível verificar uma relação com a concentração do CO<sub>2</sub>, como alguns autores referem, como é o caso de Ferreira & Cardoso, (2013), Pegas, et al., (2010) e Peterková, et al., (2019). Como se pode verificar, houve mais saída de alunos na SN do que na SV. Apesar dos valores não variarem significativamente entre as duas salas, é possível verificar que, na presença de mais alunos na SV, entre as 19:10 h e as 20:00 h, os valores de CO<sub>2</sub> foram ligeiramente superiores. Às 20:00 h, o número de alunos era superior na SV e os valores foram ligeiramente mais baixos do que na SN, podendo estar relacionado com o arejamento da sala no momento da abertura da porta.

Também é possível verificar um decréscimo significativo dos valores quando se abriam as janelas, e posteriormente a porta, e o inverso aquando se fechou a porta e uma das janelas, fortalecendo os resultados de outros autores quando se referem à necessidade de uma boa ventilação natural para o melhoramento da QAI (Dutton & Shao, 2010, Ferreira A. M., 2014).

Apesar de haver alguns picos de valores em ambas as salas, estes nunca ultrapassaram os valores limite de proteção.

### ❖ Compostos Orgânicos Voláteis

Na Figura 6-4, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro dos COV em ambas as salas.

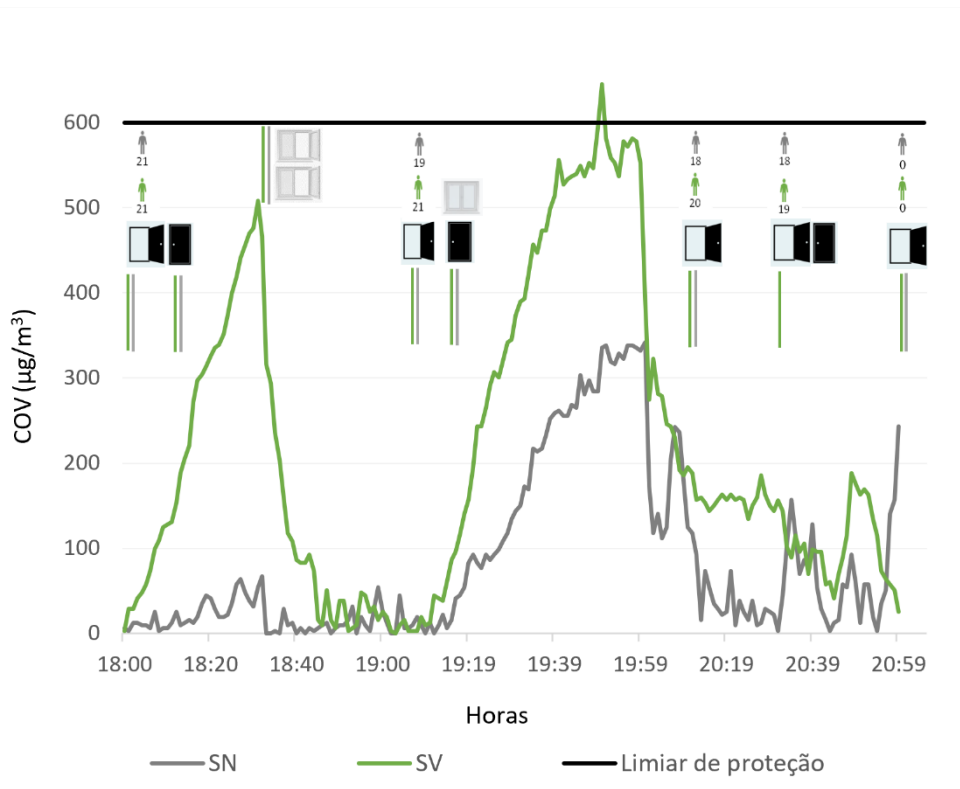


Figura 6-4 - Comparação dos COV entre a SV e a SN

Analisando a figura é possível verificar uma discrepância significativa da concentração dos COV da SV para a SN. Esta situação poderá dever-se ao facto de, antes da monitorização, a SV ter sido higienizada (algo que não ocorreu na SN), tendo sido empregues produtos de limpeza, os quais são uma fonte de COV, podendo verificar-se a influência negativa deste tipo de produtos neste parâmetro, como é referido em APA (2010), Loureiro (2015) e Safar, et al. (2017).

Contudo, verificou-se que, quando se deu a abertura das janelas, a concentração deste parâmetro desceu bastante, verificando-se o acontecimento contrário quando se fechou uma janela e a porta, comprovando que uma boa ventilação ajuda no melhoramento da QAI, diminuindo assim, os valores das concentrações dos poluentes, neste caso os COV, como é referido em WHO (2010) ou como é recomendado por Safar, et al. (2017).

#### ❖ PM<sub>2.5</sub>

Na Figura 6-5, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro PM<sub>2.5</sub> em ambas as salas.

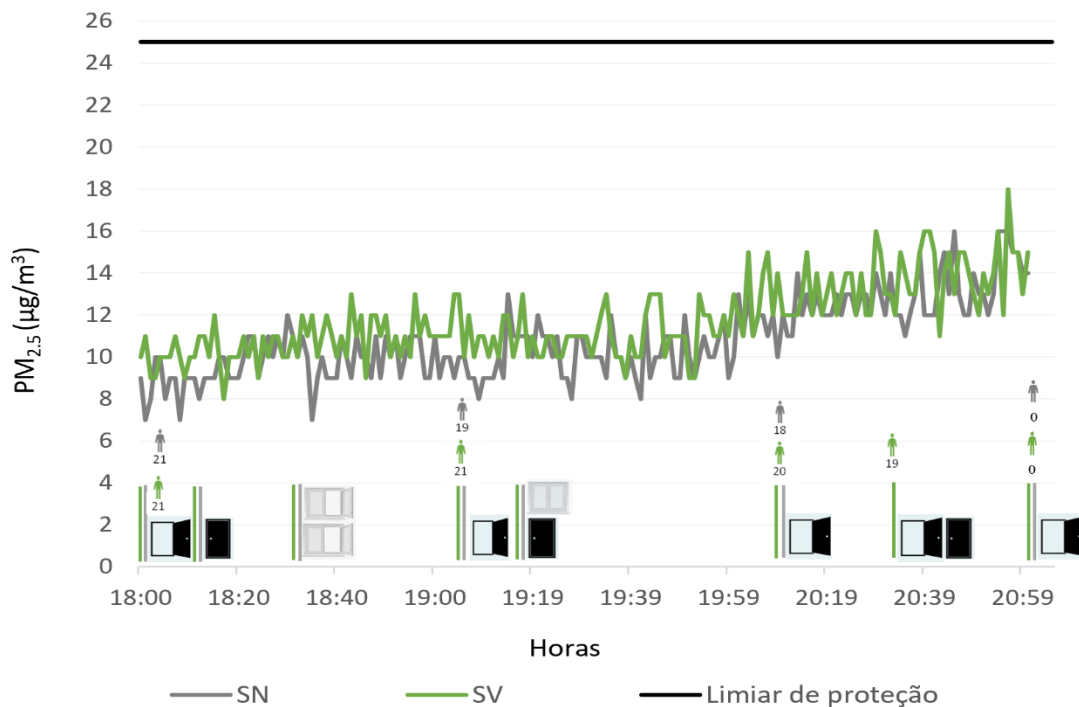


Figura 6-5 - Comparação das PM<sub>2.5</sub> entre a SV e a SN

Em relação à análise da concentração de  $PM_{2.5}$ , observou-se valores muito similares nas duas salas monitorizadas. Contudo, os valores são ligeiramente mais elevados na SV o que pode também estar relacionado com a higienização da sala (varrimento do chão) realizada antes da monitorização, como é referido em APA (2010) e Loureiro (2015).

É ainda possível verificar que, aquando da abertura das janelas (às 18:30 h), a abertura da porta (às 19:10 h e às 20:00 h), houve uma diminuição dos valores na SN. Com o fecho da porta e de uma janela, às 19:13, os valores aumentaram, apoiando a tese de Šcibor, et al. (2018) relativamente à necessidade de arejamento.

Verifica-se ainda, um ligeiro aumento nos valores no final da monitorização, que poderão estar relacionados com a movimentação dos alunos durante a saída da sala, pois há a re-suspensão das partículas no ar, como é referido por Ruggieri, et al. (2018) ou Goyal & Khare (2010). É ainda de referir, que os valores obtidos nunca ultrapassaram os valores limite de proteção.

#### ❖ $PM_{10}$

Na Figura 6-6, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro  $PM_{10}$  em ambas as salas.

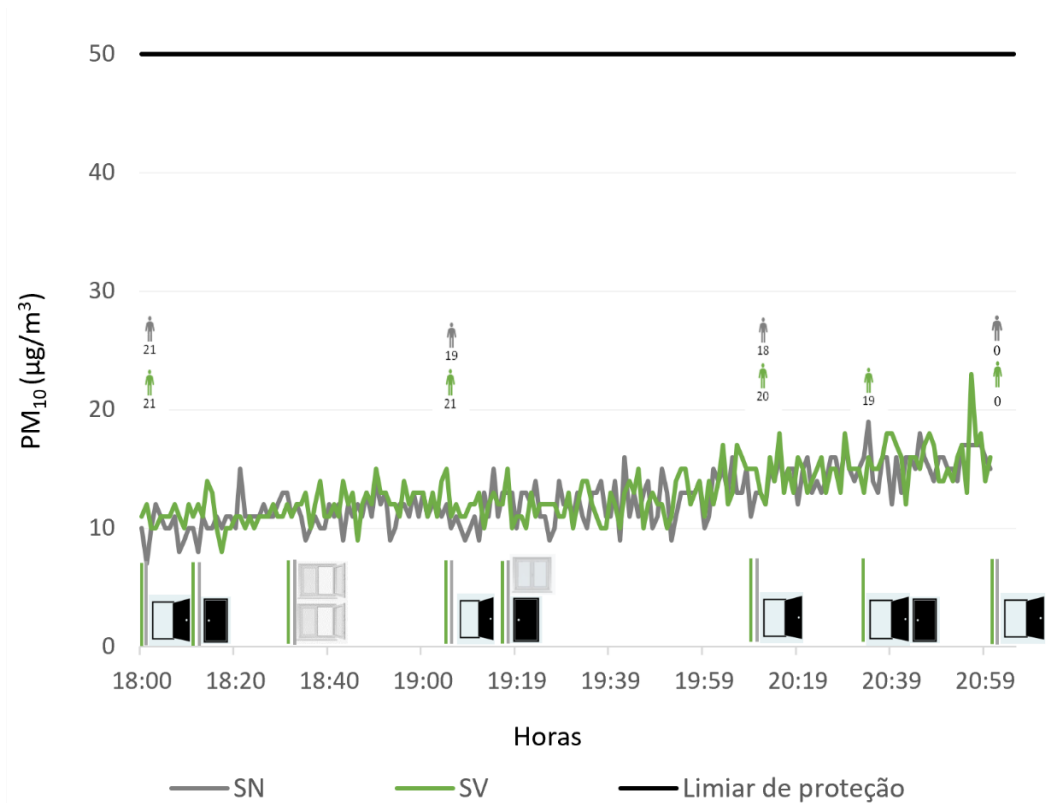


Figura 6-6 - Comparação das  $PM_{10}$  entre a SV e a SN

Analisando o parâmetro  $PM_{10}$  observou-se que os resultados foram muito semelhantes aos obtidos para as  $PM_{2.5}$ , verificando-se valores muito semelhantes em ambas as salas, nunca ultrapassando os valores limite de proteção e um ligeiro aumento nos valores no final da monitorização, durante a saída dos alunos da sala.

### 6.1.2. SEGUNDA FASE DO ESTUDO: “REGA COM ART”

A segunda monitorização decorreu no inverno de 2024, mais concretamente a 12 de janeiro. Da mesma maneira que a primeira monitorização, esta foi feita em simultâneo em ambas as salas (SN e SV), entre as 13:40 h e as 16:40 h, tentando sempre que o número de pessoas fosse idêntico (25 pessoas no total). Durante a monitorização as janelas permaneceram sempre fechadas, fechando e abrindo apenas a porta. Os resultados da segunda fase são apresentados de seguida.

#### ❖ Temperatura

Na Figura 6-7, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro da Temperatura em ambas as salas.

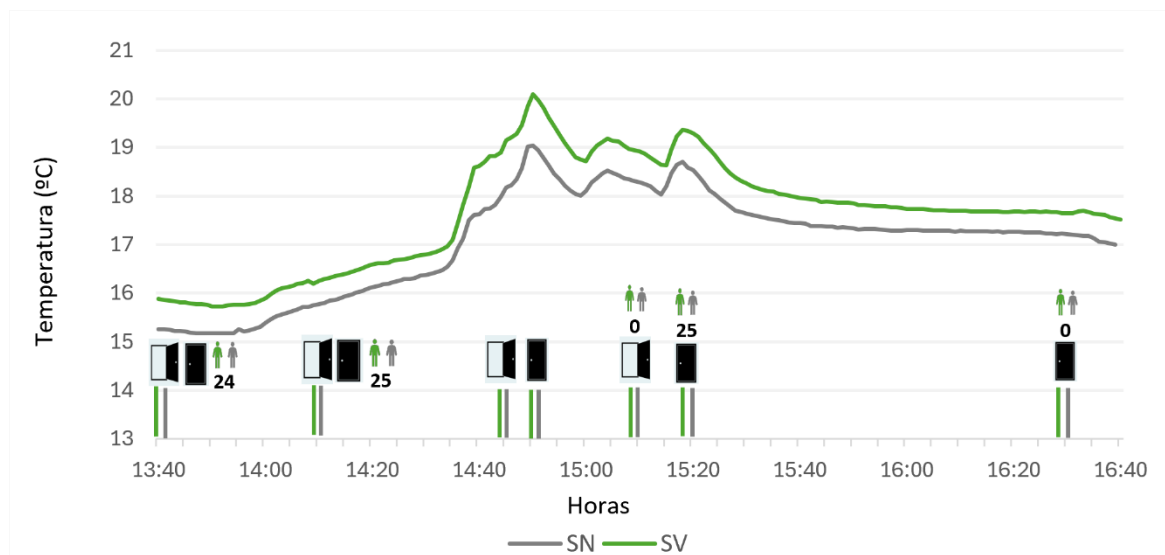


Figura 6-7 - Variação da Temperatura na SV e na SN

Durante a monitorização, a temperatura na SV apresentou valores entre os 15.7 °C e os 20.1 °C e a SN apresentou valores entre os 15.2 °C e os 19.0 °C. Segundo o site do IPMA, nesse dia, as temperaturas rondavam os 14 °C, estando dentro do intervalo de valores obtidos dentro da sala.

Da mesma forma que foi referido na primeira fase da monitorização, neste parâmetro, a legislação portuguesa não apresenta valores de limiar de proteção, e segundo a legislação Decreto-Lei n.º 243/86 (1986), “a temperatura dos locais de trabalho deve, na medida possível, oscilar entre 18 °C e 22 °C, salvo em determinadas condições climatéricas, em que poderá atingir os 25 °C”.

É possível verificar ainda que os valores da temperatura são superiores na SV quando comparada com a SN. Este fenómeno pode estar relacionado com a presença das plantas, que conferem efeitos térmicos, como é referido nos estudos de Safikhani, et al. (2014), Peterková, et al. (2019) ou Han & Ruan (2019). Poderá também estar relacionado com o crescimento das plantas desde a primeira monitorização, pois abrangem maior área, diminuindo assim, as trocas térmicas com o exterior.

#### ❖ Humidade Relativa

Na Figura 6-8, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro da HR em ambas as salas.

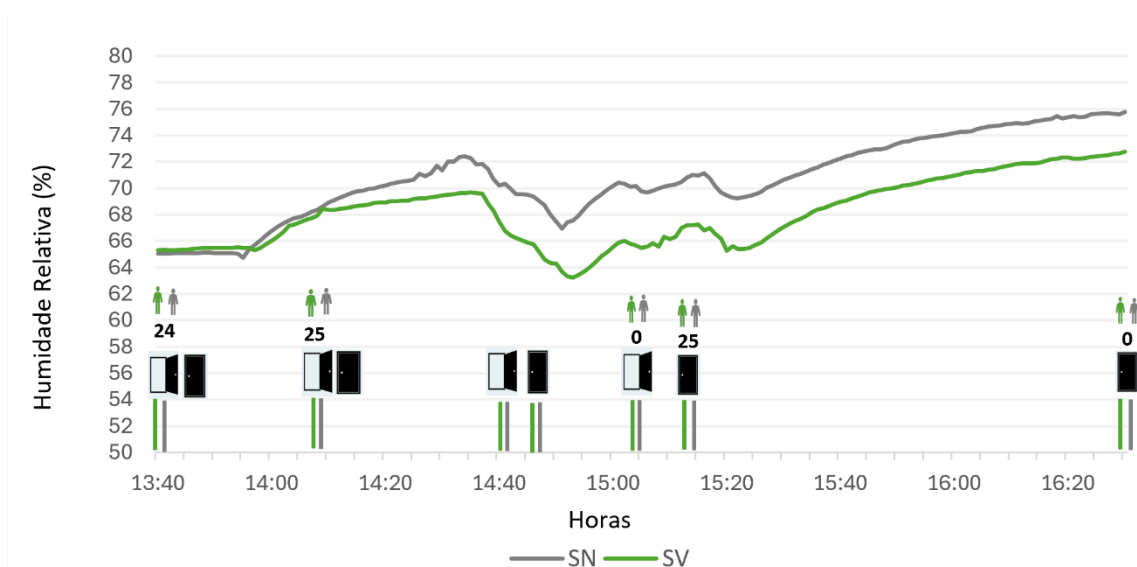


Figura 6-8 - Variação da Humidade Relativa na SV e na SN

A HR, na SV, variou entre os 63,2% e os 72,9%, enquanto na SN, variou entre 64,8% e os 75,9%. Segundo o site do IPMA, nesse dia, os valores para a HR rondavam os 93%, valor superior ao obtido nas salas.

Da mesma forma que a temperatura, não existem valores limite de proteção para a humidade, sendo que segundo a legislação portuguesa Decreto-Lei n.º 243/86 (1986), esta possa oscilar entre os 50% e os 70%. Neste parâmetro, foi possível verificar valores um pouco acima do intervalo de valores recomendados, mas com diferenças pouco significativas. É ainda importante referir que no intervalo entre as 15:20 h e as 16:30 h as portas e janelas encontravam-se fechadas.

Em vários estudos, como é o caso dos estudos dos autores Safikhani, et al., (2014), Peterková, et al. (2019) ou Han & Ruan (2019), estes revelam valores de humidade superiores na presença de paredes verdes, o que não é verificado neste caso, tal como aconteceu na primeira monitorização. Para o presente caso de estudo, a SN apresenta, em quase todo o tempo de medição, valores mais elevados do que na SV.

#### ❖ Dióxido de Carbono

Na Figura 6-9, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro do CO<sub>2</sub> em ambas as salas.

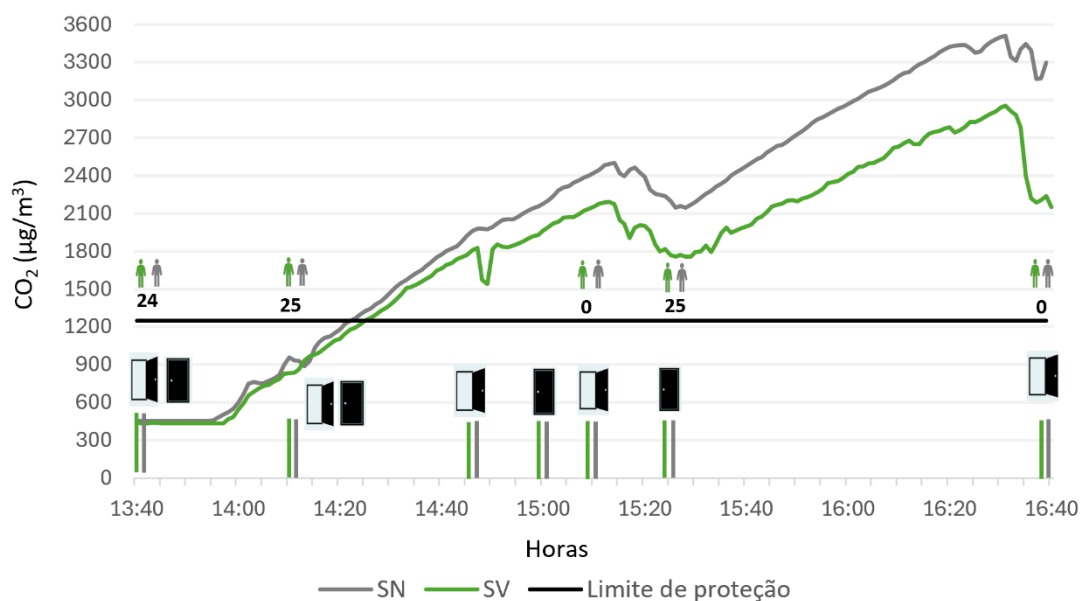


Figura 6-9 - Comparação do CO<sub>2</sub> entre a SV e a SN

Em relação ao  $\text{CO}_2$ , é visível que os valores ultrapassaram os valores do limiar de proteção definidos na legislação. Da mesma forma, também é visível que os valores foram superiores na SN. Mais uma vez, verifica-se que as plantas têm um efeito positivo na QAI, sendo aqui muito evidente esta afirmação. Este facto poderá dever-se ao facto de que, durante o dia, as plantas absorvem  $\text{CO}_2$ , guardando carbono (C) sob a forma de hidratos de carbono e devolvendo oxigénio ( $\text{O}_2$ ) à atmosfera. Durante a noite, não ocorre fotossíntese, o que pode ter tido consequência na primeira fase de monitorização.

Apesar de continuar acima dos valores do limiar de proteção é possível verificar um pico de redução de valores durante a abertura da porta na SV, fenómeno que não se verificou na SN. Este fenómeno poderá estar relacionado com a presença da EVN e do arejamento, fortalecendo os resultados de outros autores quando se referem à necessidade de uma boa ventilação natural para o melhoramento da QAI, como é o caso de Dutton & Shao (2010) ou Ferreira A. M. (2014). Verificou-se também que quando os ocupantes saíram da sala, por volta das 15:15 h, e a porta permaneceu aberta, os valores de  $\text{CO}_2$  diminuíram, comprovando a necessidade de uma boa ventilação para que haja uma QAI melhor para os ocupantes. Neste parâmetro, ainda é possível verificar a influência dos ocupantes podendo verificar-se uma relação entre os ocupantes e a concentração do  $\text{CO}_2$ , como alguns autores referem, como é o caso de Ferreira & Cardoso (2013), Pegas, et al. (2010), Peterková, et al. (2019).

É importante mais uma vez realçar que no intervalo entre as 15:20 h e as 16:40 h as portas e janelas encontravam-se fechadas, e a partir do momento em que foi aberta a porta 16:30 h, houve uma diminuição abrupta dos valores de  $\text{CO}_2$  na SV, o mesmo não se verificando na SN.

### ❖ Compostos Orgânicos Voláteis

Na Figura 6-10, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro dos COV em ambas as salas.

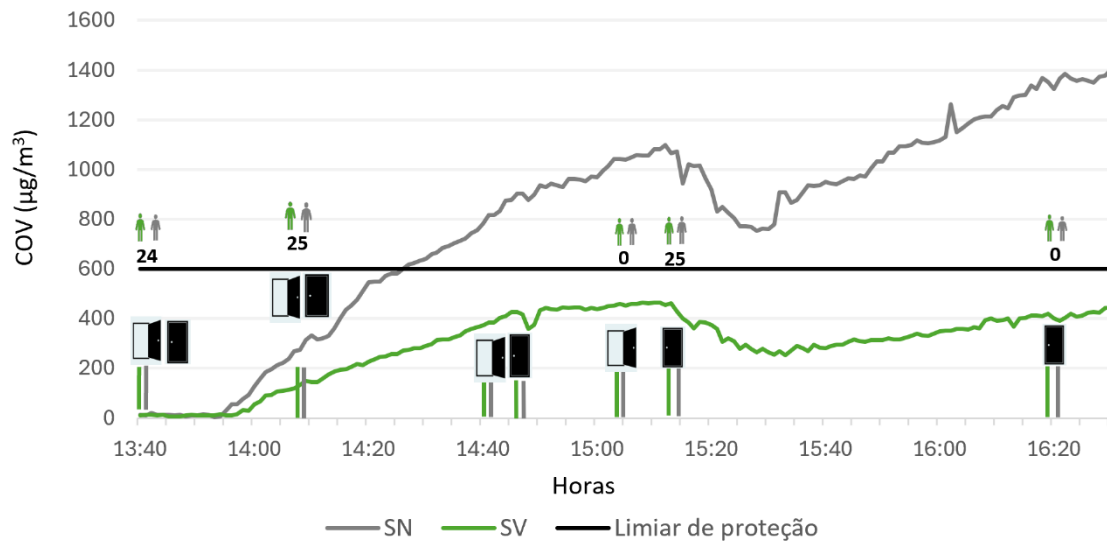


Figura 6-10 - Comparação dos COV entre a SV e a SN

Em relação à concentração dos COV, os valores na SN ultrapassaram os valores limite de proteção. Contrariamente, os valores na SV permaneceram sempre abaixo do limiar de proteção, demonstrando o impacto positivo das plantas na diminuição deste poluente, como é referido no artigo dos autores Radić, et al. (2019).

❖ **PM<sub>2.5</sub>**

Na Figura 6-11, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro das PM<sub>2.5</sub> em ambas as salas.

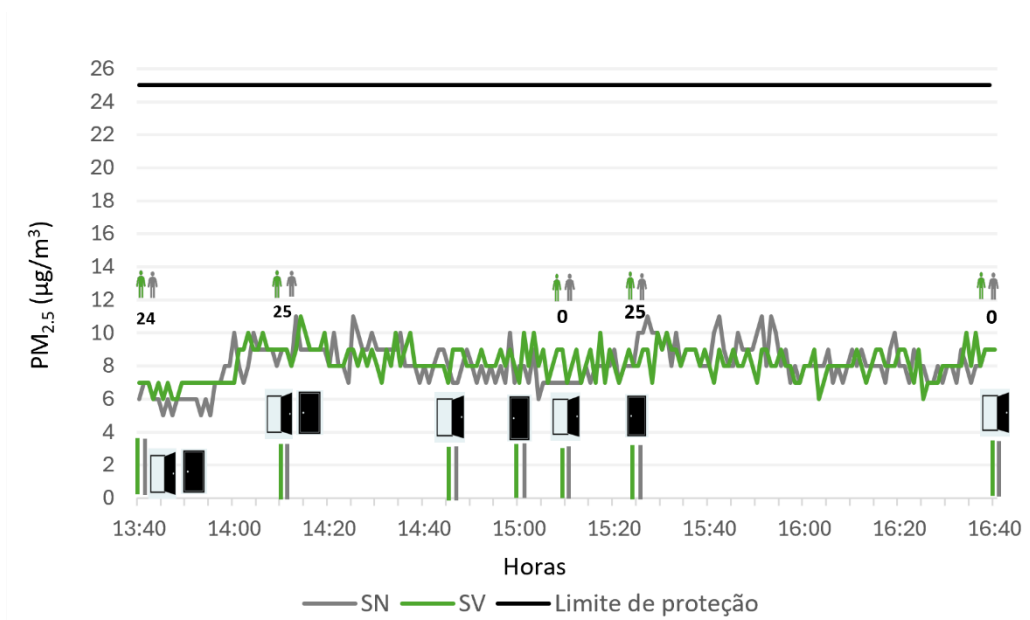


Figura 6-11 - Monitorização PM<sub>2.5</sub> entre a SV e a SN

É possível observar que a concentração das PM<sub>2.5</sub> permaneceram sempre abaixo do limiar de proteção. De maneira geral, verifica-se que os valores em ambas as salas foram sempre muito similares.

Observar-se quando os alunos entraram pela segunda vez na sala, às 15:20 h, um pico nos valores das PM<sub>2.5</sub>, na SN. Após isso, houve um ligeiro decréscimo nos valores e depois um aumento, podendo estar relacionado com a re-suspensão das partículas devido à movimentação dos alunos ou do professor, durante o exame, como é referido por Ruggieri, et al. (2018) ou Goyal & Khare (2010) ou com o fecho da porta, e consequentemente, diminuição de ventilação, como é referido por Šcibor, et al. (2018).

### ❖ PM<sub>10</sub>

Na Figura 6-12, é possível observar os resultados obtidos para o parâmetro das PM<sub>10</sub> em ambas as salas.

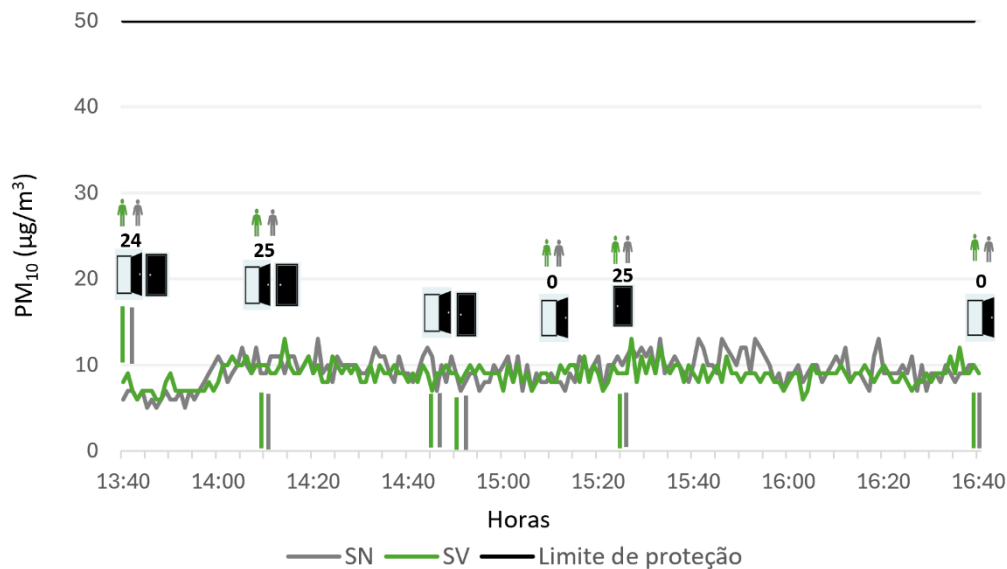


Figura 6-12 - Monitorização PM<sub>10</sub> entre a SV e a SN

Tal como nas PM<sub>2.5</sub>, as PM<sub>10</sub> também permaneceram abaixo do limiar de proteção, e com valores muito similares em ambas as salas. As PM<sub>10</sub> apresentam resultados muito similares as PM<sub>2.5</sub>, verificando-se os mesmos picos de valores das PM<sub>2.5</sub> da SN, que pode estar relacionado com a re-suspensão das partículas devido à movimentação dos alunos ou professor.

## 6.2. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

Como foi referido no Capítulo 5, a monitorização da área das plantas foi realizada através de captura de imagem fotográfica e análise das mesmas, utilizando o software online, *Paint.Net*. Este software permite realizar análise de imagem, para determinar as áreas das plantas (projeção frontal das mesmas) de forma a verificar se as ART influenciavam ou não, o desenvolvimento das mesmas.

Relativamente aos vasos que apresentam mais do que um tipo de plantas (vasos 5, 6, 13, 14 e 15), a determinação das áreas individualmente só foi possível de realizar nos vasos 13,

14 e 15, pois nos vasos 5 e 6, o erro da determinação da área ia ser maior do que nos outros três vasos. Devido à grande massa de plantas e seu entrelaçamento, tornou-se difícil distinguir as duas plantas quando foi feita a análise de imagem e a determinação das suas áreas.

Como é possível verificar ao longos das seguintes figuras, temos duas séries, uma pertencente a planta regada com AP, representada pela cor azul, e a série pertencente à planta regada com ART, representada pela série a verde (com exceção nas Figuras 6-20 e 6-21 em que a série AP direita e a série AP esquerda também representa plantas regadas com AP). Outro ponto a ter em atenção, é a série azul e branca, que representa os primeiros meses de rega com AP (de fevereiro a junho de 2023) das plantas que outrora começaram a ser regadas com ART (de junho de 2023 a fevereiro 2024). Por fim, a linha a laranja representa, exatamente, o momento em que as plantas acima indicadas começaram a ser regadas com ART.

Na Figura 6-13, é observa-se a evolução da espécie *Scindapus aureus* (plantas 1 e 2):

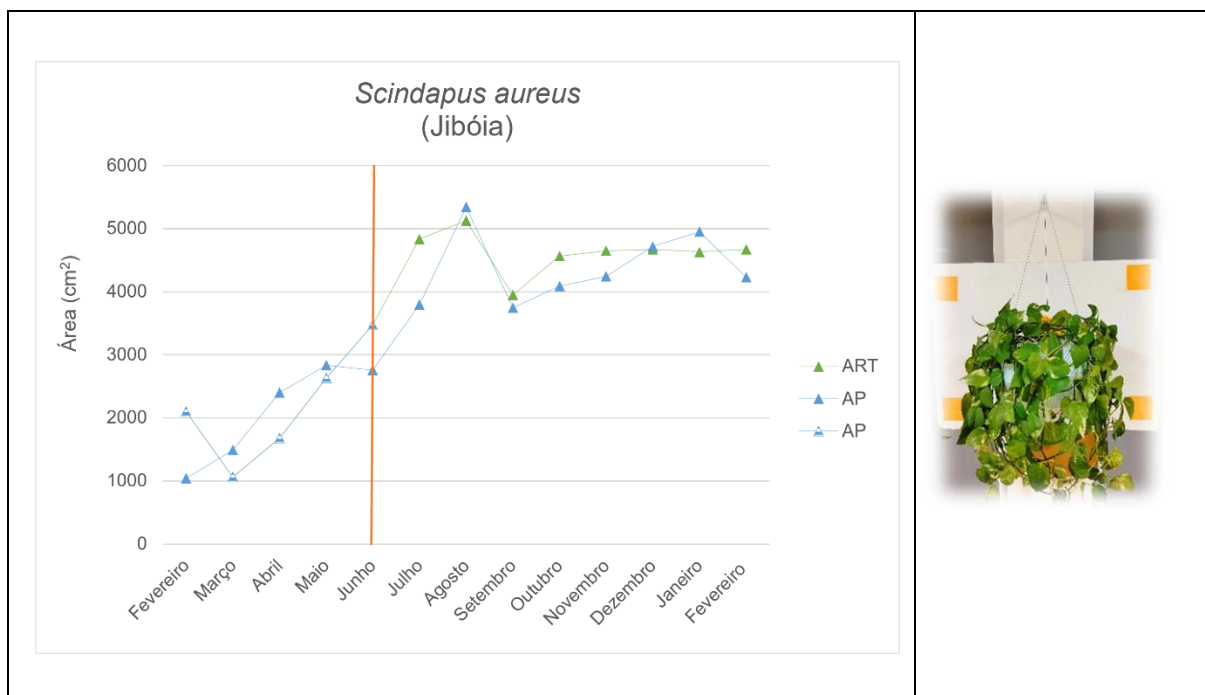


Figura 6-13 - Evolução da área da espécie *Scindapus aureus* ao longo dos meses (Planta 1 e 2)

Relativamente ao desenvolvimento das *Scindapus aureus* (jibóia - no seu nome comum), representadas pelas plantas 1 e 2 da Figura 5-1, é possível verificar que até agosto, ambas as plantas cresceram de maneira idêntica, apesar de em maio, a planta regada com ART ter-se desenvolvido um pouco mais que a planta regada com AP. Em agosto, dado terem ocorrido

temperaturas muito elevadas, e apesar da rega constante das plantas, observou-se alguma seca nas mesmas, fazendo com que a sua área diminuísse relativamente a setembro. Após este episódio, é possível verificar que as plantas recuperaram das altas temperaturas e começaram a desenvolver-se novamente, até finais de fevereiro.

Na Figura 6-14, observar-se a evolução da espécie *Scindapus aureus* (plantas 3 e 4):

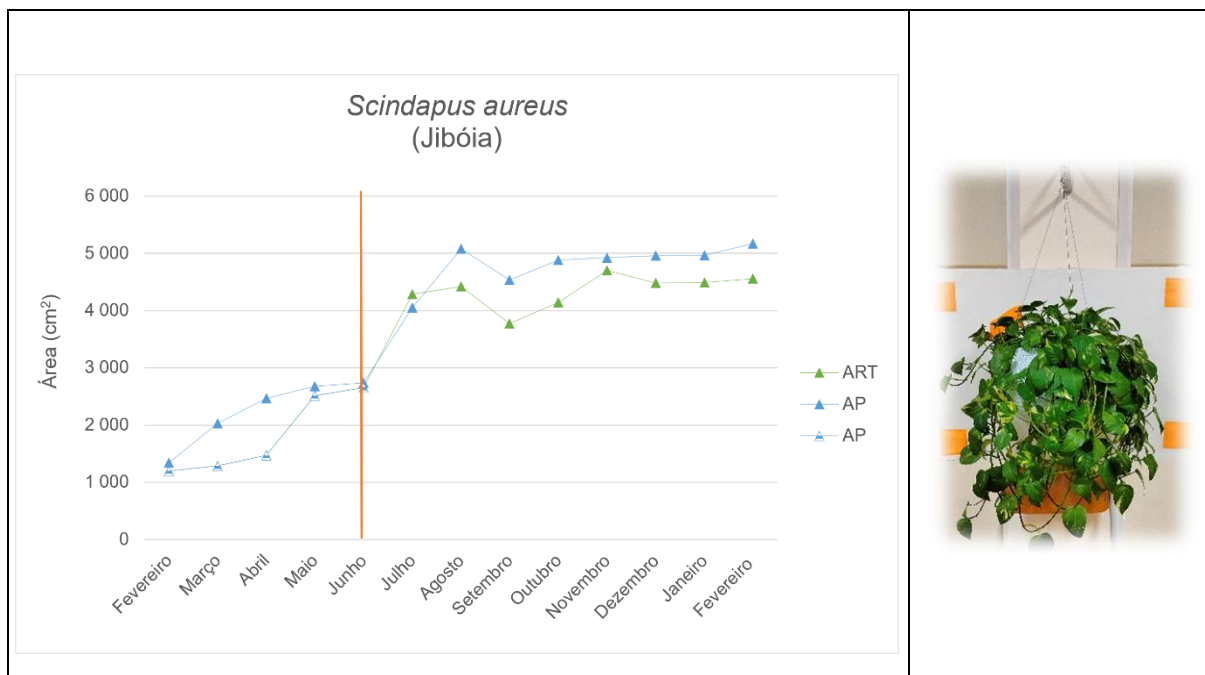


Figura 6-14 - Evolução da área da espécie *Scindapus aureus* aos longo dos meses (Planta 3 e 4)

As *Scindapus aureus*, representadas na Figura 5-1 pela planta 3 e 4, da mesma forma que as *Scindapus aureus* da Figura 6-13, tiveram um crescimento constante até agosto, diminuindo o seu tamanho devido ao calor, voltando a desenvolver-se a partir de setembro.

A diferença entre as plantas da Figura 6-13 e da Figura 6-14 passa pela sua localização da sala, como é possível constatar na Figura 5-1.

Na Figura 6-15, observa-se a evolução das áreas do conjunto das espécies *Dracaena trifasciata* e *Chlorophytum comosum* (plantas 5 e 6):

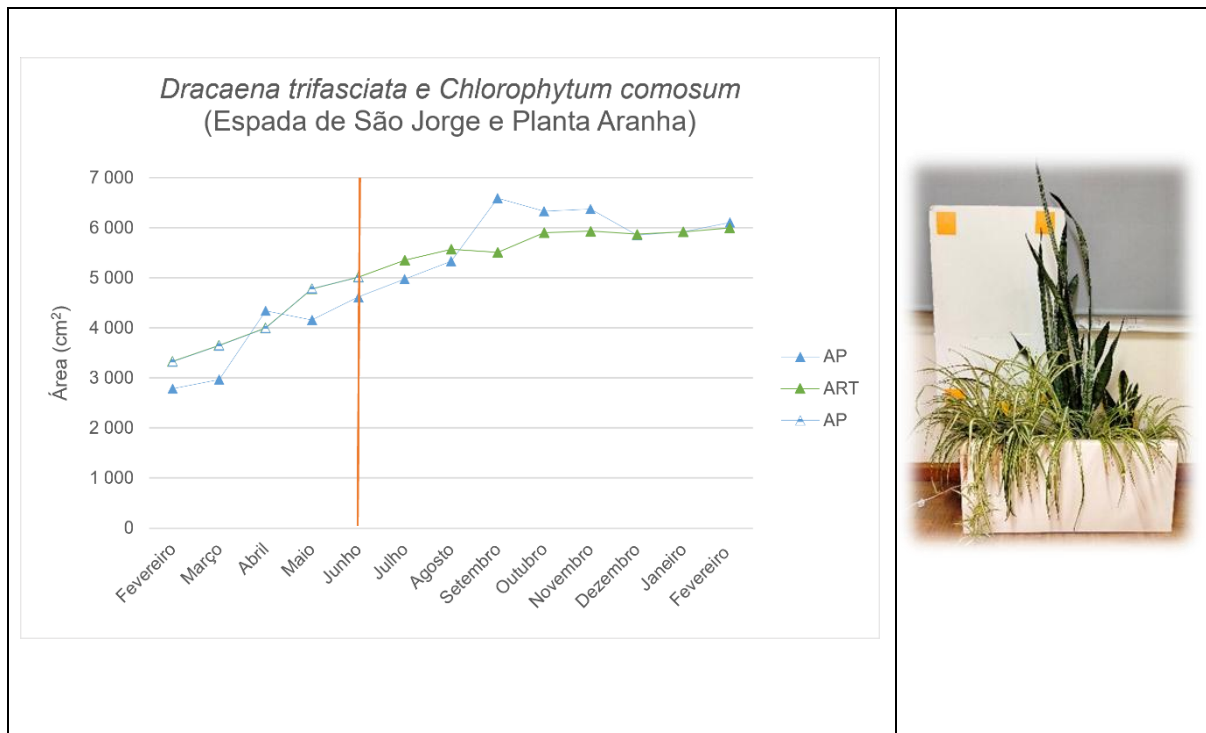


Figura 6-15 - Evolução da área das espécies *Dracaena trifasciata* e *Chlorophytum comosum* ao longo dos meses (vaso 5 e 6)

Relativamente ao conjunto de plantas *Dracaena trifasciata* e *Chlorophytum comosum*, não foi possível monitorizar o crescimento destas plantas em separado devido à densidade da vegetação. É possível verificar um crescimento constante das plantas, sendo que as plantas regadas com AP apresentam alguns picos de crescimento relativamente às plantas regadas com ART. Em contrapartida, a *Chlorophytum comosum* regada com AP, começou a murchar em setembro. Isto originou uma pequena diminuição nos valores da área do vaso regado com AP, enquanto a planta regada com ART foi tendo pequenos valores crescentes de área.

Na Figura 6-16, observa-se a evolução da espécie *Dypsis lutescens* (plantas 7 e 8):

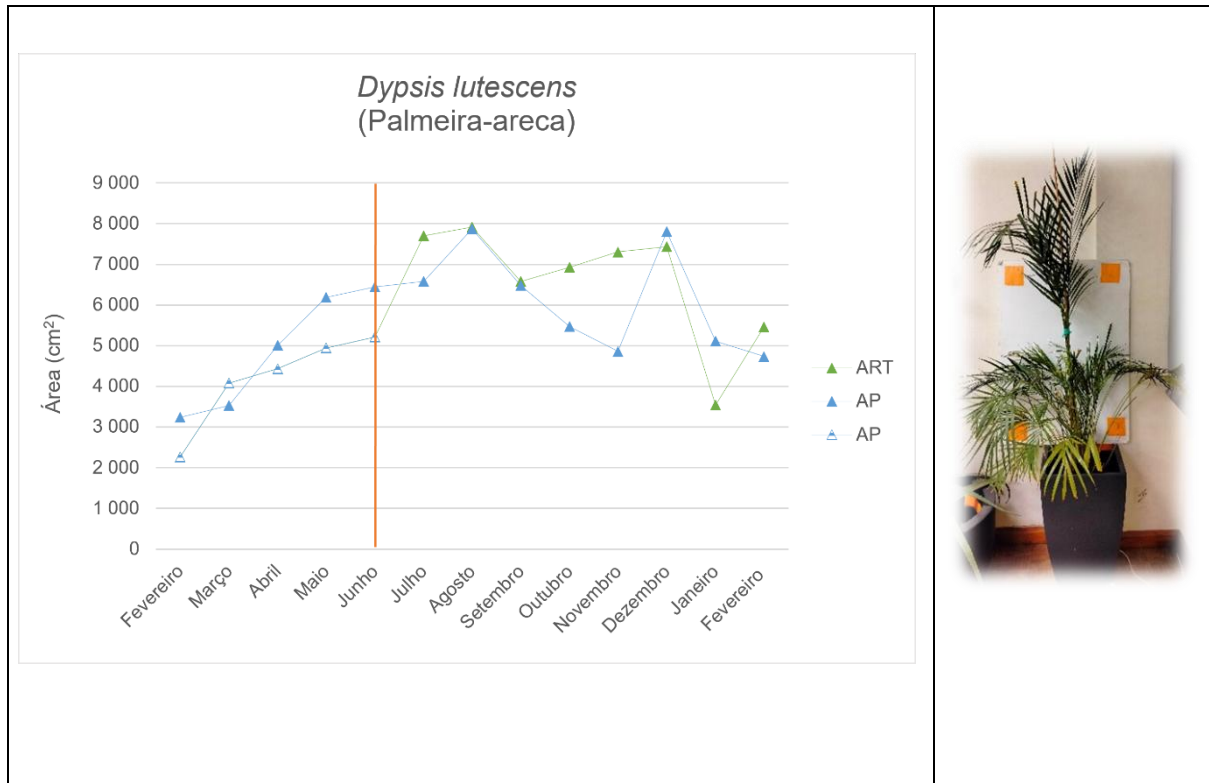


Figura 6-16 - Evolução da área da espécie *Dypsis lutescens* ao longo dos meses (Planta 7 e 8)

A *Dypsis lutescens*, ou palmeira-areca, foi uma planta que teve algumas irregularidades no seu crescimento. Em agosto, tal como se observou com as outras plantas, devido ao calor começou a secar, diminuído assim a sua área, tendo-se eliminado as folhas secas, para que houvesse a possibilidade de novas folhas se desenvolverem.

Relativamente à diminuição da área das plantas em janeiro, deve-se ao facto de os caules das plantas terem sido “atados” a um tutor de suporte (devido a estarem muito abertas e ocuparem muito espaço na sala), o que fez com que as folhas ficassem mais juntas umas das outras e, portanto, não houvesse tanta abertura das mesmas.

Na Figura 6-17, observa-se a evolução da espécie *Aloe Vera* (plantas 9 e 10):

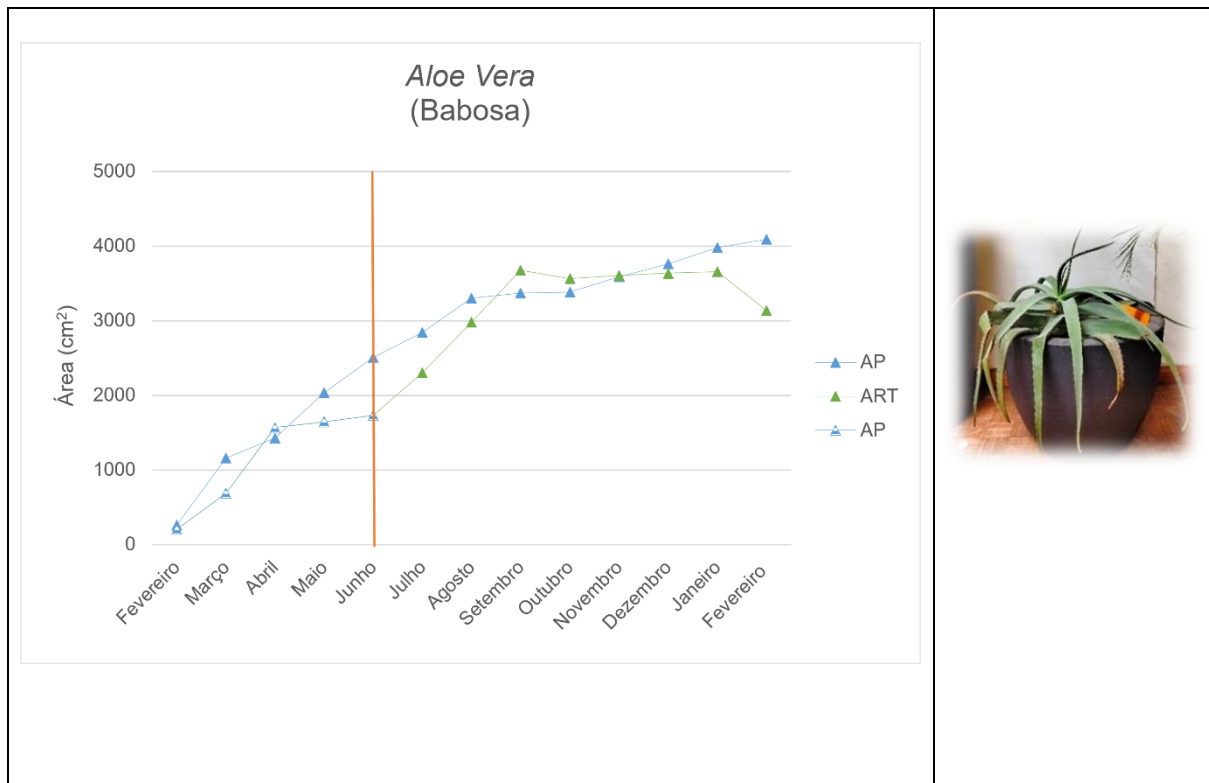
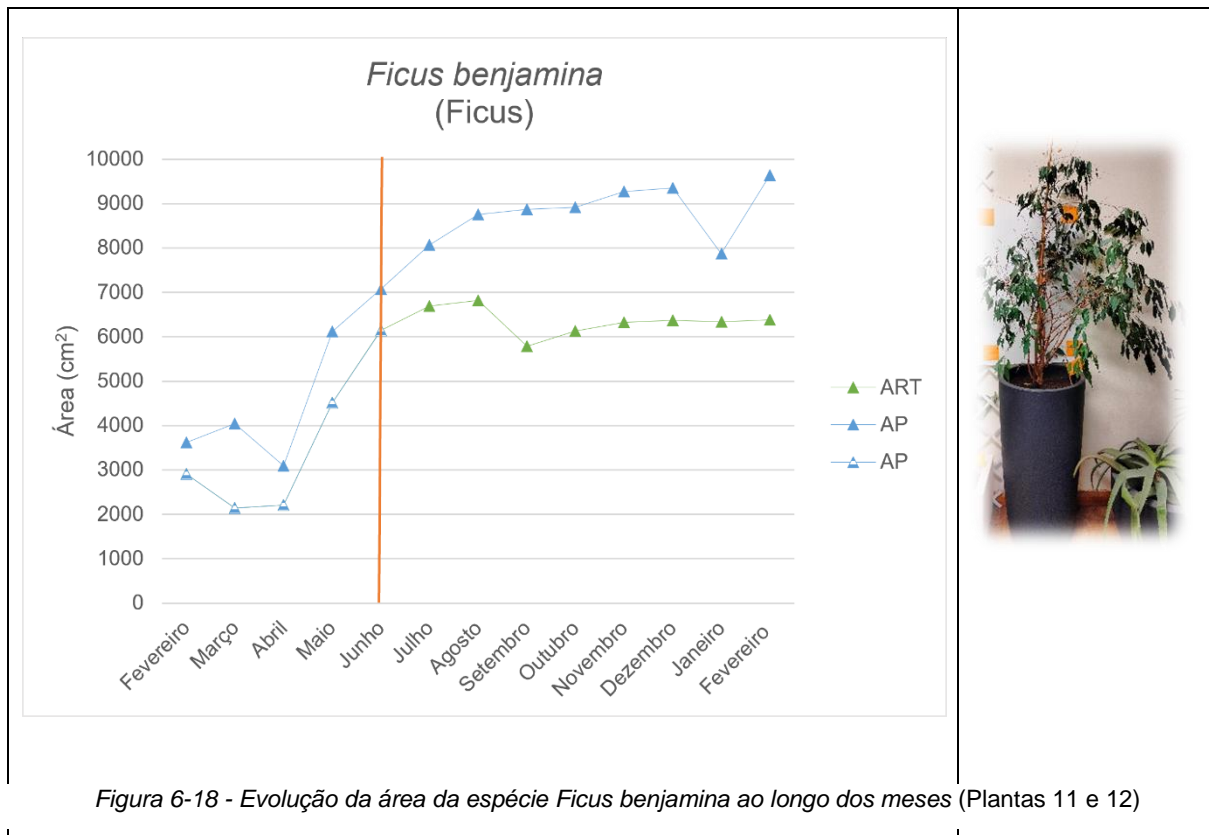


Figura 6-17 - Evolução da área da espécie *Aloe Vera* ao longo dos meses (Plantas 9 e 10)

Relativamente às *Aloe Vera*, ambas apresentaram um crescimento constante, sendo que em fevereiro a *Aloe Vera* regada com ART teve uma pequena diminuição na sua área. Verificou-se o apodrecimento de uma das folhas podendo ser a razão da diminuição da área. Estas duas plantas sofreram um abatimento de terra, podendo também ter influenciado a área das mesmas.

Apesar disso, verificou-se que, com AP, a planta teve um crescimento mais gradual quando comparado com a planta regada com ART.

Na Figura 6-18, observa-se a evolução da espécie *Ficus benjamina* (plantas 11 e 12):



Na *Ficus benjamina*, verifica-se uma diferença significativa na área de cada uma das plantas. Isto pode estar relacionado com a queda excessiva de folhas da planta regada com ART, relativamente à planta regada com AP. Esta queda pode estar associada à exposição solar, uma vez que a planta regada com ART tinha maior exposição solar do que a planta regada com AP. As diferenças também poderiam estar associadas ao tipo de água, mas uma vez que esta esteve em constante crescimento, a hipótese mais plausível para a diferença de valores deverá estar relacionada com o calor a que uma das plantas esteve mais exposta.

Relativamente aos vasos 13, 14 e 15, estes possuíam duas espécies diferentes, a *Scindapsus aureus* e a *Chlorophytum comosum*, como é possível observar na Figura 6-19. Ao contrário dos outros vasos possuidores de duas espécies de plantas, apenas nestes foi possível monitorizar o crescimento das duas plantas em separado, devido a uma menor densidade de vegetação. Os vasos representados na Figura 6-19, tiveram regas distintas, sendo que os vasos 13 e 15 foram regados com AP e o vaso 14 foi regado com ART.

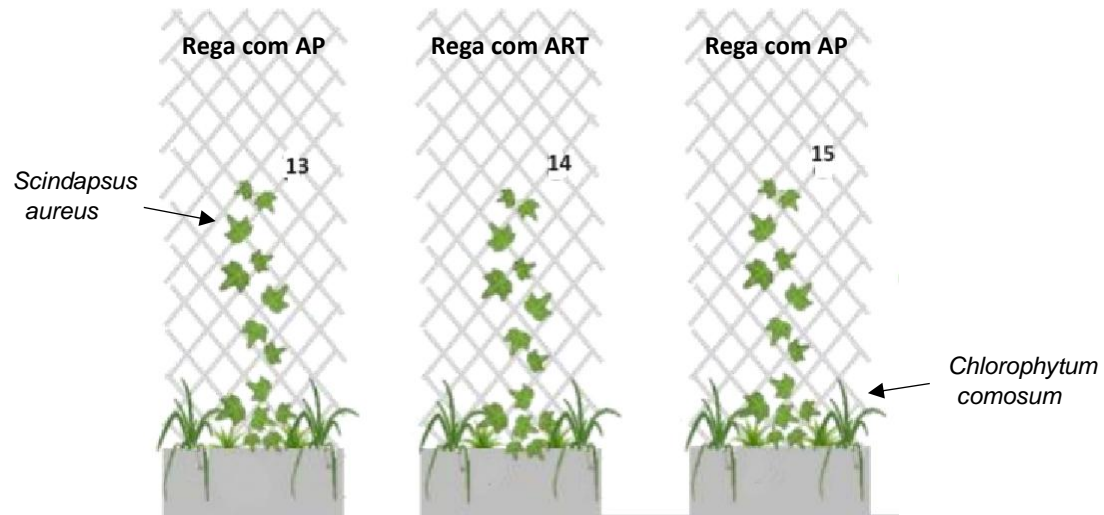


Figura 6-19 - Representação dos vasos 13, 14 e 15 com as duas espécies de plantas: *Scindapsus aureus* e *Chlorophytum comosum* (adaptado de Miranda T. C., 2022)

Na Figura 6-20 observa-se a evolução da espécie *Scindapsus aureus* (vasos 13, 14 e 15):

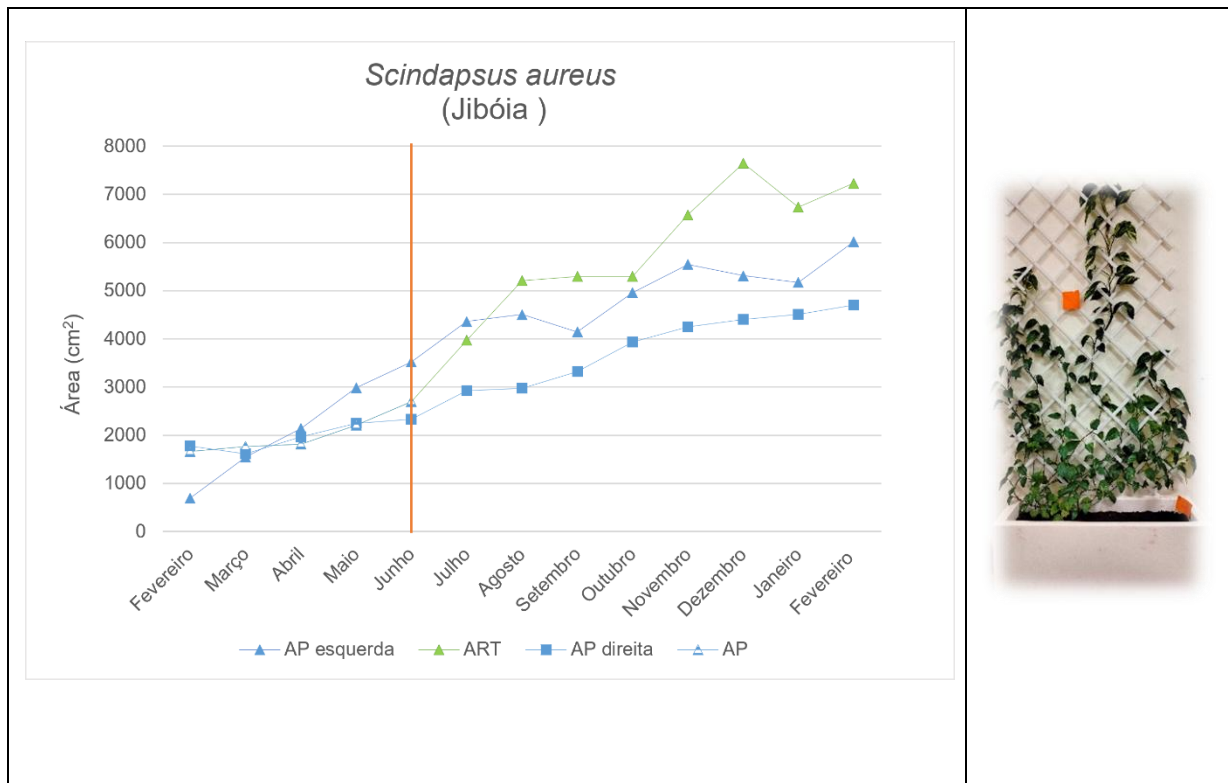


Figura 6-20 - Evolução da espécie *Scindapsus aureus* ao longo dos meses (vasos 13, 14 e 15)

Na Figura 6-20 apresentam-se 3 comparações de plantas da mesma espécie, duas regadas com AP e uma regada com ART, sendo que uma das plantas regada com AP (série AP direita) está um pouco mais próxima das janelas que a outra planta regada com AP (série AP esquerda) e, portanto, poderá ter tido um pouco mais de exposição solar que a outra. Apesar da série AP direita (com maior exposição solar) apresentar valores inferiores de área, esta foi tendo um crescimento gradual, enquanto a série AP esquerda (com menor exposição solar), teve alguns decréscimos, mais concretamente em agosto e a partir de novembro.

Ainda assim, a partir de junho é possível verificar que a planta regada com ART, começou a ter um crescimento superior às plantas regadas com AP, mesmo sendo afetada pelo calor intenso que afetou todas as plantas.

Na Figura 6-21, observa-se a evolução da espécie *Chlorophytum comosum* (vasos 13, 14 e 15):

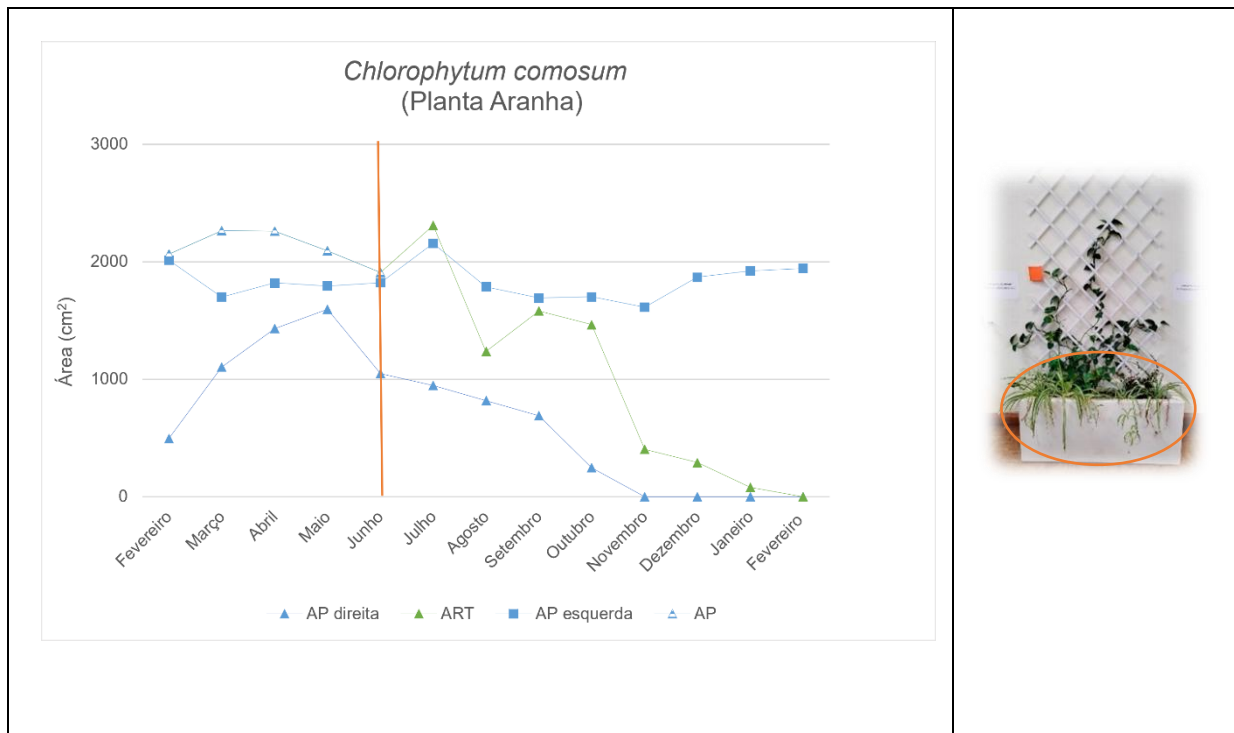


Figura 6-21 - Evolução da espécie *Chlorophytum comosum* ao longo dos meses (vasos 13, 14 e 15)

Por fim, relativamente *Chlorophytum comosum*, presente nos vasos 13, 14, 15 (circundado a laranja na foto), da mesma forma que na situação anterior, a planta da série AP esquerda tem menor exposição solar do que a planta da série AP direita, plantas regadas com AP.

Desde início que estas plantas não apresentam um crescimento constante. Foi verificado ao longo do ano de rega, que estas plantas apresentavam sinais de não estarem a reagir bem ao ambiente. Começaram a apresentar sinais de apodrecimento, começando pelas folhas e mais tarde, pela própria raiz. Quanto à planta da série AP esquerda, esta foi a primeira planta a apresentar sinais de decaimento, mais concretamente, a partir de maio, deixando de existir na totalidade no mês de novembro. Depois, a planta regada com ART (série a verde), começou a decair em agosto, podendo estar relacionado com o excesso de calor sentido nesse mês, deixando de existir a partir do mês de fevereiro de 2024. Relativamente à série AP direita, a razão para a qual esta não apresentou os mesmos resultados que as outras séries, poderá estar relacionada com o facto desta planta estar mais próxima das janelas, e, portanto, ter maior exposição solar.



## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 7.1. CONCLUSÕES

Com o presente estudo analisou-se o impacto que uma estrutura verde natural (EVN), inicialmente regada com Água Potável (AP) e posteriormente parte com Água Residual Tratada (ART), teve na qualidade do ar do interior de uma sala do Edifício G do Campus do Instituto superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), monitorizando diversos poluentes do ar interiores e ao mesmo tempo, verificando o desenvolvimento das plantas consoante o tipo de rega.

Este estudo foi dividido em duas fases, “Antes da rega com ART” e “Após rega com ART”. Uma sala apresentava a EVN, que foi designada de Sala Verde (SV), e a outra sala (uma sala normal sem qualquer planta) foi designada de Sala Neutra (SN). Em ambas foram medidos diversos parâmetros, tais como: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), temperatura (T), humidade (H), material particulado de diâmetro inferior a  $2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) e de diâmetro  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) e compostos orgânicos voláteis (COV). Foi ainda medida a área das plantas ao longo do ano de modo a verificar se a ART favorecia o crescimento das plantas.

Na primeira fase do estudo, as plantas foram regadas apenas com AP. Foi realizada a monitorização aos parâmetros de QAI anteriormente referidos e comparados com os limiares de proteção presentes na Portaria n.º 138-G/2021. Verificou-se apenas um incumprimento, na SV, que foi do parâmetro COV. Este incumprimento pode estar relacionado com os produtos de limpeza com cheiro aplicados no chão, mesas e quadro antes da monitorização, uma vez que a limpeza foi realizada apenas na SV e não foi feita na SN. Pelo Decreto-Lei n.º 243/86 de 1986, a temperatura apresentou valores ligeiramente mais altos do que é aconselhado. Mas dado que esta monitorização foi realizada em pleno verão, pode-se considerar uma exceção. Quanto à humidade relativa, esta apresentou valores médios dentro dos valores aconselhados pelo decreto supra mencionado. Relativamente aos outros parâmetros,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  e  $\text{PM}_{10}$ , estes apresentaram valores abaixo do limiar de proteção, podendo considerar-se que, de maneira geral, a QAI dentro das salas de aula era aceitável.

Na segunda fase do estudo, as plantas foram divididas. Metade das plantas foram regadas com AP e a outra metade com ART. Relativamente a QAI, verificaram-se dois incumprimentos: do  $\text{CO}_2$  em ambas as salas e dos COV na SN. Apesar de ultrapassar os limites de proteção, verificou-se que os valores eram superiores na SN, comprovando como a presença das plantas têm um efeito positivo na QA. Quanto aos COV, uma vez que os

valores ultrapassaram o limiar de proteção apenas na SV, é possível afirmar, mais uma vez, o efeito positivo das plantas na QA.

De um modo geral, tanto na primeira fase como na segunda fase, da monitorização da QAI, é possível verificar, pelos dados obtidos, que a ventilação é um fator muito importante na renovação do ar, influenciando assim, na diminuição dos poluentes estudados.

Relativamente ao desenvolvimento das plantas utilizando os dois tipos de rega, verificou-se que, apesar da ART conter mais nutrientes que a AP, esta não influenciou no crescimento das plantas em grande escala. Ao se utilizar a ART em vez da AP, ainda se conseguiu poupar cerca de 45,9% de AP.

Com isto consegue-se tirar a conclusão de que, numa altura em que cada vez mais estamos propensos a secas cada vez mais extremas e frequentes, a utilização da ART em vez da AP não só será uma boa alternativa, como também contribui para a diminuição do consumo de AP neste tipo de utilizações.

## **7.2. TRABALHOS FUTUROS**

Foi possível verificar a existência de vários fatores que influenciaram este estudo, pelo que seria interessante o prolongar e desenvolver o mesmo de forma a obter mais dados, e consequentemente, retirar conclusões mais assertivas, nomeadamente:

- Estudar a exposição solar das plantas, o arejamento da sala, e diversas condições de monitorização da QAI;
- Estudar a relação entre a QAI e as plantas regadas com apenas água residual tratada, e se esta tem influência ou não na QAI.
- Aumentar o número de parâmetros medidos, como por exemplo, os parâmetros microbiológicos.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbatt, J. P., & Wang, C. (Outubro de 2020). The atmospheric chemistry of indoor environment. doi:10.1039/c9em00386j

Abreu, C. F. (2010). *O Ambiente Interior e a Saúde dos ocupantes de Edifícios de Habitação - Estudo de caso em Covilhã, Portugal*. Obtido em 2023, de <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/3579>

AEA. (2013). O ar que respiramos: melhorar a qualidade do ar na Europa. Obtido em Junho de 2023, de <https://www.eea.europa.eu/pt/publications/sinais-2013-o-ar-que-respiramos#:~:text=Melhorar%20a%20qualidade%20do%20ar%20na%20Europa%3A%20A,estes%20afetam%20a%20nossa%20sa%C3%BAde%20e%20o%20ambiente.>

Águas de Portugal. (2015). Economia Circular. Obtido em 2024, de <https://www.adp.pt/pt/sustentabilidade/boas-praticas/economia-circular/?id=238>

Almeida, C. F. (Maio de 2018). *ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA DA APLICAÇÃO DE COBERTURAS E FACHADAS VERDES EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS: O CASO DE ESTUDO DAS ESCOLAS PRIMÁRIAS*. Obtido em Julho de 2023, de [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090416147/Dissertacao%20Mestrado%20Catarina%20Almeida%20\(MEC%2073670\)%20-%20VERSAO%20FINAL.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090416147/Dissertacao%20Mestrado%20Catarina%20Almeida%20(MEC%2073670)%20-%20VERSAO%20FINAL.pdf)

Alves, C. (2013). *UA revela que qualidade do ar das salas de aula do 1º ciclo prejudica as crianças*. Obtido de <https://www.ua.pt/pt/noticias/0/35844>

APA. (Maio de 2010). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico*. (A. P. Ambiente, Editor) Obtido em 2022, de [https://webstorage.cienciaviva.pt/public/pt.cienciaviva.www/divulgacao/Manual\\_QAI\\_APA\\_Maio2010.pdf](https://webstorage.cienciaviva.pt/public/pt.cienciaviva.www/divulgacao/Manual_QAI_APA_Maio2010.pdf)

APA. (2012). Obtido de [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_SNIAMB\\_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PlanosGestaoSecaEscassez/PNUEA/PNUEA\\_2020\\_Jun2012.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_Agua/DRH/PlaneamentoOrdenamento/PlanosGestaoSecaEscassez/PNUEA/PNUEA_2020_Jun2012.pdf)

APA. (2021). Obtido em 2024, de <https://apambiente.pt/desafios>

- APA. (2021). Água para Reutilização (ApR). Obtido de <https://apambiente.pt/agua/agua-para-reutilizacao-apr>
- APA. (2021). *Objetivos da qualidade do ar*. Obtido em Maio de 2023, de <https://www.apambiente.pt/ar-e-ruído/objetivos-de-qualidade-do-ar#:~:text=Limite%20de%20concentra%C3%A7%C3%A3o%20de%20exposi%C3%A7%C3%A3o%20n%C3%ADvel%20de,de%20reduzir%20os%20efeitos%20nocivos%20na%20sa%C3%BAde%20humana>
- APA. (Outubro de 2024). Relatório do Estado do Ambiente 2024. Obtido de [https://rea.apambiente.pt/sites/default/files/rea/REA\\_2024\\_Final\\_22\\_out\\_2024.pdf](https://rea.apambiente.pt/sites/default/files/rea/REA_2024_Final_22_out_2024.pdf)
- Areosa, I., Martins, T. A., Lourinho, R., Batista, M., Brito, A. G., & Amaral, L. (2024). *Treated wastewater reuse for irrigation: A feasibility study in Portugal*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176698>
- ASHRAE. (1989). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Obtido em 2023, de [https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE\\_PREVIEW\\_ONLY\\_STANDARDS/STD\\_62\\_1989](https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_62_1989)
- ASHRAE. (1 de Julho de 2020). *ASHRAE Position Document on Indoor Air Quality*. Obtido em 2023
- Azevedo, E. -F. (2018). Quanto tempo os alunos passam na escola? *EDULOG - Fundação Belmiro de Azevedo*. Obtido em 2023, de <https://www.edulog.pt/artigos/em-analise/quanto-tempo-os-alunos-passam-na-escola>
- Bakhshoodeh, R., Ocampo, C., & Oldham, C. (25 de Março de 2021). Thermal performance of green façades: Review and analysis of published data. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111744>
- Barbosa, M. C., & Fontes, M. S. (Junho de 2016). *VERTICAL GARDENS: MODELS AND TECHNIQUES*. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v7i2.8646304>
- Barreto, A. M. (Outubro de 2019). *Fachadas vivas: vantagens e exemplos*. Obtido em Julho de 2023, de Greentopia: <http://greentopia.com.br/fachadas-vivas-vantagens-exemplos/>
- Biotecture. (2023). *Benefícios das paredes internas vivas*. Obtido em Julho de 2023, de <https://www.biotecture.uk.com/benefits-of-green-walls/benefits-of-interior-living-walls/>
- Briggs, D. (Dezembro de 2003). *Environmental Pollution and the global burden of disease*. Obtido em 2023, de British Medical Bulletin: <https://academic.oup.com/bmb/article/68/1/1/421204>

- Božić, J., Ilić, P., & Ilić, S. (05 de Setembro de 2019). *Indoor Air Quality in the Hospital: The Influence of Heating, Ventilating and Conditioning Systems*. Obtido em 2023, de <https://www.scielo.br/j/babt/a/xbbxT49BNcVcDrxMmtKfrzx/?lang=en>
- Building, H. (02 de Outubro de 2015). *Síndrome do Edifício Doente e Doença Relacionada à Construção*. Obtido em 2023, de Healthy Building Science: <https://healthybuildingscience.com/2015/10/02/sick-building-syndrome-and-building-related-illness/>
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., & Beecham, S. (Dezembro de 2018). *Vertical greenery systems: A systematic review of research trends*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045>
- Chauhan, S., Manisha, Bhargava, B., Kandpal, K. C., & Kumar, A. (14 de Fevereiro de 2022). Analyzing Preferred Indoor Ornamental Potted Plants for Their Air Pollution Tolerance Ability. doi: 10.15244/pjoes/140291
- Coentro, S. R. (Setembro de 2015). Qualidade do Ar Interior em habitações: Fontes emissoras de poluentes. Obtido em Abril de 2023, de [https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro\\_2015.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro_2015.pdf)
- Daisey, J. M., Angell, W. J., & Apte, M. G. (28 de Fevereiro de 2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. doi: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x>
- Dapper, S. N., Spohr, C., & Zanini, R. R. (2016). *Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo*. doi:<https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>
- Decreto-Lei n.º 119/2019. (s.d.). Obtido em 2024, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/119-2019-124097549>
- Decreto-Lei n.º 152/97 do Ministério do Ambiente. (19 de Junho de 1997). Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-1997-365343>
- Decreto-Lei n.º 243/86 do Ministério do Trabalho e da Segurança Social. (1986). Obtido em Junho de 2024, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/243-1986-219080>
- Decreto-Lei n.º 38382, de 7 de agosto. (1951). Obtido em 2024, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/38382-1951-289214>

Decreto-Lei n.º 79/2006 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (4 de Abril de 2006). Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/79-2006-672459>

Despacho n.º 1618/2022 da Direção-Geral da Saúde e Direção-Geral de Energia e Geologia. (2022). Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/1618-2022-178882450>

Dutton, S., & Shao, L. (Agosto de 2010). WINDOW OPENING BEHAVIOUR IN A NATURALLY VENTILATED SCHOOL. Obtido em 2024, de [https://publications.ibpsa.org/proceedings/simbuild/2010/papers/simbuild2010\\_TS05B-02-Dutton.pdf](https://publications.ibpsa.org/proceedings/simbuild/2010/papers/simbuild2010_TS05B-02-Dutton.pdf)

Ecotelhado. (2023). *Jardim Vertical*. Obtido em Julho de 2023, de <https://ecotelhado.com/sistema/jardim-vertical/>

Edwards, J. H., Harbord, P., Skidmore, J. W., Mullins, J., B. H. Davies, A. S., & Cotes, J. E. (Dezembro de 1977). *Humidifier fever*. Obtido em 2023, de National Library of Medicine: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC470808/>

Ellen MacArthur Foundation. (s.d.). Obtido em Setembro de 2024, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt?sortBy=rel>

EPA. (29 de Março de 2023). Obtido de <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/inside-story-guide-indoor-air-quality>

EPA. (4 de Janeiro de 2023). *How much ventilation do I need in my home to improve indoor air quality*. Obtido em Abril de 2023, de <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/how-much-ventilation-do-i-need-my-home-improve-indoor-air-quality#:~:text=ASHRAE%20%28formerly%20called%20the%20American%20Society%20of%20Heating%2C,human%20occupants%20and%20that%20minimizes%20adverse%20health%20>

ERSAR. (2022). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP)*. Obtido em 2024, de <https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros#k=#l=2070>

ERSAR. (2023). Obtido em 2023, de <https://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>

EUROPE, S. (07 de Junho de 2020). Report on SWOT and PEST analyses for implementation of reuse practices . Obtido em 2024, de [https://suwanu-europe.eu/wp-content/uploads/2020/06/SUWANU-EU\\_D2.1\\_Report-on-SWOT-and-PEST-analyses-for-implementation-of-reuse-practices.pdf](https://suwanu-europe.eu/wp-content/uploads/2020/06/SUWANU-EU_D2.1_Report-on-SWOT-and-PEST-analyses-for-implementation-of-reuse-practices.pdf)

- Faria, T., Martins, V., Canha, N., Diapouli, E., Masousakas, M., Fetfatiz, P., . . . Almeida, S. M. (Fevereiro de 2022). Assessment of children's exposure to carbonaceous matter and to PM major and trace elements. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.151021
- Fernandes, S. S. (Dezembro de 2020). Reutilização de água residual tratada e de nutrientes - aplicação a caso de estudo da ETAR de Valdeão. Obtido em 2024, de [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043838473/Dissertacao\\_SusanaFernandes.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043838473/Dissertacao_SusanaFernandes.pdf)
- Ferreira, A. M. (Julho de 2014). *Qualidade do ar interior em escolas e saúde das crianças*. Obtido em 2023, de <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/26262/1/Tese%20Corrigidacapa.pdf>
- Ferreira, A. M., & Cardoso, S. M. (Dezembro de 2013). doi:<https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004810>
- Ferreira, A. M., & Cardoso, S. M. (3 de Março de 2013). Estudo exploratório da qualidade do ar em escolas de educação básica, Coimbra, Portugal. doi:10.1590/S0034-8910.2013047004810
- Ferreira, A. S. (2022). SISTEMAS HÍBRIDOS DESCENTRALIZADOS DE ÁGUAS PLUVIAIS E CINZENTAS: OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/142580/2/571391.pdf>
- Ferreira, L. (2020). A qualidade do ar como um determinante ambiental da saúde dos indivíduos e das populações: um estudo sobre a aplicação do ensino baseado em casos. Obtido em 2023, de <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/132177>
- Ferreira, P. A. (Dezembro de 2006). Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios: Análise Energética Resultante da Implementação de Sistemas de ventilação Inovativos. Obtido em Abril de 2023, de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11532/2/Texto%20integral.pdf>
- Ghaffarianhoseini, A., Alwaer, H., Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Alalouch, C., Clements-Croome, D. J., & Tookey, J. (Maio de 2018). *Síndrome do edifício doente: estamos fazendo o suficiente?* doi:10.1080/00038628.2018.1461060
- Ginja, J., Borrego, C., Coutinho, M., Nunes, C., & Morais-Almeida, M. (2012). *Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas, CINCOS'12 - Congresso de Inovação na Construção Sustentável*. Obtido de <https://api-portal.ua.pt/api/v1/file/30885>
- Gonçalves, D. P. (Setembro de 2020). *Definição de Metodologias para avaliação do comportamento de fachadas verdes: aplicação a um sistema modular*. Obtido em Julho de 2023, de <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/106244>

- Gonçalves, J. M. (24 de Fevereiro de 2011). *Principais aspectos da avaliação de rega por sulcos*. Obtido em Agosto de 2023, de <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSOTj9zK21A8TNIBHx6SFTJf8qjTBYKCoCCqyNLSVh-jocLID5D65rWL5JWVK4r9507eYo&usqp=CAU>
- González, M. I., & Rubalcaba, S. C. (Janeiro - Março de 2011). Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. *Revista Cubana de Salud Pública*, 37(1). Obtido em 2023
- Gouws, S., & Gouws, M. (4 de Agosto de 2022). *Thermally regulated green living wall*. doi:<http://dx.doi.org/10.17159/0379-4350/2021/v76a13>
- Goyal, R., & Khare, M. (2010). Indoor air quality modeling for PM10, PM2.5, and PM1.0 in naturally ventilated classrooms of an urban Indian school building. doi:10.1007/s10661-010-1600-7
- Han, K.-T., & Ruan, L.-W. (27 de Junho de 2019). Effects of indoor plants on air quality: a systematic review. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08174-9>
- Huerto, P. (6 de Maio de 2021). *Como escolher o melhor sistema de rega?* Obtido em Agosto de 2023, de [https://www.planetahuerto.pt/revista/como-escolher-o-melhor-sistema-de-rega\\_00622](https://www.planetahuerto.pt/revista/como-escolher-o-melhor-sistema-de-rega_00622)
- Hustia, A., Cantora, M., Stefanb, R., Micleanc, M., Romanc, M., Neacsua, I., . . . Baia, M. (2016). Assessing the Indoor Pollutants Effect on Ornamental Plants Leaves by FT-IR Spectroscopy. 129. doi:10.12693/APhysPolA.129.142
- Irga, P., Torpy, F. R., & Pettit, T. (Junho de 2018). *The phytoremediation of indoor air pollution: a review on the technology development from the potted plant through to functional green wall biofilters*. doi:10.1007/s11157-018-9465-2
- IST. (s.d.). *Rega por sulcos*. Obtido em Agosto de 2023, de <https://fenix.isa.ulisboa.pt/qubEdu/conteudos-publicos/ficheiros?oid=3972844790426>
- IWOFR. (28 de Fevereiro de 2021). *ASHRAE Alterações de Ar Recomendadas por Hora*. Obtido em Abril de 2023, de <https://iwofr.org/ashrae-altera%C3%A7%C3%B5es-de-ar-recomendadas-por-hora/>
- Jardiland. (31 de Maio de 2022). *Como escolher o seu sistema de rega gota-a-gota?* Obtido em Agosto de 2023, de Jardiland: <https://www.jardiland.pt/conselhos/como-escolher-o-seu-sistema-de-rega-gota-a-gota/>
- Laborsegur. (2020). *Sistemas de Ventilação e Ar Condicionado*. Obtido de <https://laborsegur.com/2020/05/20/ventilacao-e-ar-condicionado/>

- Lee, J. (Junho de 2021). *Pneumonite por hipersensibilidade*. Obtido em 2023, de Manual MSD: <https://www.msmanuals.com/pt-pt/casa/dist%C3%BArbios-pulmonares-e-das-vias-respirat%C3%B3rias/doen%C3%A7as-pulmonares-intersticiais/pneumonite-por-hipersensibilidade>
- Loureiro, A. J. (Fevereiro de 2015). *Qualidade do Ar Interior em Lares de Idosos e a Exposição Ocupacional aos Poluentes Atmosféricos*. Obtido em 2023, de <https://docplayer.com.br/45731954-Qualidade-do-ar-interior-em-lares-de-e-a-exposicao-ocupacional-aos-poluentes-atmosfericos-professora-doutora-ana-ferreira.html>
- MAGOS. (2023). *condução de Água*. Obtido em Agosto de 2023, de MAGOS Irrigation Systems: <https://www.magos.pt/pt/produtos/conducao-de-agua>
- Mainali, B., Ngo, H., Guo, W., Pham, T., Wang, X., & Johnston, A. (Agosto de 2011). SWOT analysis to assist identification of the critical factors for the successful implementation of water reuse schemes. 32, pp. 297-306. doi:<https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2714>
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (Julho de 2015). Thermal analysis of a new modular system for green walls. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.03.006>
- Manso, M., & Catro-Gomes, J. (30 de Janeiro de 2015). *Green wall systems: A review of their characteristics*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Marcos do Monte, H., & Albuquerque, A. (Janeiro de 2010). *Série Guias Técnicos: Reutilização de Águas Residuais*. Obtido em Junho de 2023, de [https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/1144/1/Guia\\_Tecnico\\_Reutilizacao-1.pdf](https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/1144/1/Guia_Tecnico_Reutilizacao-1.pdf)
- May, S. (2009). *Caracterização, Tratamento e Reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações*. doi:<https://doi.org/10.11606/T.3.2009.tde-17082009-082126>
- Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Farm Irrigation System Evaluation: A guide for Management*. Obtido em Agosto de 2023, de [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PBAAH570](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PBAAH570)
- Mesa-Pérez, E., & Berbel, J. (17 de Agosto de 2020). *Analysis of Barriers and Opportunities for Reclaimed Wastewater Use for Agriculture in Europe*. doi:<https://doi.org/10.3390/w12082308>
- Miranda, P. A. (2018). *Reaproveitamento das Águas Cinzentas*. Obtido em 2024, de <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/84919/1/Dissertação%20de%20Mestrado%20Pa%20ulo%20Miranda%20Reaproveitamento%20das%20Águas%20Cinzentas%20para%20Impressã%20v10p0.pdf>

- Miranda, T. C. (Outubro de 2022). Qualidade do ar interior e bem-estar: o impacte de uma estrutura verde natural numa sala de aula. Obtido em 2023, de <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/16988>
- Monteiro, L., Pissarra, P., & Mendes, m. P. (25-29 de Março de 2021). Rega de espaços verdes urbanos com água para reutilização: o que esperar? *Revista Recursos Hídricos*, 42(1). doi:10.5894/rh42n1-cti3
- Montgomery, D. D., & Kalman, D. A. (1989). Indoor/Outdoor Air Quality: Reference Pollutant Concentrations in Complaint-Free Residences. doi:10.1080/08828032.1989.10389885
- Mujan, I., Anđelković, A. S., Munćan, V., Kljajić, M., & Ružić, D. (29 de Janeiro de 2019). Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.307>
- OCDE. (2014). *Education at a Glance*. Obtido em 2023, de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cnedu.pt/content/noticias/internacional/Education-at-a-Glance-2014.pdf>
- Olesen, B. W., Ostergarard, L., & Roth, J. K. (Fevereiro de 2022). *New Danish standard for mechanical, natural and hybrid ventilation systems*. Obtido em Abril de 2023, de REHVA Journal: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/new-danish-standard-for-mechanical-natural-and-hybrid-ventilation-systems>
- Oliveira, F. T. (2008). Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade. Obtido em 2024, de <https://www.efct-cursos.com.br/post/vantagens-e-desvantagens-de-instalar-um-sistema-de-aproveitamento-de-%C3%A1guas-pluviais>
- ONU. (2019). *Water – at the center of the climate crisis*. Obtido de [https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/water?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw1NK4BhAwEiwAVUHPULUCHHAKJyyTOgAMWCdO8Lxe2zIZ0rJAje7j4GDbs9OkD35OxdevbhoC5SUQAvD\\_BwE](https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/water?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw1NK4BhAwEiwAVUHPULUCHHAKJyyTOgAMWCdO8Lxe2zIZ0rJAje7j4GDbs9OkD35OxdevbhoC5SUQAvD_BwE)
- ONU. (2019). Obtido em 2024, de <https://unric.org/pt/agua/>
- ONU. (2019). *World Urbanization Prospects - The 2018 Revision*. Obtido em Julho de 2023, de <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- ONU. (2023). Obtido em 2024, de <https://www.unwater.org/about-un-water>

- Ortiz-Ospina, E., Giattino, C., & Roser, M. (2020). Time Use. Obtido em 2024 , de <https://ourworldindata.org/time-use>
- Palermo, S., & Turco, M. (Janeiro de 2020). *Green Wall systems: where do we stand?* doi:10.1088/1755-1315/410/1/012013
- Pegas, P. N., Alves, C. A., Nunes, T., Bate-Epey, E. F., Evtugina, M., & Pio, C. A. (2012). *Could Houseplants Improve Indoor air Quality in Schools?* doi: 10.1080/15287394.2012.721169
- Pegas, P. N., Evtugina, M. G., Alves, C. A., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., . . . Freitas, M. d. (23 de Julho de 2010). Outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study. doi:<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000500027>
- Perez, G., Coma, J., Martorell, I., & Cabeza, L. F. (Novembro de 2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. doi:10.1016/j.rser.2014.07.055
- PetaProj. (2023). *Princípios da Ventilação Natural*. Obtido em Abril de 2023, de Princípios da Ventilação Natural: [http://www.petaproj.pt/claraboias\\_vent\\_principios.html](http://www.petaproj.pt/claraboias_vent_principios.html)
- Peterková, J., Michalčíková, M., Novák, V., Slávik, R., Zach, J., Korjenic, A., . . . Raich, B. (2019). The influence of green walls on interior climate conditions and human health. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf /201928>
- Pistocchi, A., Aloe, A., Dorati, C., Sanz, L. A., Bouraoui, F., Gawlik, B., . . . Vigiak, O. (2017). The Potencial of water reuse for agricultural irrigation in the EU: A Hydro-Economic Analysis. doi:10.2760/263713
- Portaria n.º 138-G/2021. (1 de Julho de 2021). Obtido de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/353-a-2013-331868>
- Portaria n.º 138-G/2021 do Secretário de Estado Adjunto e da Saúde e do Secretário de Estado Adjunto e da Energia. (2021).
- Portuguesa, R. (2017). Plano de Prevenção, Monitorização e Contingência para Situações de Seca. Obtido de <https://www.dgadr.gov.pt/plano-de-prevencao-monitorizacao-e-contingencia-para-situacoes-de-seca>
- Pradhan, S., Al-Ghamdi, S. G., & Mackey, H. R. (16 de Outubro de 2018). Greywater recucling in buildings using living walls and green roofs: A review of the applicability and channlenges. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.226>

- Products, T. (s.d.). *Natural Ventilation in Schools Using Window Actuators*. Obtido em Abril de 2023, de Teal Products: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.tealproducts.com%2Flatest-news%2Fnatural-ventilation-in-schools-using-window-actuators&psig=AOvVaw1wpls2cBQmCmXzCf5O4554&ust=1682233480966000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCOie0pr2vP4CFQAAAAAdA>
- Público, J. (25 de Março de 2014). Poluição do ar relacionada com a morte de sete milhões de pessoas em 2012. *Jornal Público*. Obtido em Agosto de 2023, de <https://www.publico.pt/2014/03/25/mundo/noticia/poluicao-do-ar-relacionada-com-morte-de-sete-milhoes-de-pessoas-em-2012-1629618>
- Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazzo, S., Colao, A., & Miani, A. (24 de Abril de 2020). *Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA)*. doi:10.34172/hpp.2020.29
- Radić, M., Dodig, M. B., & Auer, T. (2019). Green Facades and Living Walls—A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits. doi:<https://doi.org/10.3390/su11174579>
- Ramalho, P., Pedras, C. M., Conceição, S. M., & Rosa, M. J. (2007). Dimensionamento de um sistema de rega para utilização de águas residuais tratadas. Obtido em 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/237352837\\_DIMENSIONAMENTO\\_DE\\_UM\\_SISTEMA\\_DE\\_REGA\\_PARA\\_UTILIZACAO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUAIS\\_TRATADAS](https://www.researchgate.net/publication/237352837_DIMENSIONAMENTO_DE_UM_SISTEMA_DE_REGA_PARA_UTILIZACAO_DE_AGUAS_RESIDUAIS_TRATADAS)
- REA. (2023). *Domínios Ambientais - Ar e Ruído*. Obtido em Janeiro de 2022, de REA - Portal do Estado do Ambiente: [https://rea.apambiente.pt/dominio\\_ambiental/ar](https://rea.apambiente.pt/dominio_ambiental/ar)
- Regulamento n.º2020/741 . (2020). Obtido em 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741>
- República, D. d. (4 de dezembro de 2013). Portaria nº 353-A/2013. Obtido em Junho de 2023, de <https://files.dre.pt/1s/2013/12/23501/0000200009.pdf>
- Romanello, M., Napoli, C. d., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., . . . Campbell-Lendrum, D. (2023). Relatório 2023 do Lancet Countdown sobre saúde e mudanças climáticas: O imperativo de uma resposta focada na saúde em um mundo que enfrenta danos irreversíveis. Obtido em 2024, de <https://www.thelancet.com/pb->

assets/Lancet/Hubs/countdown/translations/PortuguesBR\_Lancet\_Countdown\_2023\_Executive\_Summary-1700054103900.pdf

Ruggieri, S., Longo, V., Perrino, C., Canepari, S., Drago, G., L'Abbate, L., . . . Cibella, F. (23 de Dezembro de 2018). Indoor air quality in schools of a highly polluted south Mediterranean area. doi: <https://doi.org/10.1111/ina.12529>

Safar, A. N., Yassin, . M., & Hamoda, M. F. (4 de Julho de 2017). Indoor and outdoor air concentrations of volatile organic compounds in schools within diferent urban areas. doi:<https://doi.org/0.1007/s13762-018-1869-6>

Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R., & Baharvand, M. (2014). Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems. doi:doi: 10.1515/rtulect-2014-0007

Salehi, M. (Janeiro de 2022). *Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>

Schirmer, W. N., Pian, L. B., Szymanski, M. S., & Gauer, M. A. (22 de Noembro de 2008). *Air pollution in internal environments and sick building syndrome*. Obtido em 2023, de <https://scielosp.org/article/csc/2011.v16n8/3583-3590/>

Schuller, d. E. (2004). Unidade IV: Interações microrganismo-planta: bactérias do género *Rhizobium* e a fixação de azoto. Obtido em Julho de 2023, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/2235>

Ścibor, M., Balcerzak, B., Galbarczyk, A., Targosz, N., & Jasienska, G. (20 de Abril de 2018). Are we safe inside? Indoor air quality in relation to outdoor concentration of PM10 and PM2.5 and to characteristics of homes. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101537>

Segurança. (01 de Maio de 2015). *Radão no interior dos edifícios*. Obtido em Junho de 2023, de <https://revistaseguranca.pt/2015/05/01/radao-no-interior-dos-edificios/#:~:text=A%20Uni%C3%A3o%20Europeia%20%28EU%29%20recentemente%20aprovou%20como%20concentra%C3%A7%C3%A3o,das%20constru%C3%A7%C3%B5es%2C%20incluindo%20habita%C3%A7%C3%B5es%20e%20locais%20>

Seltzer, J. M. (Agosto de 1994). *Building-related illnesses*. Obtido em 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009167495400111X>

Takashi , A., & Jiménez, B. (Janeiro de 2008). Water Reclamation and Reuse around the World. p. 24. Obtido de

- [https://www.researchgate.net/publication/312489649\\_Water\\_Reclamation\\_and\\_Reuse\\_around\\_the\\_World](https://www.researchgate.net/publication/312489649_Water_Reclamation_and_Reuse_around_the_World)
- Unicef. (2019). Water scarcity. Obtido em 2024, de <https://www.unicef.org/wash/water-scarcity>
- Vaz, A. S., Costa, I., Pinheiro, L., Pinto, C., Lobo, H., Vilar, f., & Carvalho, A. (2017). Liderar a transição - Plano de ação para economia circular. O Desafio dos recursos Hídricos. doi:10.5894/rh38n2-d4
- Veolia. (2023). *A Qualidade do Ar Interior: Uma questão de saúde pública mundial*. Obtido em Agosto de 2023, de <https://www.veolia.pt/blog/qualidade-do-ar-interior>
- Veolia. (2023). *Qualidade do Ar Interior em grandes edifícios e indústrias*. Obtido em 2023, de <https://www.veolia.pt/solucoes/qualidade-do-ar-interior-em-grandes-edificios-e-industrias>
- Virtudes, A., & Manso, M. (2016). *Aplicações de Paredes Verdes em Desenho Urbano*. doi:10.1088/1755-1315/44/3/032016
- WHO. (1982). *Sick building syndrome*. Obtido em 2023, de <https://www.wondermakers.com/Portals/0/docs/Sick%20building%20syndrome%20by%20WHO.pdf>
- WHO. (2009). *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould*. Obtido em Junho de 2023, de National Library of Medicine: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143943/>
- WHO. (2010). Geneva. Obtido em Agosto de 2023, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138699/>
- WHO. (9 de Novembro de 2014). Air pollution: Indoor air pollution. Obtido em 2024, de <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/air-pollution-indoor-air-pollution>
- WHO. (27 de Setembro de 2016). OMS divulga estimativas por país sobre exposição à poluição do ar e impacto na saúde. Obtido em 2023, de World Health Organization: <https://www.who.int/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- WHO. (2021). Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: Partículas inaláveis (MP2,5 e MP10), ozono, dióxido de nitrogénio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Sumário Executivo. Obtido em Junho de 2023, de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/54963>
- WHO. (2023). Obtido em 2023, de [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)

Wolverton, B., Johnson, A., & Bounds, K. (16 de Agosto de 1989). *Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement*. Obtido em Agosto de 2023, de <https://ntrs.nasa.gov/citations/19930073077>