



**Otimização de processos de produção de alimentos
“Microgreens” no interior de edifícios e avaliação dos seus
impactes ambientais comparados com processos
convencionais**

Alina Chervinska

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

Supervisor: Professor Paulo Manuel Cadete Ferrão

Co-supervisor: Doutora Khadija Benis

Júri

Presidente: Prof. Doutora Helena Maria Rodrigues Vasconcelos Pinheiro

Vogal: Prof. Doutora Patrícia De Carvalho Baptista

Vogal: Prof. Doutor Paulo Manuel Cadete Ferrão

Dezembro de 2022

Agradecimentos

Na elaboração desta tese agradeço aos meus supervisores Professor Paulo Manuel Cadete Ferrão e Doutora Khadija Benis, pela sua disponibilidade e pelo guia precioso que me deram na elaboração deste trabalho que marca o fim de uma etapa na minha vida, e o início de outra.

Agradeço à minha mãe e ao meu pai pelo seu apoio neste período desafiante e por me terem dado as condições necessárias para terminar o meu curso.

Agradeço aos meus amigos Pedro, Lau e Flor por se terem disponibilizado para degustar rabanetes e microgreens de rabanete e dar a sua opinião acerca do perfil comparativo de sabores.

Resumo

Neste trabalho fez-se a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) da produção de microgreens de rabanete num sistema de agricultura vertical hidropónico, e comparou-se os seus impactes ambientais com a produção convencional de rabanetes em estufas aquecidas. O impacte total, em termos de kg de CO₂eq, foi de 4,16 kg de CO₂eq por kg de microgreens e 18.2 kg de CO₂eq por 3 kg de rabanete. É de notar que a experiência de consumo de microgreens de rabanete e a de consumo de rabanetes é bem diferente, sendo que o sabor dos primeiros é marcadamente mais forte do que o sabor destes últimos, se for considerada a mesma quantidade destes alimentos. Assim, recorrendo a testes degustativos, chegou-se à conclusão que os microgreens de rabanete têm, no mínimo, um sabor três vezes mais forte do que a massa equivalente de rabanete e, por isso, foi usado um fator 1:3 na comparação destes dois produtos.

Em termos das diferentes categorias ambientais, os microgreens de rabanete mostraram ter um desempenho superior em quase todas as categorias, exceto nas categorias de radiação ionizante, ecotoxicidade de água doce, escassez de recursos minerais, e consumo de água. Contudo, uma análise normalizada dos impactes mostra que as categorias ambientais mais relevantes para estes dois produtos são a toxicidade carcinogénica humana, eutroficação de água doce, escassez de recursos fósseis, aquecimento global e acidificação terrestre, nas quais os microgreens apresentam um desempenho melhor do que os rabanetes. Os principais contribuintes para estas categorias de impacto ambiental são os processos de mineração e de processamento de materiais, principalmente, os metais, que integram o módulo de produção de microgreens.

Palavras-chave: microgreens, rabanetes, avaliação do ciclo de vida, impactes ambientais, agricultura integrada em edifícios, agricultura vertical

Abstract

The present work integrated the Life Cycle Assessment (LCA) of radish (*Raphanus sativus*) microgreens production in a vertical hydroponic growth system, as well as the comparison of the environmental impacts of radish microgreens with the environmental impacts of conventionally grown radish, in a heated greenhouse. The total environmental impacts, measures in kg CO₂eq, was 4,16 kg CO₂eq per kg of microgreens and 18.2 kg CO₂eq per 3 kg of radish. It is important to note that the experience of consumption of microgreens of radish and of conventional radish is different because the taste of the former is much stronger than that of the latter, when comparing the same mass of these two foods. And so, with the help of friends who volunteered to perform tasting tests, the conclusion was reached that radish microgreens are, at least, three times stronger in taste than radish. For this reason, a 1:3 mass proportion was used to compare these two products.

As for the different environmental impact categories, the microgreens had a better performance in most of them, except in the categories of ionizing radiation, freshwater ecotoxicity, mineral resource scarcity, and water consumption. On the other hand, a normalized analysis revealed that the most important categories for these two products are human carcinogenic toxicity, freshwater eutrophication, fossil resource scarcity, global warming, and land acidification, in which the microgreens had a better performance than radish. The main contributors for these environmental impacts categories are the mining and processing of materials, especially metals, that integrate the microgreens production module.

Keywords: microgreens, radish, life cycle analysis, environmental impacts, building integrated agriculture, vertical farming

Índice geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas.....	xi
Abreviaturas	xii
1. Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Motivação.....	Erro! Marcador não definido.
1.3 Organização estrutural do texto	2
2. Estado da Arte	3
2.1 Microgreens	3
2.2 Avaliação do ciclo de vida dos microgreens.....	11
3. Instalação experimental para a produção de microgreens	12
3.1 Design do sistema	12
3.2 Componentes	13
3.3 Processo de construção	19
3.3 Aprimoramento da espécie de microgreens a usar no estudo	22
3.4 Ensaio experimentais com microgreens de rabanete	25
4. Análise de resultados	30
4.1 Monitorização de humidade, temperatura e níveis de CO ₂ num módulo de produção de microgreens de rabanete	30
4.2 Recursos consumidos num módulo de produção de microgreens de rabanete..	32
4.2.1 Energia elétrica	33
4.2.2 Água	34
4.2.3 Nutrientes.....	34
4.3 Avaliação do ciclo de vida dos microgreens de rabanetes	35
4.4 Análise comparativa dos impactos ambientais associados aos microgreens de rabanete e à produção convencional de rabanetes	40
5. Conclusões e trabalho futuro	42
Referências	44
Anexos	47
Anexo 1.....	47

Anexo 2.....	48
Anexo 3.....	49
Anexo 4.....	50
Anexo 5.....	51
Anexo 6.....	53
Anexo 7.....	55
Anexo 8.....	56
Anexo 9.....	57
Anexo 10.....	59
Anexo 11.....	60
Anexo 12.....	61
Anexo 13.....	62

Índice de figuras

<i>Figura 1. Colheita de microgreens diretamente do tabuleiro por um chef de cozinha. Imagem retirada do website da Nordamark.</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Relação entre a humidade relativa do ar com a adversidade à saúde humana e os seus agentes causais[28].....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3. Microgreens de mostarda vermelha (Brassica juncea L. Czern.) a serem cultivados num recipiente de plástico de pequenas dimensões [5].</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4. Microgreens a serem cultivados em cima de bancadas inclinadas com irrigação por cima [5]. ...</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Cultivo de microgreens em módulos apoiados num suporte inclinado com irrigação a partir de cima. Produção nas instalações da empresa Nordamark.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6. Crescimento de microgreens de rabanete (Raphanus sativus) num substrato inerte [5].</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7. Módulo de produção de microgreens 1.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8. Módulo de produção de microgreens 2.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9. Fitas LED que servem de iluminação às plantas no módulo 1.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10. Lâmpadas LED que servem de iluminação no módulo 2.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 11. Processo de medida e corte da tubagem.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 12. Detalhe do sistema de circulação de água. Interface do tudo bom a válvula de escoamento no fundo de um tabuleiro de cultivo.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 13. Ventoinhas no nível 1 e 2 de um módulo de cultivo que permitem a circulação de ar no seu interior.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 14. Grades de ventilação instaladas do lado oposto das ventoinhas.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 15. Temporizador analógico dos que se usaram para controlar os intervalos de funcionamento dos equipamentos de ventilação, de iluminação e de bombagem de água.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 16. Um tapete/substrato de cânhamo de dimensões 0,6x0,3 m com sementes, prestes a ser colocado a germinar.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 17. Furos a serem feitos nos tabuleiros para permitir a passagem da válvula e do tubo de drenagem de água.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 18. Condensação visível no interior da separatória de plástico, indicativa de um excesso de humidade relativa no interior do módulo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 19. Propagação de fungo no substrato nos primeiros ensaios em que ainda não havia ventilação no módulo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 20. O sistema de ventilação, que consiste de uma ventoinha e uma grelha de ventilação do lado oposto, no nível 2 e nível 3.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 21. Esquema de ensaios experimentais de cultivo de quatro espécies diferentes de microgreens .</i>	<i>23</i>
<i>Figura 22. Esquema dos ensaios experimentais com microgreens de rabanete, com lotes a serem produzidos em paralelo no módulo 1 e no módulo 2.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 23. Comparação do resultado de cada lote de microgreens de rabanete, em que a coluna da esquerda são os lotes produzidos em M1 e a coluna da direita são os lotes produzidos em M2.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 24. Variação dos níveis de CO₂, T e HR dentro do módulo 2 no intervalo de tempo em que a ventilação esteve desligada. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 7.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 25. Variação do nível de CO₂, T e HR dentro do módulo 2 com a ventilação ligada. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 8.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 26. Distribuição dos consumos da bomba de água, ventoinha e lâmpada LED no módulo 2, relativamente ao consumo total do módulo.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 27. Ampliação da network do ciclo de vida dos microgreens de rabanete obtido no software SimaPro. Pode ser consultada na sua totalidade no Anexo 9.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 28. Impactes ambientais, por categoria, dos microgreens de rabanete, em percentagem. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 10.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 29. Impactes ambientais normalizados, por categoria, dos microgreens de rabanete. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 11.....</i>	<i>39</i>

<i>Figura 30. Impactes ambientais, por categoria, dos microgreens de rabanete e do rabanete, em percentagem. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 12.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 31. Impactes ambientais normalizados, por categoria, dos microgreens de rabanete e do rabanete. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 13.</i>	<i>41</i>

Índice de tabelas

<i>Tabela 1. Principais diferenças entre rebentos (sprouts), microgreens e plantas "baby-leaf"[5]</i>	<i>3</i>
<i>Tabela 2. Conteúdo de vitamina C, E e K em algumas espécies de microgreens e a quantidade necessária de produto fresco para satisfazer a dose diária recomendada para um adulto. FP - fresh product / produto fresco.[8].....</i>	<i>6</i>
<i>Tabela 3. Dados relativos ao cultivo de microgreens na fase de escolha da espécie, de entre as 4 opções de espécies de microgreens.</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 4. Estimativa da intensidade da luz no módulo 1</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5. Estimativa da intensidade da luz no módulo 2.</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 6. Intensidades de luz em lux e o seu equivalente em termos de luz natural [33].....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 7. Dados de cultivo dos lotes B1 e B2.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 8. Dados de cultivo dos lotes B2 e B3.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 9. Dados de cultivo para os lotes B5 e B6.</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 10. Dados de cultivo para os lotes B7 e B8.</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 11. Mínimo, média e máximo para o nível de CO₂, T e HR dentro do módulo 2 no intervalo de tempo em que a ventilação esteve desligada.</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 12. Horas de funcionamento por dia, potência e consumo acumulado do equipamento do módulo 2.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 13. As percentagens em massa de cada composto na solução nutritiva Aqua Vega A (AVA) e o consumo total desses compostos por kg de microgreens úteis produzidos.</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 14. As percentagens em massa de cada composto na solução nutritiva Aqua Vega B (AVB) e o consumo total desses compostos por kg de microgreens úteis produzidos</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 15. Inventário da análise do ciclo de vida dos microgreens de rabanete</i>	<i>36</i>

Abreviaturas

ACV – Análise de Ciclo de Vida

AVA – Adubo fluido composto NK 5-3 com Fe e Mn “Aqua Vega A”, CANNA

AVB – Adubo fluido composto PK 3-4 com micronutrientes “Aqua Vega B”, CANNA

DIY – “*Do it yourself*”

HDPE – *High density polyethylen* ou polietileno de alta densidade

h max – altura máxima atingida pelas plantas num determinado lote de microgreens

IVF – *Indoor vertical Farming*

LED – *Ligh emitting diodes* ou diodo emissor de luz

LDPE – *Low density polyethylene* ou polietileno de baixa densidade

m produto – massa de produto útil colhido num determinado lote de microgreens

M1 – Módulo/armário 1 para a produção de microgreens

M2 – Módulo/armário 2 para a produção de microgreens

PPFD – *Photosynthetic photon flux density* ou densidade do fluxo de fótons fotossintéticos

ppm – Partes por milhão

kg CO₂ eq – Quilogramas de CO₂ equivalentes

HR – Humidade relativa (%)

T – Temperatura (°C)

1. Introdução

A agricultura integrada em edifícios (*Building Integrates Agriculture – BIA*) tem o potencial de lhes dar uma nova dimensão, oferecendo alimentos cultivados localmente, o que pode aumentar a resiliência urbana [1]. Adicionalmente, este tipo de produção pode contribuir para a circularidade dos sistemas alimentares urbanos, para a redução de emissões associadas ao transporte dos alimentos e redução de resíduos [2]. A emergência da área de agricultura urbana, a crescente popularidade dos alimentos microgreens na sociedade, as possibilidades de melhoramento do desempenho ambiental dos alimentos ao trazer a sua produção para o meio urbano e também os desafios ambientais que o equipamento para tal utilizado acarreta são a grande motivação deste estudo.

O sistema hidropônico vertical de produção de microgreens desenvolvido neste trabalho pode ser incluído na categoria de agricultura integrada em edifícios, apresentando uma possibilidade de cultivo de alimentos frescos num sistema compacto e modular, que pode ter diferentes aplicações, como a produção de microgreens em casa ou num estabelecimento de restauração.

Os microgreens são um tipo de alimento que tem aumentado de popularidade devido às suas propriedades sensoriais e nutritivas. O seu curto ciclo de crescimento e facilidade de cultivo, aliado ao interesse que despertam na sociedade, fazem da sua produção em agricultura urbana uma área emergente e de interesse.

A avaliação do ciclo de vida é amplamente utilizada e aceite como método em que os impactos ambientais associados a um produto ou serviço são quantificados durante o seu ciclo de vida, isto é, desde a extração das matérias-primas, através das fases de produção e uso, e até ao tratamento de resíduos e transporte. [3]

De acordo com ISO 14044 (2006), o processo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é baseado em quatro passos ou fases, que incluem 1) **Definição dos objetivos e abrangência da análise**, 2) **Análise de inventário**, 3) **Avaliação do ciclo de vida**, e 4) **Interpretação**. [3]

Assim, em termos de **definição de objetivos** da ACV realizada neste estudo, esta foca-se no ciclo de vida dos microgreens, mapeando os impactes ambientais associados ao uso de materiais que constituem o módulo de produção e do equipamento que o integra, desde a sua produção até ao seu fim de vida, bem como os impactes ambientais associados ao uso de energia elétrica, água, nutrientes e sementes. Em termos de **abrangência** da ACV, são tidos em conta os impactes desde a produção das matérias-primas até ao descarte das suas componentes, passando por todos os processos de produção de microgreens – uma abordagem *cradle to grave*. Contudo, é de notar que, tendo em conta a relevância relativa dos processos em termos de cenários de fim de vida, a análise foi focada nos impactes da reciclagem da chapa de aço que integra o módulo de produção dos microgreens. Não foram quantificados os impactes do desmantelamento e valorização do equipamento como a bomba de água e as lâmpadas LED,

nem os impactos dos resíduos – que, a saber, se resumiam ao substrato de cânhamo descartado compostável e os sacos de plástico que o continham. A **análise de inventário**, a **avaliação do ciclo de vida** e a sua **interpretação** são efetuadas no capítulo 4.

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste em fazer uma avaliação do ciclo de vida da produção de microgreens de rabanete num sistema de agricultura vertical hidropónico, e comparar os seus impactes ambientais com a produção convencional de rabanetes em estufas aquecidas.

O estudo implicou a conceção de um sistema modular e compacto que permitisse o cultivo de microgreens, e a sua construção, no campus do Instituto Superior Técnico. Uma vez construído, foi definido um esquema experimental que, primeiro, permitisse apurar a espécie de microgreens a cultivar, e depois, fazer ensaios sucessivos com a espécie escolhida – microgreens de rabanete (*Raphanus sativus*). Os dados recolhidos dos ensaios com microgreens de rabanete serviram para, finalmente, fazer a ACV da sua produção.

1.2 Organização estrutural do texto

O Capítulo 1 faz uma introdução aos temas abordados neste trabalho, explicando o que são os microgreens, a integração da sua produção no tema mais amplo da agricultura urbana integrada em edifícios e a ACV.

O Capítulo 2 descreve o estado da arte na área dos microgreens e, seguidamente, mais em particular, na área da ACV da produção dos microgreens. São mencionados os resultados de alguns estudos que já foram feitos acerca destes temas.

O Capítulo 3 descreve o design do sistema de produção de microgreens, as suas componentes, o seu processo de construção e descreve os ensaios experimentais de cultivo de microgreens, bem como resume os dados de cultivo dos lotes produzidos.

O Capítulo 4 faz uma análise dos dados de temperatura (T), humidade relativa (HR) e níveis de CO₂ dentro do módulo de produção, relacionando-os com o funcionamento desde último. Numa segunda etapa faz-se a estimativa dos recursos gastos na produção dos microgreens de rabanete, e segue-se a ACV dos microgreens de rabanete com a sua posterior comparação com o desempenho de rabanetes produzidos em estufas aquecidas.

No Capítulo 5 são tiradas conclusões e são discutidas ideias para trabalho futuro.

2. Estado da Arte

2.1 Microgreens

Nos anos mais recentes as pessoas começaram a ganhar um interesse substancial pelo consumo de frutas e vegetais caracterizados por um conteúdo elevado de substâncias bioativas. É conhecido que estes produtos são benéficos porque para além de fornecerem nutrientes essenciais para o corpo humano, estes têm um efeito positivo na nossa saúde [4].

Rebentos, microgreens e plantas “*baby leaf*” são um segmento de mercado crescente no setor de produtos vegetais. Em muitos países do mundo, chefes de restaurantes e consumidores usam estes produtos devido às suas qualidades sensoriais e nutricionais [5].

A Tabela 1 mostra as principais diferenças entre rebentos, microgreens e plantas “*baby leaf*”.

Tabela 1. Principais diferenças entre rebentos (*sprouts*), *microgreens* e plantas “*baby-leaf*”[5]

	Sprouts	Microgreens	Baby leaf
Growing cycle	4–10 days	7–28 days	20–40 days
Edible portion	Whole sprout including the rootlets	Shoots with cotyledons and first hint of true leaves without roots	True leaves and petioles without roots
Growth system	Soilless: only water is required without the use of a growing medium	Mainly soilless: a growing medium is required	Soil or soilless: a growing medium is required
Growth environment	Do not require light	Require light	Require light
Nutrient requirement	Not required	Required in small amount if the growing medium does not provide nutrient	Always required
Use of agrochemicals	Not required	Not required	Required
Plant development stage at harvest	Before fully development of the cotyledon leaves	Between fully development of cotyledons and appearance of the first true leaves	Between full development of the first true leaves and eight true-leaf stage
Harvest	Without cutting	Optional by or without cutting	By cutting

Quer os rebentos, quer os microgreens podem facilmente ser cultivados em áreas urbanas e periurbanas, onde a área disponível é muitas vezes um fator limitante, por horticultores especializados e pelos próprios consumidores. Devido ao seu curto ciclo de produção, os rebentos geralmente crescem no escuro, sem meio de cultivo e sem inputs externos como adubos e agroquímicos. A planta é comestível na sua totalidade. Por outro lado, as plantas “*baby leaf*” necessitam de luz para crescer, num solo ou num substrato alternativo. Como têm um ciclo

de produção mais longo, necessitam de fertilizantes. Já os microgreens têm características em comum com os rebentos e com as plantas “*baby leaf*”, diferindo dos rebentos na medida em que precisam de luz e de um meio de cultivo, têm um ciclo mais longo e a parte comestível é o caule e as folhas, e diferindo das plantas “*baby leaf*” na medida em que têm um ciclo de produção mais curto do que estas, não necessitam de adubo e podem ser comercializados sem serem cortados das sementes [5].

Os microgreens podem ser definidos como um tipo de alimento que inclui rebentos de vegetais comestíveis, plantas herbáceas, ervas aromáticas e plantas selvagens comestíveis, que podem variar em tamanho desde os 5 aos 10 cm de comprimento [6]–[8]. Os microgreens apresentam um ciclo de produção curto (uma a três semanas) [9] e podem ocupar pouco espaço em termos de cultivo [10].

Apesar do seu tamanho reduzido, os microgreens fornecem uma grande variedade de sabores intensos, cores e texturas; daí serem usados como um novo ingrediente para adornar bebidas, adicionar a saladas, aperitivos, pratos, sopas, sandes e sobremesas [8], [11].

É por estes alimentos serem consumidos crus que uma característica importante a ter em atenção é a segurança microbiológica e é daqui que surge a importância de investigação de técnicas pré- e pós-colheita que visam prolongar a duração do produto e garantir a sua segurança alimentar [5]. Os dois parâmetros mais importantes no armazenamento de microgreens após a colheita são a temperatura e a composição atmosférica [12]. Por exemplo, alguns autores mostraram que a temperatura de conservação de microgreens de trigo sarraceno afetava significativamente a composição em O₂ e CO₂, bem como o crescimento microbiano durante o armazenamento. Assim, sugerem que estes microgreens devem ser armazenados a 5°C e com uma concentração de O₂ moderadamente alta e de CO₂ moderadamente baixa para maximizar a qualidade e a duração do produto na fase de comercialização [13]. Outra medida para aumentar a duração de microgreens nesta fase, é controlar as taxas de respiração: experiências pós-colheita com microgreens de rúcula (*Eruca sativa*), de rabanete (*Raphanus sativus*) e de couve roxa (*Brassica oleracea* var. *rubra*) com o objetivo de baixar as suas taxas de respiração resultaram no prolongamento de vida pós-colheita dos microgreens [14]. Outro estudo com microgreens de rabanete (*Raphanus sativus* L. var. *longipinnatus*) reitera a importância da temperatura de armazenamento dos mesmos à temperatura ótima de 1°C [15]. Mais uma possibilidade que prolonga a vida dos microgreens na etapa de comercialização é eles serem vendidos antes de serem colhidos, juntamente com o substrato, possibilitando ao consumidor fazer a colheita no momento do consumo [6], como ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Colheita de microgreens diretamente do tabuleiro por um chef de cozinha. Imagem retirada do website da Nordamark.

Parece haver consenso que os microgreens têm maiores concentrações de compostos bioativos, como vitaminas, minerais, e antioxidantes do que plantas maduras [8], [16]. Mas vários estudos apontam para o facto de a intensidade da luz e o seu tipo influenciarem não só a taxa fotossintética nas plantas, mas também a acumulação de diferentes compostos orgânicos [17]–[19].

Num estudo foi testada a influência de intensidades de luz correspondentes a 30, 50, 70, 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, bem como fotoperíodos de 12, 14, 16, 18 e de 20 h no crescimento, na qualidade nutricional e nas propriedades antioxidantes de microgreens do género *Brassica* [20]. Verificou-se que com o aumento da intensidade da luz o comprimento do hipocótilo dos microgreens da couve frisada e da couve chinesa diminuiu. Um fotoperíodo de 14 a 16 h e uma intensidade da luz correspondente a 90 a 70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD (*Photosynthetic photon flux density*) foram ótimos para os tipos de microgreens de couve testados. Há ainda a informação de que o nível mínimo de fotões fotossinteticamente ativos para assegurar uma boa qualidade comercial, sanitária e nutricional para os microgreens de espécies menos exigentes em termos de luz é de 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [21], [22].

Os carotenóides são uma classe importante de fitoquímicos [23], e estudos recentes, do ponto de vista da intensidade da luz apontam para o facto de que os microgreens da família *Brassicaceae* acumulam mais carotenóides totais no caso de uma intensidade de luz de 330-440 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD, comparado com um 220 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, considerada uma intensidade normal no cultivo de microgreens [18].

Em 2013 foi também demonstrado que os microgreens são uma boa fonte de substâncias bioativas, através do estudo de cinco diferentes espécies de microgreens do género *Brassica*,

revelando que o perfil fenólico destas plantas era mais complexo e mais variado do que nas plantas maduras [24].

Os microgreens aparentam ser também uma boa fonte de minerais, uma vez que em 2015 um estudo comparativo entre o perfil mineral de microgreens e alfaces maduras demonstrou que os microgreens possuem níveis mais altos de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se e Mo do que as alfaces, apesar de estas últimas terem níveis mais altos de N, P e K [25]. Já de acordo com outro estudo, o conteúdo de minerais em microgreens é fortemente determinado pela sua disponibilidade dos mesmos no substrato ou na solução nutritiva [7].

Um grupo de investigadores do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e da Universidade de Maryland debruçou-se sobre a análise das concentrações das vitaminas C, E e K e de carotenóides em 25 variedades de microgreens e demonstrou que estes últimos têm níveis de compostos antioxidantes até 10 vezes maiores do que vegetais normais colhidos na etapa standard de maturidade em termos comerciais [8]. A Tabela 2 resume os valores obtidos.

Tabela 2. Conteúdo de vitamina C, E e K em algumas espécies de microgreens e a quantidade necessária de produto fresco para satisfazer a dose diária recomendada para um adulto. FP - fresh product / produto fresco.[8]

Microgreens		Vitamin content (mg/100 g FP)			Grammes of FP necessary to satisfy the recommended daily intake of vitamin		
		C	E	K	C	E	K
Garnet amaranth	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	131.6	17.1	4.1	46	76	17
Opal basil	<i>Ocimum basilicum</i> L.	90.8	24.0	3.2	66	54	22
Red beet	<i>Beta vulgaris</i> L.	46.4	34.5	2.0	129	38	35
Red cabbage	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i>	147.0	24.1	2.8	41	54	25
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.	40.6	53.0	2.5	148	25	28
Peppercress	<i>Lepidium bonariense</i> L.	57.2	41.2	2.4	105	32	29
Pea tendrils	<i>Pisum sativum</i> L.	50.5	35.0	3.1	119	37	23
Green radish	<i>Raphanus sativus</i> L.	70.7	87.4	1.9	85	15	37
Arugula	<i>Eruca sativa</i> Mill.	45.8	19.1	1.6	131	68	44
Celery	<i>Apium graveolens</i> L.	45.8	18.7	2.2	131	70	32
Popcorn shoots	<i>Zea mays</i> L.	31.8	7.8	0.9	189	167	78
Golden pea tendrils	<i>Pisum sativum</i> L.	25.1	4.9	0.7	239	265	100

Em termos de risco microbiológico, apesar de ser provável que os microgreens também possam ser um veículo de transmissão de patógenos bacterianos, até à data do estudo não se verificou nenhum surto associado ao consumo de microgreens que tivesse sido reportado. Os autores argumentam que a falta de incidência pode estar associada à baixa produção e consumo, alta seletividade geográfica e demográfica do consumidor ou ao carácter intrinsecamente seguro dos microgreens. Contudo, devido à falta de dados acerca da segurança microbiológica de

microgreens, apela-se que devia haver mais atenção na investigação da sobrevivência e proliferação de patógenos bacterianos originados da comida em microgreens que são cultivados e armazenados em condições que simulam produção comercial [26].

Noutro estudo foram testadas diferentes temperaturas (T) ambiente e humidades relativas (HR) para determinar o efeito destas variáveis no crescimento do fungo *H. fulvum*. O crescimento máximo verificou-se para o intervalo de temperatura de 25 a 30°C, e era diretamente proporcional à humidade relativa, havendo crescimento máximo a uma HR no intervalo de 92.5 a 100% [27].

Na Figura 2, que ilustra a relação da adversidade à saúde humana com a HR do ar e os seus agentes causais, pode-se observar que a HR mais favorável à propagação do fungo é a partir dos 65% [28].

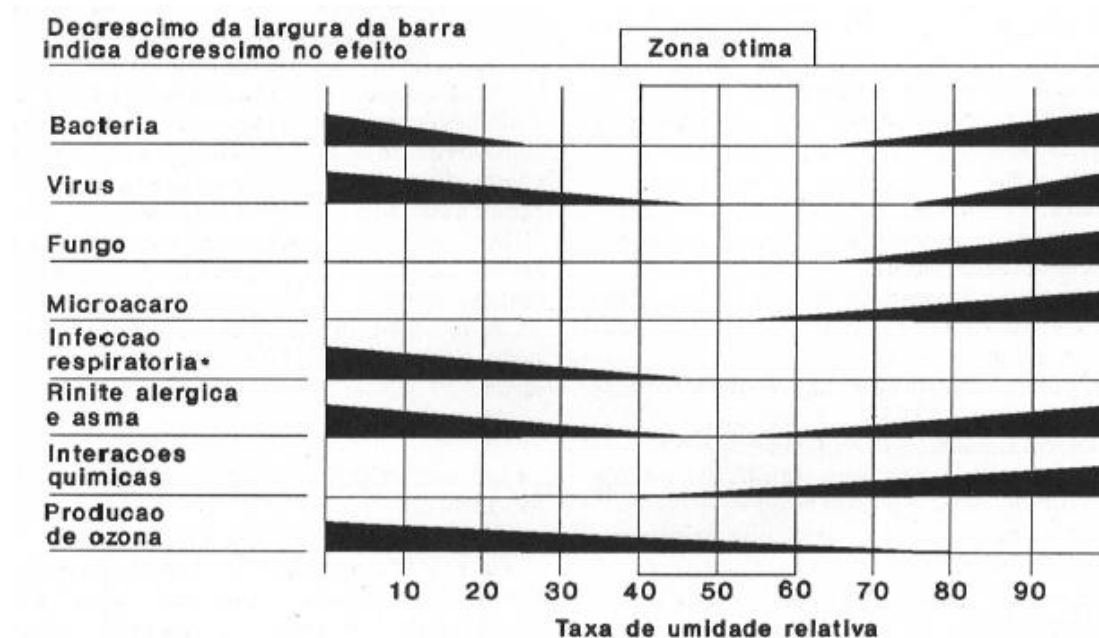


Figura 2. Relação entre a humidade relativa do ar com a adversidade à saúde humana e os seus agentes causais[28].

Os microgreens podem ser cultivados de uma maneira muito simples, sem o uso de adubos e pesticidas e em espaços pequenos como um terraço ou uma varanda ou mesmo no parapeito de uma janela permitindo uma produção “zero mile” e “low-cost” de verduras ou em sistemas mais sofisticados e maiores [7].

A produção comercial de microgreens é feita em ambientes controlados, em estufas ou edifícios, com tecnologias que podem ser mais ou menos avançadas, dependendo do tamanho das instalações e se as condições climáticas são mais ou menos favoráveis [5].

Este produto é geralmente produzido usando sistemas de cultivo sem solo, em que o solo é substituído por outro tipo de substrato e que mais comumente se encaixam num dos tipos que se seguem [6].

Uma possibilidade é cultivar microgreens em contentores/tabuleiros pequenos de plástico, de diferentes tamanhos, com uma altura entre os 3 e 5 cm, podendo os recipientes também ser feitos em materiais biodegradáveis. A parte de baixo do tabuleiro pode ou não ter orifícios que servem para melhorar o escoamento do excesso de água (ou solução nutritiva) e evitar a estagnação do líquido, a qual pode levar ao aparecimento de doenças e comprometer a produção e a qualidade dos microgreens. A irrigação pode ser assegurada a partir de cima ou a partir de baixo colocando o fundo dos tabuleiros perfurados em contacto com a solução nutritiva [5]. A Figura 3 é um exemplo deste tipo de cultivo, que é muito fácil de replicar em casa.



Figura 3. Microgreens de mostarda vermelha (Brassica juncea L. Czern.) a serem cultivados num recipiente de plástico de pequenas dimensões [5].

Outra possibilidade é cultivar as plantas em tabuleiros maiores, ou bancadas, que podem ser feitas de plástico, alumínio, aço galvanizado, entre outros materiais. Neste método o substrato é colocado diretamente no tabuleiro ou bancada, que se encontra ligeiramente inclinada de forma a melhorar a passagem da água ou solução nutritiva de um lado do tabuleiro até ao outro, possibilitando também uma recuperação e reciclagem do excesso de água ou solução nutritiva [5]. Um exemplo deste sistema encontra-se ilustrado na Figura 4.

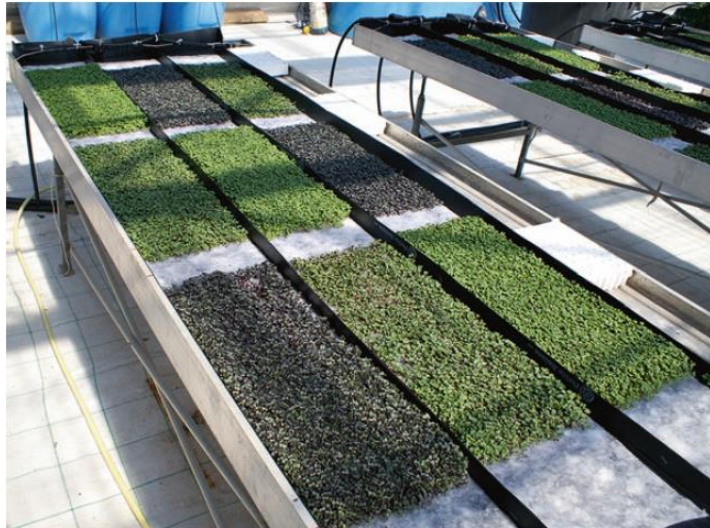


Figura 4. Microgreens a serem cultivados em cima de bancadas inclinadas com irrigação por cima [5].

A empresa sueca *Nordamark*, que se especializa em cultivar microgreens para venda do produto pronto a consumir e também de módulos de cultivo de microgreens em casa, usa este tipo de sistema para cultivar os microgreens nas suas instalações. Como se pode ver na Figura 5, existe uma estrutura grande de suporte e se encontra ligeiramente inclinada, sobre a qual são colocados os módulos de produção, um ao lado do outro, e a irrigação é feita por cima.



Figura 5. Cultivo de microgreens em módulos apoiados num suporte inclinado com irrigação a partir de cima. Produção nas instalações da empresa Nordamark.

Nos últimos anos, com a disponibilidade de lâmpadas mais eficazes, várias empresas implementaram sistemas de cultivo no interior muito intensivos e avançados, em que tabuleiros ou bancadas podem ser colocados em diferentes níveis, formando os chamados sistemas de cultivo multinível. Aqui, há substituição da luz natural pela luz artificial proveniente de lâmpadas com um espetro de emissão adequado às necessidades fotossintéticas das plantas [21], [22].

Outro aspecto crítico na produção de microgreens é a seleção do substrato, uma vez que ele tem um papel fundamental na determinação da produtividade e qualidade dos microgreens, bem como da sustentabilidade do processo de produção [29].

De forma a assegurar uma boa germinação e um crescimento ótimo um bom substrato deve, em termos de propriedades físicas, ter uma porosidade superior a 85% do volume total, uma razão adequada entre macro- e microporos para garantir uma boa capacidade de retenção de água bem como uma aeração adequada do sistema radicular [30].

É igualmente importante escolher um substrato cuja qualidade microbiológica seja garantida ou que tenha sido submetido a um processo de esterilização (química ou física) para evitar a contaminação das culturas de microgreens [31]. A seleção do substrato geralmente depende de fatores como a disponibilidade local, custo, propriedades físicas e químicas adequadas e sustentabilidade ambiental [29].

Os substratos podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos, sendo os primeiros feitos de materiais naturais e biodegradáveis, como turfa, enquanto os inorgânicos como a perlite são inertes. Os mais comumente usados são a turfa, a perlite e a vermiculite, individualmente ou como mistura [29].

De entre as substâncias que foram desenvolvidas especificamente para a produção de microgreens, existem substratos constituídos de materiais fibrosos de origem natural (fibra de coco, fibra de cânhamo, fibra de algodão, fibra de algas e polpa de papel) ou sintéticos (tereftalato de polietileno) [5]. A figura 6 ilustra microgreens de rabanete a serem cultivados num meio inerte.



Figura 6. Crescimento de microgreens de rabanete (*Raphanus sativus*) num substrato inerte [5].

2.2 Avaliação do ciclo de vida dos microgreens

A Agricultura Vertical de Interior (ou *Indoor Vertical Farming* – IVF) depara-se com o desafio das elevadas exigências energéticas devido ao uso de luzes LED e de controlo climático, bem como de outros custos associados com a infraestrutura, a área, operações agrícolas e resíduos [2]. Quando comparada com agricultura convencional [32], a IVF substitui a luz natural pelas lâmpadas LED e pelo controlo de condições ambientais, o que vem com um custo financeiro e ambiental associados.

Agricultores de IVF nos Estados Unidos têm produzido verduras com emissões associadas de 4.2 a 26.5 kg de CO_{2eq} por kg de verduras, e são fortemente influenciados pela tecnologia instalada [2]. Na maior parte dos casos o fator que contribuía mais era a eletricidade, o que salienta a necessidade de uma modelação extensiva de eficiência energética do equipamento das IVF e da consideração de fontes de energia renováveis alternativas, dependendo da localização [2].

Até à data, poucos são os estudos que fizeram a avaliação do ciclo de vida de sistemas hidropónicos IVF para a produção de microgreens. Em 2022 foi estudado o caso de uma tecnologia prospetiva de integração de um sistema de produção de microgreens de brócolos num edifício no ambiente urbano, mais especificamente no edifício do campus de uma faculdade. Neste estudo [2], os resultados mostram que o sistema IVF em questão produz 7.5 kg de microgreens de brócolos diariamente, com um potencial de aquecimento global de 18.6 kg de CO_{2eq} por kg de microgreens, no caso de estes serem consumidos no campus da faculdade, e 22,2 kg CO_{2eq} por kg de microgreens no caso de haver comercialização num raio de 10 km. Verificou-se que em ambos os cenários a eletricidade era o que contribuía com mais emissões, 10.03 kg CO_{2eq} por kg de microgreens, seguida pelo impacto das sementes, 4.04 kg de CO_{2eq} por kg de microgreens. O uso adicional de eletricidade fotovoltaica resultou numa redução de 32%, o que melhorou cerca de 16% na maioria das categorias de impacte ambiental analisadas. Concluiu-se que uma cadeia de fornecimento mais curta aliada ao uso de eletricidade fotovoltaica pode melhorar significativamente o desempenho de agricultura vertical integrada em edifícios.

Assim sendo, e no sentido de colmatar a lacuna de trabalhos experimentais na área da avaliação do ciclo de vida da produção de microgreens, este trabalho propõe-se a contribuir para o conhecimento dos impactes ambientais de um sistema hidropónico vertical de cultivo de microgreens através da sua construção, ensaios experimentais e análise posterior dos resultados.

3. Instalação experimental para a produção de microgreens

3.1 Design do sistema

O sistema hidropónico de produção vertical de microgreens deste estudo foi concebido tendo em mente um módulo compacto, simulando uma instalação que, com outro nível de sofisticação, pudesse ser comercializada em estabelecimentos de restauração, por exemplo. É de notar que um sistema que pudesse ser colocado num ambiente de restauração seria muito mais high-tech do que o presente, que tem um carácter muito mais *DIY (do it yourself)*, uma vez que se trata de equipamento de teste que não justifica um investimento muito elevado.

Utilizaram-se dois armários de alumínio de escritório, como base. Estes foram instrumentados com todo o equipamento necessário para obter dois sistemas de hidroponia vertical, como ilustrado na Figura 7 e na Figura 8, automatizados e independentes um do outro, da modalidade *Flood and Drain*, também conhecida por *Ebb and Flow*.

Cada módulo encontra-se equipado de sistema de iluminação, sistema de irrigação, bem como um sistema de ventilação. Cada um deles foi ligado a um temporizador que permite o controlo automático dos intervalos de funcionamento.

Cada módulo tem três níveis, em cada um dos quais se encontra um tabuleiro com o substrato e os microgreens. O nível de baixo não está iluminado e encontra-se reservado para a germinação de sementes – é onde o tabuleiro fica na fase de germinação. Os níveis dois e três, a contar de baixo, recebem luz e estão destinados à fase de crescimento dos microgreens.

Assim, havendo dois armários, as respetivas denominações são módulo 1 e módulo 2. Para facilitar a referência às prateleiras de um dado módulo, as respetivas denominações são, a contar de baixo para cima, Tabuleiro 1 (ou tabuleiro de germinação), Tabuleiro 2, e Tabuleiro 3.



Figura 7. Módulo de produção de microgreens 1



Figura 8. Módulo de produção de microgreens 2

3.2 Componentes

Ambos os sistemas são idênticos, à exceção da fonte de luz. Assim, as suas componentes são:

Módulo

Estrutura externa de chapa de aço. Armário de escritório adaptado aos objetivos do presente estudo, de dimensões são 152x120x42 cm.

Prateleiras de chapa de aço. Pré-existentes e servem de suporte aos tabuleiros de produção de microgreens.

Cortinas de plástico. De maneira a facilitar o acesso aos tabuleiros de cultivo, optou-se por instalar uma cortina de plástico de correr, que pode ser facilmente desviada para o lado na altura de fazer a manutenção do sistema, como por exemplo para fazer a colheita de microgreens ou retirar um tabuleiro para proceder à sua limpeza.

Mesas de cultivo. Os tabuleiros em HDPE (*high density polyethylene*), de dimensões 106x33 cm que servem de suporte ao substrato onde vão crescer os microgreens.

Sistema de iluminação

Fonte de luz. No caso do módulo 1 instalaram-se fitas LED de 5W e 3000K cujo espectro de emissão é compatível com o crescimento de plantas, como pode ser visto no Anexo 1. No caso do Módulo 2 foram instaladas lâmpadas LED concebidas especificamente para o crescimento de plantas no interior, de 26W e 6500K.

Sistema de irrigação

Bomba de água. A bomba de água *Neptune NH-800* possibilita a recirculação da solução nutritiva no sistema de cultivo. Ver Anexo 2.

Depósito de rega. O depósito de rega em HDPE de 47 l é onde se encontra a solução nutritiva, bem como a bomba de água, submersa na solução. Ver Anexo 2.

Tubagem. Os tubos em LDPE (*low density polyethylene*) permitem direcionar o fluxo de água para os tabuleiros e recolher a mesma para o depósito. Os tubos de entrada de água nos tabuleiros têm 15 mm de diâmetros, enquanto os de saída são de 20 mm, garantindo um bom escoamento de água.

Válvulas-sifão. Foram colocadas válvulas-sifão feitas de HDPE no orifício de saída de água, em cada tabuleiro, sendo estas depois ligadas ao tubo de saída de água para, mais uma vez, facilitar o escoamento de água. Ver Anexo 2.

Sistema de ventilação

Ventoinhas. Instalou-se duas ventoinhas por módulo – uma no nível 2 e um ano nível 3 – dando um total de 4 ventoinhas para garantir a circulação de ar e controlo de humidade. Ver Figura 13.

Grelhas de ventilação. Na parede oposta a cada ventoinha instalou-se uma grelha de ventilação para garantir a saída do ar com maior humidade relativa para o exterior. Ver Figura 14.

Equipamento de controlo de condições ou monitorização

Data logger. A partir do momento em que a produção de microgreens de rabanetes entrou em modo de cruzeiro – ou seja, o sistema já não funcionava em modo de teste de culturas e condições de funcionamento – procedeu-se ao registo dos valores de humidade relativa, temperatura e níveis de CO₂ no interior do módulo durante o crescimento. O *data logger* – modelo C.A 1510 da marca *Chauvin Arnoux* - recolhia dados a cada 1 minuto. A sua ficha técnica encontra-se no Anexo 3.

Temporizadores. Usaram-se temporizadores analógicos para regular os intervalos de tempo em que os aparelhos se encontram a funcionar – incluindo as lâmpadas, a bomba de água, e as ventoinhas. Na teoria, as ventoinhas podiam funcionar sem intervalos, contudo de maneira a evitar sobreaquecer este aparelho, estas foram programadas para ter períodos de descanso também. Ver Figura 15.

Medidor de energia. Usou-se um medidor de energia colocado diretamente na ficha elétrica, da marca *Perel* para obter as potências das lâmpadas LED, das ventoinhas e da bomba de água, de forma a poder estimar os seus consumos de energia posteriormente. Ver anexo 4.

Produção

Sementes. Numa primeira etapa, usaram-se diferentes tipos de sementes de microgreens, para depois proceder à escolha de uma única cultura. Testaram-se sementes de microgreens de rúcula (*Eruca sativa*), brócolos (*Brassica oleracea botrytis cymosa*), agrião da terra (*Lepidium sativum*) e rabanete (*Raphanus sativus*), sendo que a escolha final recaiu sobre as sementes de microgreens de rabanete, por estes terem apresentado um crescimento mais acelerado e produzirem uma planta maior. Um ciclo de produção curto (cerca de 10 dias desde a sementeira até à colheita) era do interesse do estudo em questão, uma vez que possibilitava a realização de mais ensaios experimentais num dado período. Ver Anexo 5.

Substrato. O substrato escolhido foi um tapete de cânhamo compostável. O tapete não é reutilizável na medida em que, uma vez que foi semeado, ocorreu o crescimento e foi feita a colheita de um lote de microgreens num dado tapete, este irá conter as raízes, o biofilme e possivelmente vestígios de fungo deste lote com os quais não se quer contaminar o lote seguinte. Assim sendo, na altura da sementeira de um lote novo, é colocado um tapete de cânhamo novo, de dimensões, 30x60cm, no fundo do tabuleiro de cultivo. Ver Figura 16.

Solução nutritiva. Para preparar a solução nutritiva que circula no sistema misturou-se o concentrado nutritivo *Aqua Vega A* e *Aqua Vega B* com água da torneira, nas proporções indicadas no rótulo do produto. Ver Anexo 6.

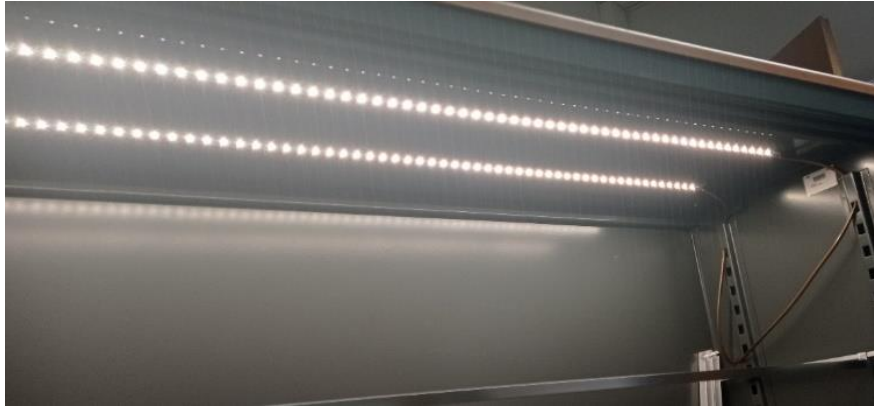


Figura 9. Fitas LED que servem de iluminação às plantas no módulo 1.



Figura 10. Lâmpadas LED que servem de iluminação no módulo 2.



Figura 11. Processo de medida e corte da tubagem.



Figura 12. Detalhe do sistema de circulação de água. Interface do tudo bom a válvula de escoamento no fundo de um tabuleiro de cultivo.

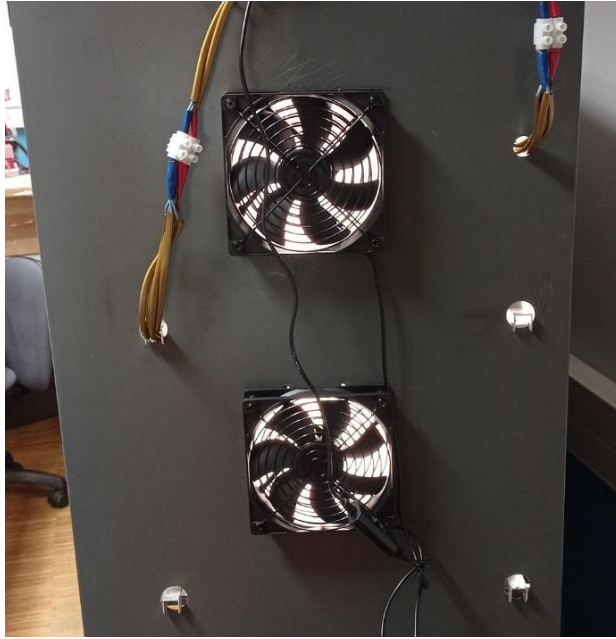


Figura 13. Ventoinhas no nível 1 e 2 de um módulo de cultivo que permitem a circulação de ar no seu interior.



Figura 14. Grades de ventilação instaladas do lado oposto das ventoinhas.

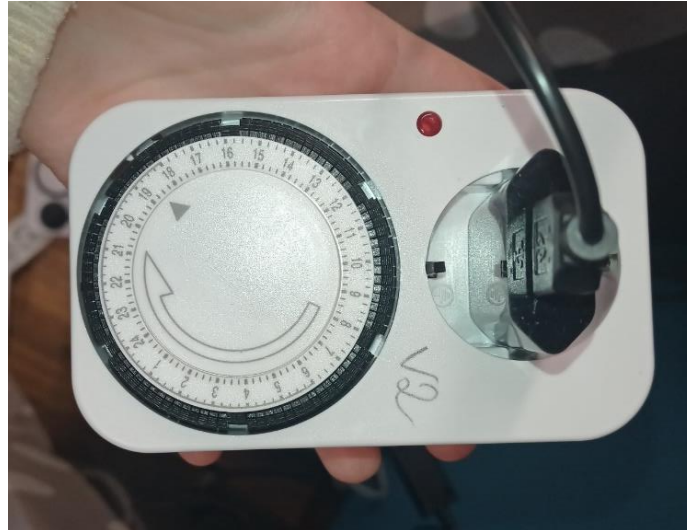


Figura 15. Temporizador analógico dos que se usaram para controlar os intervalos de funcionamento dos equipamentos de ventilação, de iluminação e de bombagem de água.



Figura 16. Um tapete/substrato de cânhamo de dimensões 0,6x0,3 m com sementes, prestes a ser colocado a germinar.

3.3 Processo de construção

A construção de cada módulo baseou-se na alteração do armário original de forma a acomodar os sistemas de iluminação, de irrigação e de ventilação, garantindo um compromisso entre providenciar acessibilidade ao operador, a sua funcionalidade e a simplicidade do mesmo.

Começou-se por retirar as portas do armário para estas serem substituídas por um plástico de correr.

De seguida, instalou-se a iluminação no nível 2 e nível 3 de ambos os sistemas. A ideia de ter, no Sistema 1, uma iluminação diferente da iluminação no Sistema 2 foi a de comparar uma abordagem mais DIY (módulo 1 com fitas LED) com uma abordagem que usa equipamento de iluminação próprio para a horticultura (módulo 2 com LED, de maior potência).

A instalação do sistema de irrigação implicou furar as prateleiras de alumínio pré-existentes, bem como os tabuleiros de plástico que se colocaram sobre as primeiras, de forma a possibilitar a inserção de tubos de entrada e saída de água. Ver Figura 17.

Quanto ao sistema de ventilação, os primeiros ensaios de cultivo de microgreens foram efetuados quando este ainda não estava instalado, o que significa que o ar dentro do módulo estava estagnado. Tal resultou numa elevada condensação nas paredes internas do módulo – indicativa de elevados níveis de humidade – e na proliferação de fungos no substrato e nas plantas. Estes dois problemas encontram-se ilustrados na Figuras 18 e 19, respetivamente. Assim, concluiu-se que era fulcral haver um mecanismo de circulação de ar de forma a haver um controlo da humidade.

A sistema de ventilação foi colocado no lugar ao fazer um orifício de cada lado dos níveis 2 e 3, em ambos os módulos. Em cada nível mencionado, de um lado encontra-se uma ventoinha que insufla o ar do exterior para o interior e do lado oposto uma grelha de ventilação por onde o ar sai para o exterior, como se encontra ilustrado na Figura 20.

Não foi instalada ventilação no nível 1, uma vez que no tabuleiro da germinação é do nosso interesse conservar a humidade do substrato e das sementes para promover a germinação mais rápida das mesmas.



Figura 17. Furos a serem feitos nos tabuleiros para permitir a passagem da válvula e do tubo de drenagem de água.



Figura 18. Condensação visível no interior da separatória de plástico, indicativa de um excesso de humidade relativa no interior do módulo.



Figura 19. Propagação de fungo no substrato nos primeiros ensaios em que ainda não havia ventilação no módulo.



Figura 20. O sistema de ventilação, que consiste de uma ventoinha e uma grelha de ventilação do lado oposto, no nível 2 e nível 3.

3.3 Aprimoramento da espécie de microgreens a usar no estudo

Nesta primeira fase de ensaios não se usou o Datalogger para recolher os valores de temperatura, humidade e níveis de CO₂, uma vez que o objetivo nesta etapa era escolher a cultura a cultivar. Um segundo objetivo é perceber com que frequência é necessário que a bomba se ligue para pôr a solução nutritiva a circular, e tal dependerá do nível de retenção do substrato de cânhamo.

Optou-se por um fotoperíodo de 16h seguido de 8h de escuridão, num ciclo de 24h.

Padronizou-se a área do tapete de cânhamo, sendo que se usou sempre retângulos de dimensões 0,3 x 0,6 m.

Testaram-se quatro culturas de microgreens diferentes, bem como se ajustou a massa de sementes a distribuir pela área do substrato. As culturas e as massas de sementes, bem como outros aspetos importantes do processo do seu cultivo encontram-se resumidos na Tabela 3. A Figura 21 ilustra o esquema de ensaios experimentais feitos com as quatro espécies de microgreens, na qual cada bloco representa um lote de microgreens cultivado. A tonalidade mais escura de cada bloco representa a fase escura, ou a germinação, do lote e a tonalidade mais clara representa a fase de crescimento com exposição à luz. Os números em cada bloco vertical são, respetivamente, a duração da fase da germinação, a duração da fase de crescimento com exposição à luz e a duração total.

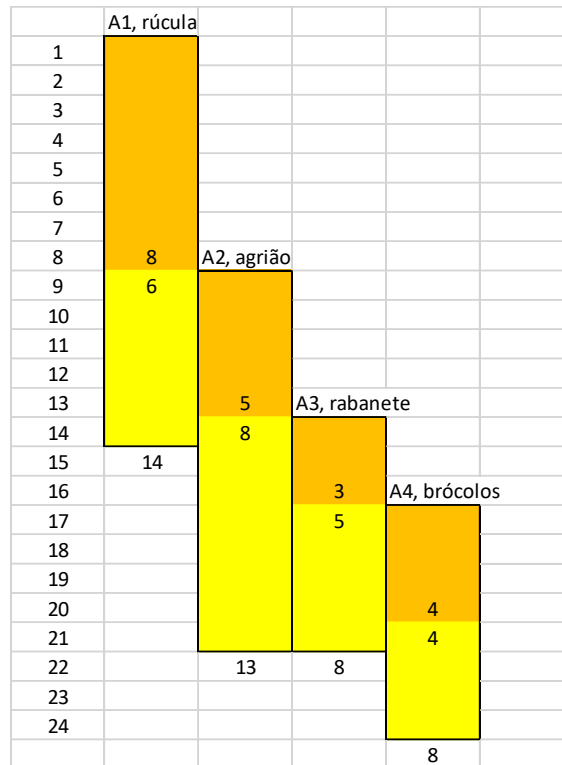


Figura 21. Esquema de ensaios experimentais de cultivo de quatro espécies diferentes de microgreens

Rapidamente ficou evidente que o tapete de cânhamo retém muito bem a água e que mesmo programando a bomba a entrar em funcionamento apenas uma vez em 24h, durante apenas 15 minutos, o substrato retinha a humidade. Como consequência, as raízes das plantas encontravam-se o tempo inteiro em contacto com o substrato sobressaturado, o que aliado à falta de ventilação criou um ambiente muito propício ao crescimento de fungos no substrato, na maioria das culturas estudadas. Em termos de peso de sementes, 20g resultaram numa densidade satisfatória de sementes na área de estudo.

O número de dias em que as sementes se mantiveram a germinar no escuro, seguido do número de dias de crescimento com exposição à luz – e, portanto, a duração total do cultivo desde a sementeira até à colheita – não estavam pré-determinados. Estes períodos vão sendo determinados observando o estado das sementes e das plantas e percebendo se já está na altura de passar para a etapa seguinte. Observou-se também que duração total de cultivo é também um fator que contribui para a presença e grau de proliferação de fungos: quanto mais tempo é preciso a planta ficar no tabuleiro para atingir um tamanho satisfatório para a colheita, mais fungos se instalam.

Os microgreens de rabanete atingiram um tamanho e densidade muito superiores às restantes culturas estudadas, e num período mais curto. Para além disso, estes microgreens são caracterizados por terem as plantas mais viçosas. Tal pode explicar a ausência de fungos neste tabuleiro, pois para terem estas características as plantas consomem mais água, deixando menos humidade no substrato. Há, portanto, uma colheita maior, num período mais curto, e num ambiente sem fungos visíveis e sem mau-cheiro, comparativamente com os microgreens de

rúcula, de agrião e de brócolos, fazendo dos microgreens de rabanete o candidato ideal para proceder com um estudo mais detalhado.

Tabela 3. Dados relativos ao cultivo de microgreens na fase de escolha da espécie, de entre as 4 opções de espécies de microgreens.

Cultura	Rúcula	Agrião	Rabanete	Brócolos
m sementes (g)	10	20	20	20
Duração cultivo(d)	14	13	8	8
Fase escura/ germinação (d)	8	5	3	4
Fase com luz/ crescimento (d)	6	8	5	4
h max das plantas (cm)	7,5	7,5	15	8
m produto final colhido(g)	-	77	320	-
Presença de fungo	Sim	Sim	Não visível	Sim
Cheiro	Desagradável, abafado	Desagradável, abafado	Sem cheiro	Desagradável, abafado



Figura 21. Comparação dos lotes A1, A2, A3 e A4 nos seus respectivos dias de colheita.

3.4 Ensaios experimentais com microgreens de rabanete

Nesta etapa prosseguiu-se então, com o cultivo exclusivo de microgreens de rabanete.

As variáveis fixas nestes ensaios são: a área do tapete de cânhamo de 0.18 m² (ver equação 1), o fotoperíodo de 20h, a massa de sementes por lote de microgreens de 20 g, a frequência e duração da circulação da solução nutritiva, que é duas vezes em 24 h por um período de 15 minutos, e períodos de funcionamento das ventoinhas, que é em blocos de 3,5h pontuados de intervalos de 0,5h de descanso.

$$A = 0,3 (m) \times 0,6 (m) = 0,18 (m^2) \quad (eq. 1)$$

Foram feitos ensaios com as condições acima descritas no Módulo 1 e no Módulo 2, com lotes de microgreens a serem cultivados em paralelo. A fonte de luz no Módulo 1 são fitas LED de 5W e a fonte de luz no Módulo 2 são lâmpadas LED de 26W. Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se resumidas as medições de intensidade da luz no Módulo 1 e no Módulo 2, respetivamente, utilizando 2 aplicações de telemóvel diferentes com função de luxómetro. Comparando os valores médios de luminosidade obtidos em M1 e M2 com os valores de referência da Tabela 6, conclui-se que os primeiros se encontram num intervalo que corresponde a um dia normal, não encoberto, sendo que a média para M1 encontra-se perto do limite inferior e a média para M2 encontra-se perto do limite superior deste intervalo.

Os dados registados como resultado dos ensaios foram: a duração total do cultivo de cada lote, a duração da fase de germinação de cada lote, a duração da fase de crescimento de cada lote, e a massa de produto final, consumível, resultante de cada lote. Durante o funcionamento dos módulos foram registados dados relativos à humidade relativa do ar, temperatura do ar e níveis de CO₂ no interior somente do módulo 2, uma vez que o equipamento usado para tal é um data logger, que era único.

A variação da humidade relativa, temperatura e níveis de CO₂ são discutidos no capítulo 4, secção 4.1. As durações da fase escura, fase de crescimento e total de cada lote, bem como a massa de produto, h_{max} e a presença ou ausência de fungos estão resumidos nas Tabelas 7, 8, 9 e 10. É importante notar que os valores na tabela para h_{max} , para $m_{produto}$ e para a presença de fungos correspondem ao dia da colheita – o último dia.

A Figura 22 ilustra o esquema dos ensaios experimentais com microgreens de rabanete.

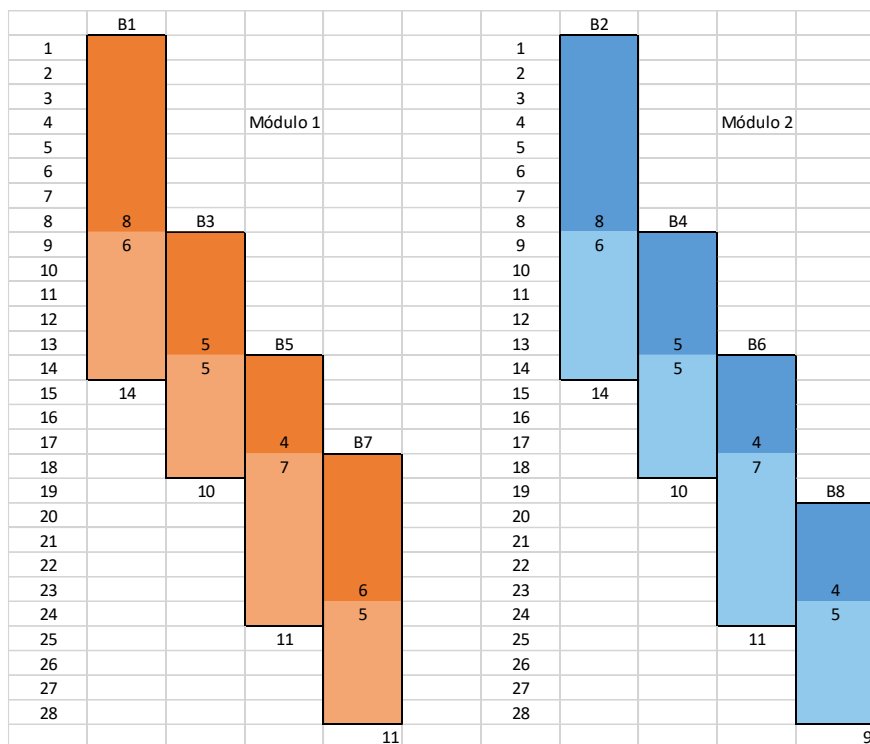


Figura 22. Esquema dos ensaios experimentais com microgreens de rabanete, com lotes a serem produzidos em paralelo no módulo 1 e no módulo 2.

Tabela 4. Estimativa da intensidade da luz no módulo 1

Aplicação	Valores lidos para M1 (lux)	Média por App (lux)	Média para M1 (lux)
"Lux Light Meter"	13181	12975	13351
	12932		
	12812		
"Luxímetro"	13810	13727	
	13510		
	13860		

Tabela 5. Estimativa da intensidade da luz no módulo 2.

Aplicação	Valores lidos para M2 (lux)	Média por App (lux)	Média para M2 (lux)
"Lux Light Meter"	22271	21779	22464
	20688		
	22377		
"Luxímetro"	22810	23150	
	23190		
	23450		

Tabela 6. Intensidades de luz em lux e o seu equivalente em termos de luz natural [33]

Natural Light Condition	Typical Lux
Direct Sunlight	32,000 to 100,000
Ambient Daylight	10,000 to 25,000
Overcast Daylight	1000
Sunset & Sunrise	400
Moonlight (Full moon)	1
Night (No moon)	< 0.01

M1 M2

Tabela 7. Dados de cultivo dos lotes B1 e B2.

	B1	B2
Duração total (d)	14	14
Germinação (d)	8	8
Crescimento (d)	6	6
h max (cm)	8,5*	12,5
m produto (g)	-	214
Presença de fungo	Não	Sim, pouco e localizado

Tabela 8. Dados de cultivo dos lotes B2 e B3.

	B3	B4
Duração total (d)	10	10
Germinação (d)	5	5
Crescimento (d)	5	5
h max (cm)	12,5	13
m produto (g)	194	243
Presença de fungo	Não	Sim, pouco e localizado

Tabela 9. Dados de cultivo para os lotes B5 e B6.

	B5	B6
Duração total (d)	11	11
Germinação (d)	4	4
Crescimento (d)	7	7
h max (cm)	13	13,3
m produto (g)	216	353
Presença de fungo	Sim, pouco e localizado	Sim, pouco e localizado

Tabela 10. Dados de cultivo para os lotes B7 e B8.

	B7	B8
Duração total (d)	11	9
Germinação (d)	6	4
Crescimento (d)	5	5
h max (cm)	13	13
m produto (g)	170	294
Presença de fungo	Sim, pouco e localizado	Sim, pouco e localizado

*No 10º dia. Uma vez que entre o dia 10 e 14 a cultura murchou devido ao encravamento do temporizador que controla o funcionamento da bomba de água em M1. Tal provocava o funcionamento irregular da bomba de M1, o que prejudicou os lotes B1 e B3. Após a substituição do temporizador o problema ficou resolvido.

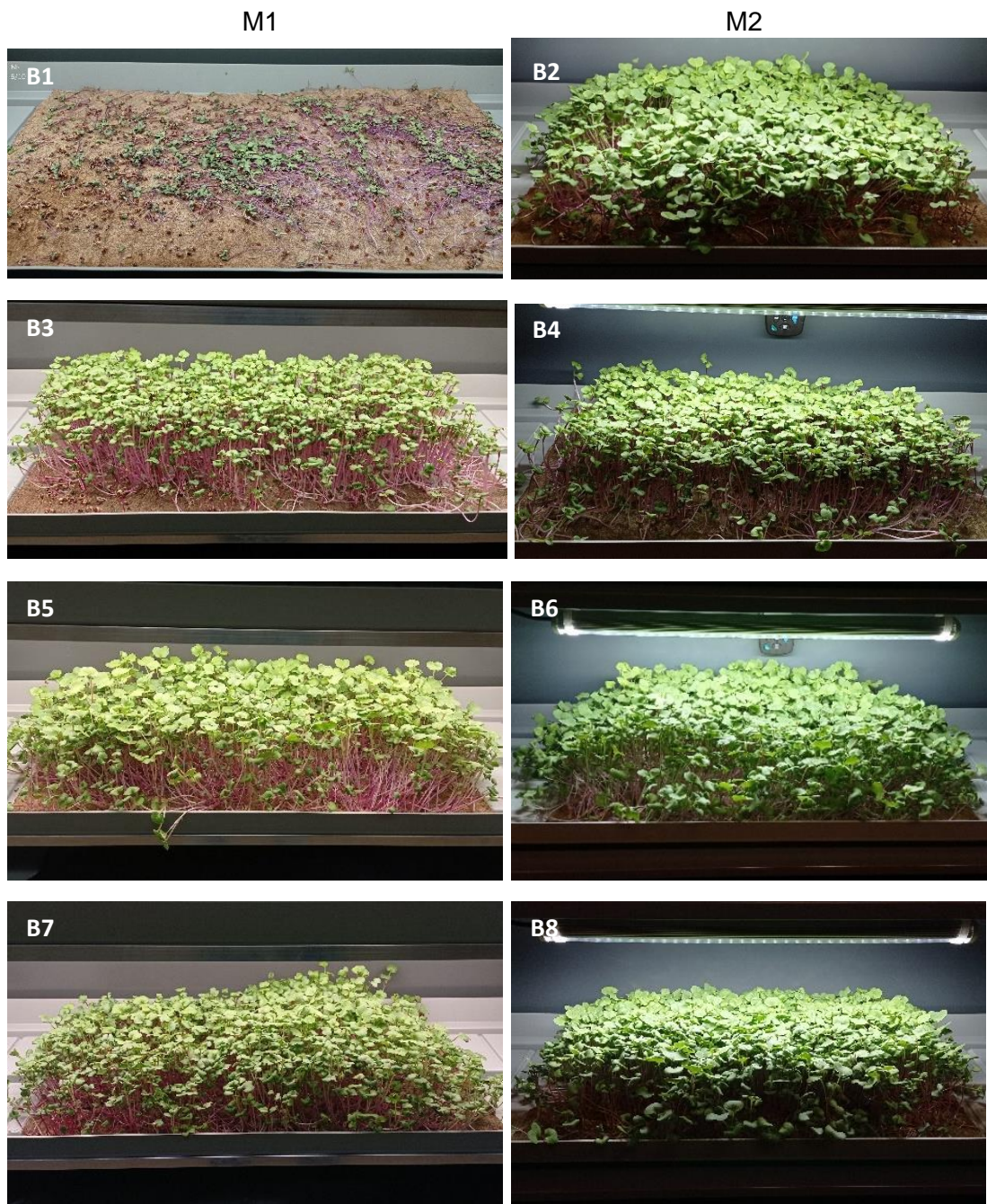


Figura 23. Comparação do resultado de cada lote de microgreens de rabanete, em que a coluna da esquerda são os lotes produzidos em M1 e a coluna da direita são os lotes produzidos em M2.

Como o módulo 2 funcionou sem anomalias na irrigação, e como, mesmo independentemente desse fator, os lotes produzidos neste módulo têm mais peso em termos de produto útil, umas plantas mais homogêneas em termos de altura e distribuição, decidiu-se que a média das massas de produto final vai ser calculada com base nos lotes cultivados neste módulo. Assim, a massa produzida, por tabuleiro, no módulo 2, em média é 276 g, com desvio-padrão de 61,1.

Devido ao aspeto e homogeneidade superiores das plantas no módulo 2 nos lotes não afetados pela anomalia na rega, conclui-se que a lâmpada LED de 26W concebida especificamente para

a horticultura no interior dá resultados melhores dos que as fitas LED de menor potência no módulo 1, apesar de estas últimas produzirem lotes viáveis também. As fitas LED também teriam a vantagem de consumirem menos eletricidade.

Em termos de irrigação, concluiu-se que a frequência e períodos de rega proporcionam submersão do tapete de cânhamo durante o funcionamento da bomba, o que aliado ao facto de as ventoinhas secarem o excesso de água no substrato quando a bomba estava desligada, proporcionou um bom resultado, pois as plantas recebiam água e nutrição num curto período de tempo, mas não se encontravam em humidade excessiva o tempo todo. Isto reitera a significância de um sistema de ventilação eficaz no controlo de fungos. É de notar que quando o fungo começa a ser visível só se encontra no substrato e em forma de focos pequenos e localizados.

Apesar de nos ensaios feitos a colheita ser feita a partir do dia 10, observou-se que a duração total ótima é de aproximadamente 8 dias, uma vez que até aos 8 dias não se observa fungos no substrato, sendo que estes começam a aparecer a partir do dia 10. Aos 8 dias a planta apresenta um compromisso entre estar desenvolvida o suficiente para ter o sabor e aspeto pretendidos e ser cedo o suficiente para ainda não ter desenvolvido fungo. Outro fator a favor de uma colheita antes dos 10 dias é o aparecimento de biofilme no tapete de cânhamo nos últimos dias quando o cultivo é de maior duração.

Uma conclusão fundamental destes ensaios foi que não era necessário fazer um nível 3 no módulo de produção, uma vez que devido aos curtos períodos de cultivo não se usou a segunda prateleira de crescimento (nível 3). Assim, torna-se claro que o módulo em questão é desproporcionalmente grande para a quantidade de microgreens que produz e tal vai inflacionar os impactes ambientais estimados no Capítulo 4. Na Figura 10 pode ser observado que há uma lâmpada no nível 2 e outra no nível 3, mas o seu funcionamento era independente, pelo que a luz esteve ligada apenas no nível 2. O mesmo não foi possível fazer para as ventoinhas, uma vez que o interruptor era comum às ventoinhas de ambos os níveis. Assim, houve desperdício de energia na forma de ventilação de um nível inutilizado.

4. Análise de resultados

4.1 Monitorização de humidade, temperatura e níveis de CO₂ num módulo de produção de microgreens de rabanete

De acordo com os dados recolhidos no dia 22 de outubro de 2022 pelo *data-logger* na sala onde se encontravam os módulos produtores de microgreens (condições ambiente) a temperatura, humidade relativa e concentração de CO₂ no ar foram 25,5°C, 55,5% e 455 ppm, respetivamente. É razoável assumir que estes valores médios de temperatura e humidade média são aplicáveis

a todo o período de cultivo de microgreens de rabanete (entre 25 de setembro e 24 de outubro), pois a sala possui ar condicionado que costuma estar ligado a tempo inteiro. Os níveis de CO₂ na sala dependem do uso da sala, uma vez que se trata de um laboratório colaborativo onde por vezes ocorrem reuniões que implicam aglomeração de pessoas e, portanto, acumulação de CO₂ durante curtos períodos.

Quando a funcionar sem as ventoinhas ligadas, os valores médios de T, H e CO₂ dentro do módulo são 25,4°C, 76,3% e 540 ppm, como indicado na Tabela 11 juntamente com os limites máximos e mínimos do intervalo de medição. O correspondente gráfico está na Figura 23. Tal como mencionado, o nível de CO₂ é uma variável mais sensível ao uso da sala, o que poderia explicar o pico observado no gráfico. A medição foi feita durante dois dias.

Tabela 11. Mínimo, média e máximo para o nível de CO₂, T e HR dentro do módulo 2 no intervalo de tempo em que a ventilação esteve desligada.

Channel	Color	Cursor VAL	Window MIN	Window AVG	Window MAX
Carbon Dioxide	Blue	735 ppm	445 ppm	540 ppm	946 ppm
Temperature	Black	25,5 °C	24,7 °C	25,4 °C	26,4 °C
Relative Humidity	Green	72,7 %	62,6 %	76,3 %	80,5 %

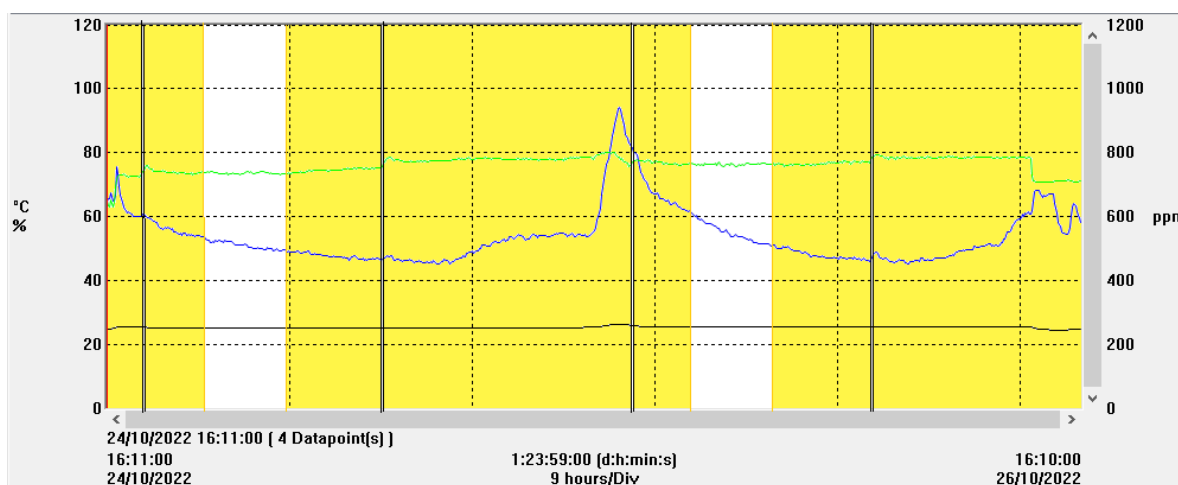


Figura 24. Variação dos níveis de CO₂, T e HR dentro do módulo 2 no intervalo de tempo em que a ventilação esteve desligada. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 7.

Quanto ao funcionamento do módulo 2 com as ventoinhas ligadas, observa-se uma forte correlação entre os níveis de humidade com os intervalos de funcionamento das ventoinhas, como se pode ver na Figura 24. Os níveis de CO₂ também são afetados e a temperatura, numa menor extensão, também é. Tal evidencia-se nos pequenos picos que se observam a cada 4 horas que no gráfico de T, no de H e no de CO₂, coincidentes com a paragem das ventoinhas: elas param de funcionar a cada 4 horas, por 30 minutos, para evitar sobreaquecer.

Outra correlação é que, quando as luzes se desligam – entre as 21h e as 01h – é visível um ligeiro aumento de HR, e uma pequena diminuição da T. No entanto, não se verificou uma correlação entre os níveis de CO₂ e os intervalos de funcionamento de luz mantendo-se os níveis de CO₂ bastante constantes, pontuados pelos picos induzidos pelo desligar regular das ventoinhas.

O início e o final dos gráficos devem ser desconsiderados, uma vez que é quando o sistema é aberto para colocar o *data logger* no lugar ou retirar o *data logger* para transferir os dados para o computador, ou seja o ambiente no interior foi perturbado nestes momentos e as irregularidades observadas no gráfico no início e no final do período em questão correspondem a esses momentos.



Figura 25. Variação do nível de CO₂, T e HR dentro do módulo 2 com a ventilação ligada. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 8.

4.2 Recursos consumidos num módulo de produção de microgreens de rabanete

Partindo da média de output de produto por tabuleiro aquando da sua colheita, estimou-se quanto tempo levaria o módulo 2 a produzir um total de 1 kg de microgreens de rabanete.

$$\bar{m}_{\text{produto}} = 276 \frac{g}{\text{tabuleiro}} \quad (\text{eq. 2})$$

Considerando que o número de dias ótimo, desde a sementeira até à colheita, são 8, e que a fase de germinação leva 4 dias no nível 1, seguida de 4 dias de crescimento no nível 2 para um certo lote de microgreens, verifica-se que a cada 4 dias se pode semear um novo lote (pois a cada quatro dias o lote que está numa determinado nível sobe para o nível seguinte, libertando

o nível onde se encontrava anteriormente) e que, portanto, também sai um lote de microgreens pronto a colher.

4 dias está para 276 g como 14,5 dias estão para 1 kg de microgreens, que se arredondou para 15 dias.

$$\frac{4 \text{ dias}}{276 \text{ g microgreens}} \times 1000 \text{ g microgreens} = 14,5 \text{ dias} \approx 15 \text{ dias} \quad (\text{eq. 3})$$

Nas secções seguintes calculou-se a quantidade de energia elétrica, água e nutrientes se consumiu num período de 15 dias de funcionamento de um módulo como o módulo 2, ou seja, para produzir 1 kg de microgreens de rabanete.

4.2.1 Energia elétrica

Considerou-se o somatório dos consumos de eletricidade de todos os aparelhos do módulo 2. A Tabela 12 resume as potências individuais, que serviram de base de cálculo para os consumos de eletricidade no período considerado, e o consumo energético geral resultante. A medição da potência foi realizada usando um medidor de energia de ficha.

Obteve-se, então, um valor de 9,075 kWh gastos na operação do Módulo 2 durante 15 dias, para produzir 1 kg de microgreens de rabanete. A Figura 25 ilustra a distribuição dos consumos de eletricidade parciais, no Módulo 2.

Tabela 12. Horas de funcionamento por dia, potência e consumo elétrico acumulado do equipamento do módulo 2.

	Horas em funcionamento (h/dia)	Potência (W)	Consumo elétrico acumulado em 15 dias (kwh)
Lâmpada LED	20	26,4	7,92
Ventoinhas	21	3,4	1,071
Bomba de água	0,5	11,2	0,084
Total	-	-	9,075

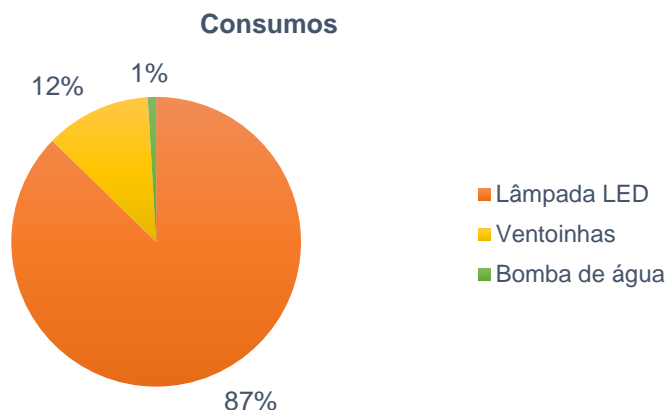


Figura 26. Distribuição dos consumos da bomba de água, ventoinha e lâmpada LED no módulo 2, relativamente ao consumo total do módulo.

4.2.2 Água

Considerou-se a quantidade de água gasta na preparação (e renovação regular) da solução nutritiva no período considerado. A solução antiga era descartada, o reservatório lavado e uma solução nova era preparada a cada 7 dias. Apesar de o reservatório usado ter uma capacidade de 47 L, apenas se preparava 15 L de solução nutritiva, uma vez que a escala de produção não justificava um volume superior a esse. Por outro lado, a bomba de água que se encontra dentro do reservatório precisa de estar totalmente coberta de água e 15 L de solução é o volume mínimo que permitia isso. Portanto, no espaço de tempo de 15 dias, é preciso preparar 15 L de solução duas vezes, totalizando um consumo de 30 L de água por 1 kg de microgreens, como calculado na equação 4.

Apesar de também ter sido gasta água na limpeza dos tabuleiros e dos reservatórios de solução nutritiva, esta não foi quantificada.

$$15 \text{ L} \times 2 = 30 \text{ L de água por kg de microgreens (eq. 4)}$$

A frequência de troca da solução nutritiva por uma nova foi ditada pelo estado de poluição da água circulante, pois verificou-se que devido ao biofilme que se ia formando no substrato de cânhamo ao longo dos dias, esperar mais do que 7 dias para trocar a solução implicava ter água mais suja a circular.

4.2.3 Nutrientes

Na preparação da solução nutritiva usou-se uma solução concentrada de nutrientes para o cultivo de plantas em sistemas de hidroponia, que é constituído por dois líquidos: “Aqua Vega A, Adubo Fluido Composto NK 5-3 com Fe e Mn” (AVA) e “Aqua Vega B, Adubo Fluido Composto PK 3-4 com micronutrientes” (AVB), da marca CANNA. Ver Anexo 6 para consultar o produto mencionado.

Segundo as instruções do produto, para 10 L de água é necessário adicionar 20 mL de AVA e 20 mL de AVB. Portanto, para 15 L de água, como é o nosso caso, adicionou-se 30 mL do primeiro e 30 mL do segundo. Isso totaliza, um gasto de 60 mL de AVA e 60 mL de AVB em 15 dias / para produzir 1 kg de microgreens.

As Tabelas 13 e 14 resumem as percentagens de nutrientes indicadas no rótulo do AVA e AVB, respetivamente, bem como uma estimativa da quantidade de cada um desses compostos gasta na produção de 1 kg de microgreens.

Tabela 13. As percentagens em massa de cada composto na solução nutritiva Aqua Vega A (AVA) e o consumo total desses compostos por kg de microgreens úteis produzidos.

	% em massa no adubo concentrado	Kg de composto por kg de microgreens
Azoto total	5	$3,00 \times 10^{-3}$
Azoto amoniacal	1,1	-
Azoto nítrico	3,9	-
Óxido de Potássio (K₂O)	2,6	$1,56 \times 10^{-3}$
Óxido de Cálcio (CaO)	2,3	$1,38 \times 10^{-3}$
Óxido de Magnésio (MgO)	1,3	$7,80 \times 10^{-4}$
Fe quelatado por DTPA	0,02	$1,20 \times 10^{-5}$
Fe quelatado por EDDHA	0,02	$1,20 \times 10^{-5}$
Mn quelatado por DTPA	0,01	$6,00 \times 10^{-6}$

Tabela 14. As percentagens em massa de cada composto na solução nutritiva Aqua Vega B (AVB) e o consumo total desses compostos por kg de microgreens úteis produzidos.

	% em massa no adubo concentrado	Kg de composto por kg de microgreens
Pentóxido de fósforo (P₂O₅)	2,6	$1,56 \times 10^{-3}$
Óxido de potássio (K₂O)	4,2	$2,52 \times 10^{-3}$
Trióxido de enxofre (SO₃)	2,6	$1,56 \times 10^{-3}$
Boro total (B)	0,01	$6,00 \times 10^{-6}$
Manganês total (Mn)	0,02	$1,20 \times 10^{-5}$
Molibdénio total (Mo)	0,003	$1,80 \times 10^{-6}$
Zinco total (Zn)	0,01	$6,00 \times 10^{-6}$

4.3 Avaliação do ciclo de vida dos microgreens de rabanetes

Para a avaliação do ciclo de vida dos microgreens usou-se o software SimaPro na sua versão 9.4.0.1 e recorrendo à base de dados Ecoinvent 3. A unidade funcional é 1 kg útil de microgreens de rabanete produzido.

No ciclo de vida dos microgreens considerou-se a etapa de produção de microgreens – todos os materiais e processos que a integram – e o cenário de fim de vida do módulo de produção de microgreens e do equipamento que o compõe. Para especificar os materiais e os processos que

implicam a produção de microgreens e o cenário de fim de vida do equipamento usou-se a base de dados do SimaPro.

É de mencionar que, apesar de o software utilizado possuir uma base de dados extensa, certos materiais não constam nela. Por essa razão, recorreu-se a algumas simplificações.

Inventário de ciclo de vida

A massa do módulo, da ventoinha e da lâmpada LED utilizada por cada kg de microgreens produzidos ao longo da vida deste equipamento foi calculada dividindo a massa de cada um pelo número de quilos de microgreens produzidos no período de vida estimada para os equipamentos, que para o módulo e para a lâmpada LED foram considerados 10 anos, e para a ventoinha 5 anos. Não foi encontrada uma bomba de água de dimensões adequadas na base de dados do SimaPro, pelo que para a simular duplicou-se a ventoinha, pois a bomba e a ventoinha em questão têm massas, dimensões e materiais semelhantes.

A Tabela 15 mostra o inventário da ACV dos microgreens de rabanete considerado no software de análise.

Tabela 15. Inventário da análise do ciclo de vida dos microgreens de rabanete

Tipo	Categoria	Materiais	Unidade	Quantidade	Quantidade total (kg)
Infra-estrutura	Módulo de produção	Chapa de aço	kg/kg de microgreens	$1,25 \times 10^{-1}$	25
		Madeira		-	3
	Tabuleiros de cultivo	HDPE		$3,33 \times 10^{-2}$	4
	Depósito de rega	HDPE		$8,30 \times 10^{-3}$	1
	Ventoinhas	Variados		$3,33 \times 10^{-3}$	4×10^{-1}
	Lâmpadas LED	Variados		$1,50 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-1}$
Inputs	Eletricidade	-	kWh/ kg de microgreens	9,075	
	Água	Água da torneira	L/kg de microgreens	30	
	Sementes	-	kg/kg de microgreens	$8,00 \times 10^{-2}$	
	Nutrientes	N total		$3,00 \times 10^{-3}$	
		K ₂ O		$1,56 \times 10^{-3}$	
		MgO		$7,80 \times 10^{-4}$	
		P ₂ O ₅		$1,56 \times 10^{-3}$	
SO ₃		$1,56 \times 10^{-3}$			

O consumo de nutrientes presentes no fertilizante utilizado foi introduzido selecionando os compostos que se encontravam na base de dados, sendo que nem todos estavam presentes, como o óxido de cálcio (CaO), o ferro quelatado por DTPA, o ferro quelatado por EDDHA e o manganês quelatado por DTHA. Outra razão para não terem sido introduzidos todos os compostos químicos presentes no rótulo do fertilizante é o rótulo não especificar qual é o composto, indicando, por exemplo, "Boro total" em vez do composto químico exato. Este era o caso do Boro, Magnésio, Manganês e Zinco. Assim sendo, os compostos cujos consumos em kg de composto por kg de microgreens foram introduzidos na análise do ciclo de vida da

produção de microgreens e que podem ser consultados nas Tabelas 13 e 14 da secção 4.2.3 foram: o azoto (N) total, o óxido de potássio (K_2O), o óxido de magnésio (MgO), o pentóxido de fósforo (P_2O_5) e o trióxido de enxofre (SO_3).

Admitiu-se que a chapa de aço do módulo é 100% reciclada. A separação e posterior valorização dos restantes materiais integrantes do módulo de produção não foram incluídos no cenário de fim-de-vida, por questões de simplicidade.

Avaliação do ciclo de vida dos microgreens

O impacte ambiental do ciclo de vida dos microgreens de rabanete, em termos de emissões de gases com efeito de estufa, é de 4,16 kg de CO_{2eq} , sendo que o maior contributo para este valor é o consumo de eletricidade pelo conjunto dos aparelhos envolvidos na produção, com 2,55 kg CO_{2eq} por 1 kg de microgreens. A produção do hardware – módulo, ventoinhas, bomba de água e lâmpada LED – contribui com 0.224, 0.0878 (para o conjunto ventoinhas e bomba de água), e 0,35 kg CO_{2eq} por 1 kg de microgreens, respetivamente.

A reciclagem da chapa de aço do módulo evita a emissão de 0.163 kg CO_{2eq} por kg de microgreens. A Figura 26 mostra parte do ciclo de vida dos microgreens.

Ao observar o fluxograma do ciclo de vida dos microgreens, é possível identificar onde podem ser feitas otimizações para diminuir os impactos deste ciclo de vida. Por exemplo, se se usasse um módulo de menores dimensões, já que se concluiu que este era desnecessariamente grande e tinha uma prateleira a mais, e se usasse um fotoperíodo mais curto para as plantas (como 16 ou 18 h de luz), juntamente com uma valorização cuidadosa dos equipamentos no processamento de fim de vida o impacte ambiental em kg de CO_{2eq} por kg de microgreens certamente iria diminuir. O impacte da adubação dos microgreens através da preparação da solução nutritiva não aparece no fluxograma, pois o *threshold* escolhido para a apresentação dos resultados foi de 2%, ou seja, os impactes que sejam inferiores a esse valor não são mostrados. O que leva à conclusão de que o impacte ambiental dos nutrientes considerados na ACV é inferior a essa percentagem e é pouco relevante comparativamente com os restantes fatores.

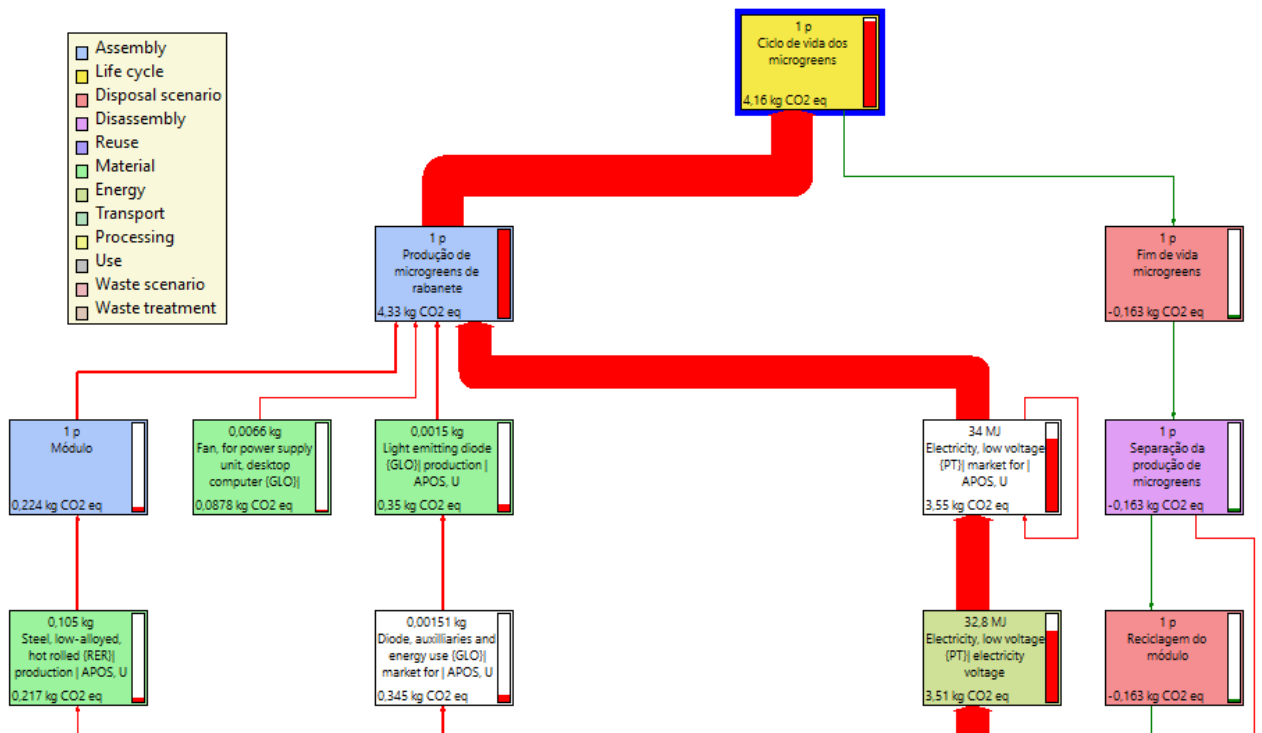


Figura 27. Ampliação da network do ciclo de vida dos microgreens de rabanete obtido no software SimaPro. Pode ser consultada na sua totalidade no Anexo 9.

As categorias ambientais que foram consideradas na análise de impactos pelo método *ReCiPe 2016 Midpoint E V1.07 / World (2010) E* foram: aquecimento global, depleção do ozono estratosférico, radiação ionizante, formação de ozono em relação à saúde humana, formação de matéria particulada fina, formação de ozono em relação aos ecossistemas terrestres, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, toxicidade carcinogénica humana, toxicidade não-carcinogénica humana, uso do solo, escassez de recursos minerais, escassez de recursos fósseis, e consumo de água.

A Figura 27 mostra a caracterização dos impactos ambientais por etapa do ciclo de vida dos microgreens (produção e fim-de-vida). Os impactos ambientais positivos (danosos no ambiente) estão associados à etapa de produção de microgreens, enquanto os impactos ambientais evitados estão associados ao cenário de fim de vida dos microgreens, em que há reciclagem do módulo. Mais especificamente, há impactos ambientais evitados nas categorias de escassez de recursos minerais, aquecimento global, formação de ozono em relação à saúde humana e em relação aos ecossistemas terrestres, matéria particulada fina, e eutrofização de água doce.

A figura 28 mostra a normalização dos mesmos impactos ambientais de forma a salientar as categorias em que os impactos são mais significativos, que são a toxicidade carcinogénica humana, eutrofização de água doce, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade terrestre, e escassez de recursos fósseis com grande destaque da toxicidade carcinogénica humana. A toxicidade carcinogénica humana tem como principais contribuintes o processo de fabrico de

metais, que gera escória cujo destino no final é o aterro. Para a eutrofização de água doce, os maiores contribuintes são, mais uma vez, o aterro dos detritos gerados no processo de produção de metais e, também, a mineração de cobre. No caso da eutrofização de água doce, os fatores responsáveis mais salientes são a incineração de detritos de cobre como tratamento dos seus resíduos, bem como os resíduos da mineração de carvão e de cobre. Para a ecotoxicidade terrestre o que contribui mais é a fundição de concentrado de cobre e produção de ferro-níquel. Por fim, o que contribui mais para a escassez de recursos fósseis é a mineração de carvão e a produção de gás natural.

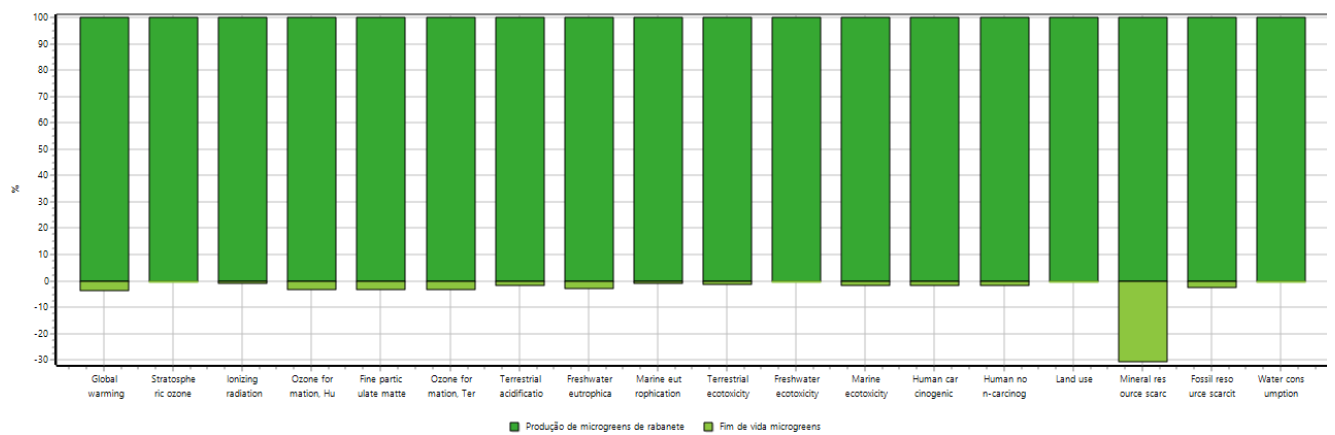


Figura 28. Impactes ambientais, por categoria, dos microgreens de rabanete, em percentagem. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 10.

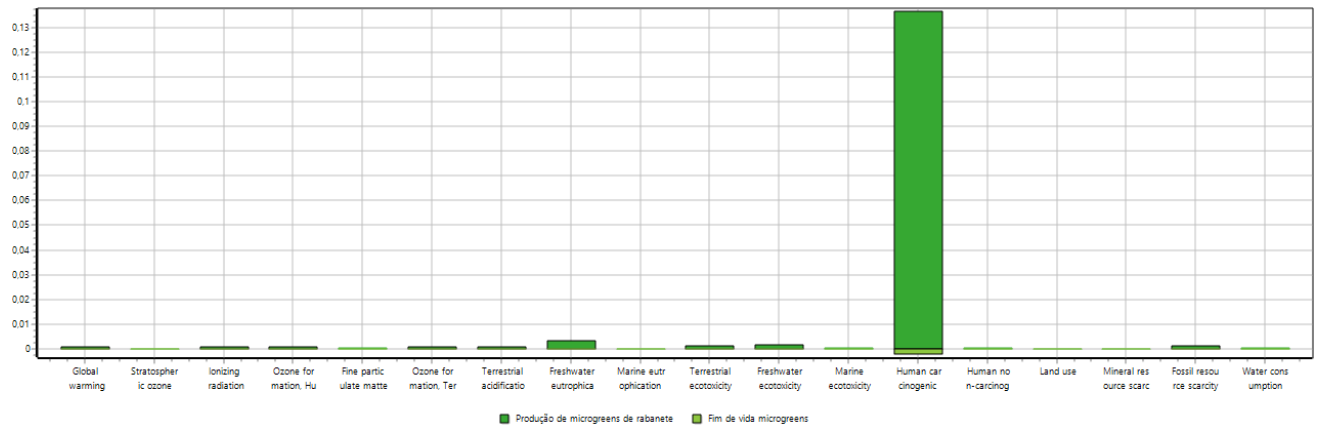


Figura 29. Impactes ambientais normalizados, por categoria, dos microgreens de rabanete. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 11.

4.4 Análise comparativa dos impactos ambientais associados aos microgreens de rabanete e à produção convencional de rabanetes

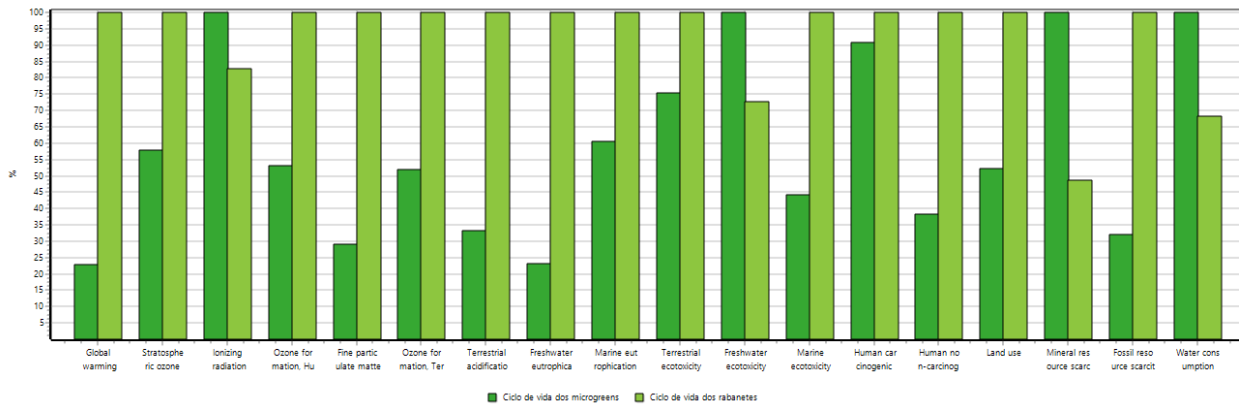
É de notar que apesar de se ter procedido à comparação dos seus ciclos de vida, a experiência de consumo de microgreens de rabanete e a de consumo de rabanetes é bem diferente, quem em termos de textura, quer em termos de sabor. Ambos os alimentos podem ser usados em saladas e todo o tipo de pratos. Contudo, o sabor de microgreens de rabanete é marcadamente mais forte do que o sabor de rabanete, se for considerada a mesma quantidade destes alimentos. Assim, recorrendo a testes degustativos por parte de amigos e familiares da candidata, chegou-se à conclusão que os microgreens de rabanete têm, no mínimo, um sabor três vezes mais forte do que a massa equivalente de rabanete. Assim, na comparação dos ciclos de vida destes dois produtos usou-se um fator de proporcionalidade de 1:3, ou seja, considerou-se que 1 kg de microgreens de rabanete é equivalente a 3 kg de rabanetes em termos da experiência degustativa que estes proporcionam.

Adicionalmente, ao contrário dos microgreens de rabanete cujas etapas de ciclo de vida e respetivos inputs foram modelados com base nos ensaios experimentais realizados, para os rabanetes de produção convencional, selecionou-se este produto a partir da base de dados do software, com um ciclo de vida já modelado. De notar também que o rabanete presente na base de dados inclui no seu ciclo de vida apenas a sua produção, não havendo cenários de fim-de-vida para este.

O impacto total do ciclo de vida dos microgreens de rabanete, em kg de CO₂eq, é de 4,16 kg de CO₂ por kg de produto, enquanto para os rabanetes produzidos em estufa aquecida o impacto total é de 18.2 kg de CO₂eq por 3 kg de produto.

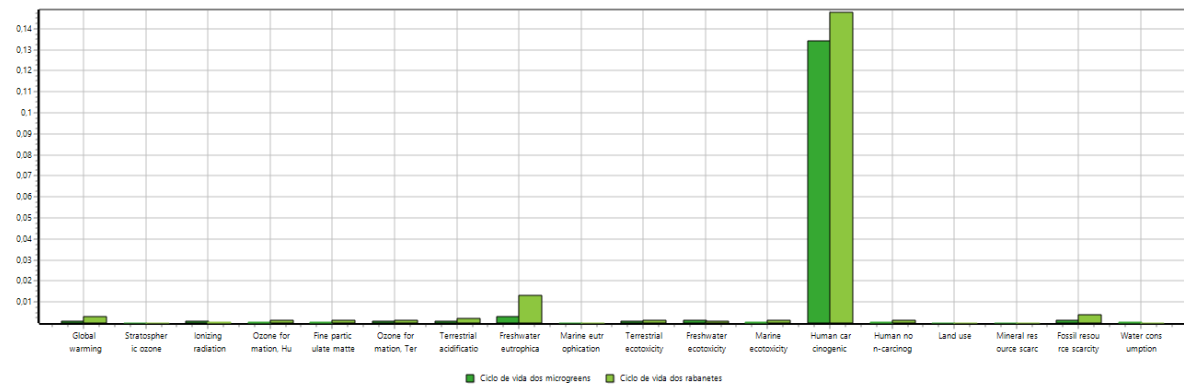
Comparando o ciclo de vida dos microgreens de rabanete com o ciclo de vida dos rabanetes produzidos numa estufa aquecida, a Figura 29 ilustra como os microgreens de rabanete têm um melhor desempenho na maior parte das categorias de avaliação de impactes ambientais exceto nas categorias de radiação ionizante, ecotoxicidade de água doce, escassez de recursos minerais, e consumo de água.

Olhando para a normalização dos indicadores, na Figura 30, destacam-se as categorias toxicidade carcinogénica humana, eutrofização de água doce (que no caso do rabanete é proveniente maioritariamente do aterro de detritos resultantes da mineração de carvão e lignite), aquecimento global (proveniente da produção de eletricidade a partir de carvão e gás natural no caso dos microgreens e proveniente do mix para a produção de energia térmica para o aquecimento da estufa com contém carvão, antracite, lignite e óleo combustível, no caso dos rabanetes), escassez de recursos fósseis, e acidificação terrestre (proveniente maioritariamente da produção de eletricidade com carvão e óleo no caso dos microgreens, e proveniente da produção de energia térmica com antracite a carvão), sendo o impacte dos microgreens de rabanete inferior ao impacte do rabanete em todas elas.



Method: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.07 / World (2010) E / Characterization
 Comparing 1 p 'Ciclo de vida dos microgreens' with 1 p 'Ciclo de vida dos rabanetes':

Figura 30. Impactes ambientais, por categoria, dos microgreens de rabanete e do rabanete, em percentagem. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 12.



Method: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.07 / World (2010) E / Normalization
 Comparing 1 p 'Ciclo de vida dos microgreens' with 1 p 'Ciclo de vida dos rabanetes':

Figura 31. Impactes ambientais normalizados, por categoria, dos microgreens de rabanete e do rabanete. A sua versão ampliada encontra-se no Anexo 13.

5. Conclusões e trabalho futuro

Os ensaios experimentais realizados mostraram que há culturas de microgreens que são mais rápidas no seu crescimento e que produzem plantas maiores e que tal minimiza a duração de cultivo e, conseqüentemente, a possibilidade de aparecimento de fungos. Os microgreens de rabanete apresentaram uma performance muito superior neste aspeto, comparativamente às outras espécies testadas.

Observou-se que, para além da duração de cultivo, a presença e a intensidade da ventilação dentro do módulo influenciam fortemente o aparecimento de fungos. A instalação de ventoinhas que permitiam retirar o excesso de humidade do substrato e do ar diminuiu drasticamente a quantidade de fungos observados, comparativamente com os ensaios em que a ventilação era ausente. A comparação dos valores de humidade relativa dentro do módulo de um período em que as ventoinhas se encontram desligadas (humidade relativa média de 76,3%) com um período em que estas se encontram ligadas (humidade relativa média de 66,9%) corrobora que há uma diferença de cerca de 10% de humidade relativa média entre estes dois cenários. Adicionalmente, considerando o período de monitorização de humidade em que a ventilação estava ligada, nos intervalos de descanso das ventoinhas a humidade relativa rapidamente aumentava cerca de 10% para depois ser novamente diminuída quando a ventoinha volta a entrar em funcionamento, o que pode ser claramente observado nos pequenos picos regulares de humidade relativa na Figura 24.

A dimensão do módulo de produção de microgreens de rabanete revelou-se desproporcionalmente grande, uma vez que o nível 3 acabou por ser inutilizado durante os ensaios devido ao curto período de cultivo de cada lote. Tal significa que os impactes ambientais em termos de equipamento e de eletricidade gasta no seu funcionamento podem ser diminuídos ao fazer um módulo mais pequeno que permitiria uma produção semelhante em termos de massa de produto útil por unidade de tempo. Este ponto é particularmente importante se se tiver em consideração que os processos industriais de produção de metais bem como o tratamento dado aos resíduos destes processos são dos que mais contribuem para as categorias de impacte ambiental mais relevantes no cultivo de microgreens: a toxicidade carcinogénica humana, a eutrofização de água doce, a ecotoxicidade terrestre e a acidificação terrestre.

Em termos de análise comparativa dos impactes do ciclo de vida dos microgreens com os dos rabanetes produzidos em estufa aquecida, os microgreens de rabanete apresentam um desempenho melhor do que os rabanetes nas categorias de impactes ambientais mais significativas para estes produtos, que são a toxicidade carcinogénica humana, eutrofização de água doce, aquecimento global, escassez de recursos fósseis, e acidificação terrestre. Sendo que na categoria mais significativa segundo a Figura 30 – a toxicidade carcinogénica humana – os desempenhos são semelhantes. Os maiores contribuintes para estas categorias na produção dos dois produtos alternativos em questão são o processo de fabrico de metais e a mineração de carvão, o que acentua a importância de 1) otimizar o tamanho do módulo em chapa de aço e

valorizar este material no seu fim de vida e 2) usar um fotoperíodo mais reduzido de maneira a gastar menos eletricidade na iluminação, uma vez que a lâmpada de crescimento LED é o equipamento que consome mais energia no módulo.

Num trabalho futuro seria interessante explorar diferentes tipos de substrato em termos de retenção de humidade e controlo de fungos, pois o cânhamo revelou-se ser extremamente bom a reter água, o que obrigou a uma irrigação muito espaçada e a uma aposta numa ventilação significativa. O teste de outros substratos implicaria mais experimentação com o regime de irrigação dos microgreens. Seria igualmente interessante experimentar com outros fotoperíodos e a sua influência na duração total do cultivo de um tabuleiro de microgreens. Outra possibilidade é estimar os impactes ambientais de módulos feitos de outros materiais, como em plástico, por exemplo.

É igualmente importante fazer uma análise comparativa mais detalhada em termos de consumo de adubo, uma vez que o presente estudo não se debruçou em pormenor sobre esse fator.

Acima de tudo, é importante otimizar o tamanho dos módulos de produção, os materiais de que são feitos e proporcionar um cenário de fim de vida adequado aos materiais de forma a reduzir os impactos ambientais da produção de microgreens, bem como minimizar os consumos energéticos.

Referências

- [1] K. Benis, R. A. Gomes, and J. Fernández, 'Rooftop greenhouses: LCA and energy simulation The Challenge of Industrial Symbiosis: an opportunity for Portugal View project Urban agriculture View project', 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/283475408>
- [2] M. G. Parkes, J. P. Cubillos Tovar, F. Dourado, T. Domingos, and R. F. M. Teixeira, 'Life Cycle Assessment of a Prospective Technology for Building-Integrated Production of Broccoli Microgreens', *Atmosphere (Basel)*, vol. 13, no. 8, Aug. 2022, doi: 10.3390/atmos13081317.
- [3] M. A. Martin, F. Orsini, and M. Martin, 'Life cycle assessment of indoor vertical farms', 2022. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/362950378>
- [4] G. Galaverna *et al.*, 'A new integrated membrane process for the production of concentrated blood orange juice: Effect on bioactive compounds and antioxidant activity', *Food Chem*, vol. 106, no. 3, pp. 1021–1030, Feb. 2008, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.07.018.
- [5] F. di Gioia, M. Renna, and P. Santamaria, 'Sprouts, Microgreens and "Baby Leaf" Vegetables', in *Food Engineering Series*, Springer, 2017, pp. 403–432. doi: 10.1007/978-1-4939-7018-6_11.
- [6] F. di Gioia and P. Santamaria, 'Microgreens, agrobiodiversity and food security', 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/305175758>
- [7] F. di Gioia and P. Santamaria, 'The nutritional properties of microgreens', 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/305175608>
- [8] Z. Xiao, G. E. Lester, Y. Luo, and Q. Wang, 'Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens', *J Agric Food Chem*, vol. 60, no. 31, pp. 7644–7651, Aug. 2012, doi: 10.1021/jf300459b.
- [9] Z. Xiao, 'Nutrition, Sensory, Quality and Safety Evaluation of a New Specialty Produce: Microgreens', Doctoral Dissertation, University of Maryland, 2013.
- [10] D. A. Kopsell, N. I. Pantanizopoulos, C. E. Sams, and D. E. Kopsell, 'Shoot tissue pigment levels increase in "Florida Broadleaf" mustard (*Brassica juncea* L.) microgreens following high light treatment', *Sci Hortic*, vol. 140, pp. 96–99, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.scienta.2012.04.004.
- [11] D. D. Treadwell, R. Hochmuth, L. Landrum, and W. Laughlin, 'Microgreens: A New Specialty Crop', 2010. [Online]. Available: <https://edis.ifas.ufl.edu>.
- [12] D. M. Hodges and P. M. A. Toivonen, 'Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress', *Postharvest Biology and Technology*, vol. 48, no. 2, pp. 155–162, May 2008. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.10.016.
- [13] L. Kou *et al.*, 'Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens', *LWT*, vol. 51, no. 1, pp. 73–78, 2013, doi: 10.1016/j.lwt.2012.11.017.
- [14] K. J. Berba and M. E. Uchanski, 'Post-harvest physiology of microgreens', 2012.

- [15] Z. Xiao, Y. Luo, G. E. Lester, L. Kou, T. Yang, and Q. Wang, 'Postharvest quality and shelf life of radish microgreens as impacted by storage temperature, packaging film, and chlorine wash treatment', *LWT*, vol. 55, no. 2, pp. 551–558, 2014, doi: 10.1016/j.lwt.2013.09.009.
- [16] D. Janovská, L. Štočková, and Z. Stehno, 'Evaluation of buckwheat sprouts as microgreens', *Acta Agric Slov*, vol. 95, no. 2, pp. 157–162, 2010, doi: 10.2478/v10014-010-0012-2.
- [17] E. H. Murchie and K. K. Niyogi, 'Manipulation of photoprotection to improve plant photosynthesis', *Plant Physiol*, vol. 155, no. 1, pp. 86–92, 2011, doi: 10.1104/pp.110.168831.
- [18] A. Brazaityte *et al.*, 'The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens', *Food Chem*, vol. 173, pp. 600–606, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.077.
- [19] A. Brazaityte *et al.*, 'Effect of supplemental UV-A irradiation in solid-state lighting on the growth and phytochemical content of microgreens', *Int Agrophys*, vol. 29, no. 1, pp. 13–22, Jan. 2015, doi: 10.1515/intag-2015-0004.
- [20] K. Liu *et al.*, 'Light Intensity and Photoperiod Affect Growth and Nutritional Quality of Brassica Microgreens', *Molecules*, vol. 27, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/molecules27030883.
- [21] G. Samuoliene *et al.*, 'LED illumination affects bioactive compounds in romaine baby leaf lettuce', *J Sci Food Agric*, vol. 93, no. 13, pp. 3286–3291, Oct. 2013, doi: 10.1002/jsfa.6173.
- [22] D. A. Kopsell and C. E. Sams, 'Increases in Shoot Tissue Pigments, Glucosinolates, and Mineral Elements in Sprouting Broccoli after Exposure to Short-duration Blue Light from Light Emitting Diodes', 2013.
- [23] D. A. Kopsell and D. E. Kopsell, 'Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops', *Trends Plant Sci*, vol. 11, no. 10, pp. 499–507, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.tplants.2006.08.006.
- [24] J. Sun *et al.*, 'Profiling polyphenols in five brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMSn', *J Agric Food Chem*, vol. 61, no. 46, pp. 10960–10970, Nov. 2013, doi: 10.1021/jf401802n.
- [25] E. Pinto, A. A. Almeida, A. A. Aguiar, and I. M. P. L. V. O. Ferreira, 'Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces', *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 37, pp. 38–43, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.jfca.2014.06.018.
- [26] Z. Xiao, G. Bauchan, L. Nichols-Russell, Y. Luo, Q. Wang, and X. Nou, 'Proliferation of Escherichia coli O157:H7 in soil-substitute and hydroponic microgreen production systems', *J Food Prot*, vol. 78, no. 10, pp. 1785–1790, Oct. 2015, doi: 10.4315/0362-028X.JFP-15-063.
- [27] M. Ibrahim, A. B. Rabah, B. Liman, and N. T. Ibrahim, 'Effect of Temperature and Relative Humidity on the Growth of Helminthosporium fulvum', *Nigerian Journal of*

- Basic and Applied Science*, vol. 19, no. 1, pp. 127–129, 2011, [Online]. Available: <http://www.ajol.info/index.php/njbas/index>
- [28] T. D. Sterling, C. Collett, and D. Rumel, 'A epidemiologia dos "edifícios doentes"', 1991.
- [29] F. di Gioia, C. Mininni, and P. Santamaria, *Ortaggi di Puglia, tra biodiversità e innovazione: il caso dei micro-ortaggi*. 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281906930>
- [30] M. Abad, P. Noguera, and S. Bur, 'National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain', 2001, [Online]. Available: <http://agritel2.mapya.es/sustratos/>
- [31] F. di Gioia, P. de Bellis, C. Mininni, P. Santamaria, and F. Serio, 'Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens', *J Sci Food Agric*, vol. 97, no. 4, pp. 1212–1219, Mar. 2017, doi: 10.1002/jsfa.7852.
- [32] B. C. Walraven, 'Aquaponics: Economics and social potential for sustainable food production', 2014. [Online]. Available: <https://commons.lib.jmu.edu/honors201019/493>
- [33] <https://greenbusinesslight.com/resources/lighting-lux-lumens-watts/> 14/11/2022

Anexos

Anexo 1



NEXT LIGHT new ways of conceiving lighting

Product name: FITA FS 2835 64 LEDS 5W 3000K

**Item number:
FS03030**

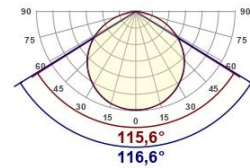
**Date and time:
18/11/2019 10:47:23**

Color temperature: 3010 K

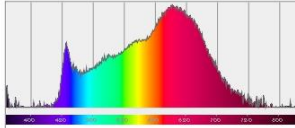
Output: 507 Lumen

Light quality: CRI: 94,8

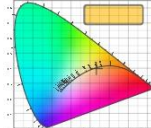
Light efficiency: 118 Lumen/Watt



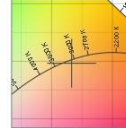
Spectral distribution



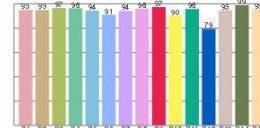
Color coordinates



White color point

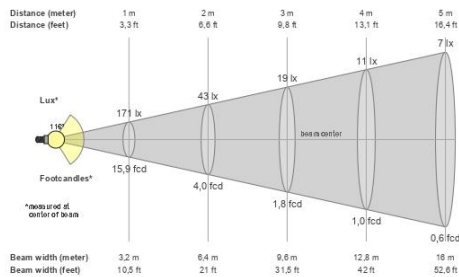


CRI R values



Color temperature	Color rendering index	Red component	Color fidelity	Color gamut	Color quality scale	Color coordinate cIE 1931	Color coordinate cIE 1931	Color coordinate	Color coordinate	Color deviation from black body
CCT	CRI	CRI R9	TM30 Rf	TM30 Rg	CQS	x	y	u	v	Δuv
3010 K	94,8	97,3	89,3	98,1	93,8	0,433	0,397	0,251	0,345	-0,0025

Beam details



Beam angles

Beam angle 50%	Field angle 10%	Cutoff angle 2,5%
116,1°	160,8°	171,8°

Beam intensities

Peak intensity	Int. ratio in 120° cone	Int. ratio in 90° cone
171 cd	78,1%	52,6%

Beam intensities from 1-20m

1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m	15m	16m	17m	18m	19m	20m
3,3ft	6,6ft	9,8ft	13,1ft	16,4ft	19,7ft	23ft	26,2ft	29,5ft	32,8ft	36,1ft	39,4ft	42,7ft	45,9ft	49,2ft	52,5ft	55,8ft	59,1ft	62,3ft	65,6ft
171lx	43lx	19lx	11lx	7lx	5lx	3lx	3lx	2lx	2lx	1lx	1lx	1lx	1lx	1lx	1lx	1lx	1lx	0lx	0lx
15,9fcd	4fcd	1,8fcd	1fcd	0,6fcd	0,4fcd	0,3fcd	0,2fcd	0,2fcd	0,2fcd	0,1fcd	0,1fcd	0,1fcd	0,1fcd	0,1fcd	0,1fcd	0,1fcd	0fcd	0fcd	0fcd

Power scope

Nominal power	Power factor	Power frequency
4,3 W	1,0	{FREQ } Hz

Nominal voltage	Voltage	Current
230 V	226 V	0,019 A

Viso Systems Aps – Copenhagen, Denmark – www.visosystems.com

<https://nextlight.pt/pt/products/components/led-strips/> 13/11/2022

Anexo 2



<https://loja.ecocenter.pt/product/bomba-de-agua-neptune-nh-800> 14/11/2022



<https://loja.ecocenter.pt/product/tanque-de-47-litros> 14/11/2022



<https://loja.ecocenter.pt/product/valvula-sifao-para-mesa-de-cultivo> 14/11/2022

Technical specifications

CO ₂ measurement	
Measuring principle	Non-diffusive infrared (NDIR) technology
Type of sensor	Double-beam infrared cell sensor
Measurement range	0 to 5,000 ppm
Uncertainty	± 50 ppm ± 3 % of value measured
Response time, 63 %	< 200 seconds
Resolution	1 ppm
Temperature measurement	
Type of sensor	CMOS
measurement range	-10 °C to +60 °C
Accuracy	± 0.5 °C
Resolution	0.1 °C
Humidity measurement	
Type of sensor	Capacitive
Measurement range	5 to 95 % RH
Accuracy	± 2 % RH
Resolution	0.1 % RH

Types of use	
Point measurement Monitoring	Quick measurement and display of the CO ₂ , temperature and relative humidity values
Monitoring	<p>1D mode: indication of CO₂ confinement Visual (two-colour backlighting & pictograms) and/or audible indication of high confinement when the CO₂ concentration is between 1,000 ppm and a 1,700 ppm threshold.</p> <p>3D mode: indication of optimum comfort zone on the basis of the hygrothermal criteria and the CO₂ concentration.</p> <p>Energy-saving (ECO): for fixed use on battery power, the product performs measurements every 10 minutes over a programmable time range for a battery life of up to one year.</p>
Logger	<p>Triggering of programmed recording (P_REC) The start date, recording rate and end date can be customized with the PC software or the Android application. Possibility of locking the display in this mode (no values displayed).</p> <p>Manual triggering (M_REC) Manual start and stop controls on the product. Recording is performed at the rate of the mode currently selected.</p>

Specifications	
Recording interval	Customizable from 1 minute to 2 hours
Storage	More than 1 million measurements
Buzzer	Yes
Units	°C or °F
Backlighting	
Display Hold function	Yes
Min-Max	
Automatic power-off	Yes (in portable mode only)
General specifications	
Product operating range	Temperature: -10 °C to +60 °C – Humidity: 5 to 95 %RH
Dimensions / weight	125 x 65.5 x 32 mm / 190 g with batteries
Protection	IP40
Compliance	IEC 61010-1 for 50 V in Category II – IEC 61326-1 – Compliance with French decree no. 2012-14
Power supply	- Alkaline batteries: 2 x 1.5 V AA / LR6 or rechargeable battery - Connection to mains possible with mains / micro USB adapter supplied as standard
Interfaces	2 communication modes possible: - Bluetooth wireless communication - USB link; the product is then recognized as a USB key for easy file transfer
Mounting	C.A 1510 casing equipped with a magnet, a wall-suspension system and a slot for hanging the product. A wall support for use with a padlock (padlock not supplied) is available as an accessory, as is a desktop stand (supplied as standard with the C.A 1510W).
Functions of the Data Logger Transfer software supplied as standard	Graphic representation or as table of values – Data export – Real-time mode Report generation

To order

Indoor air quality tester
Charcoal-grey C.A 1510 **P01651010**

- Delivered in a small-format metal case with:
- 2 x LR6 batteries
 - USB mains adapter
 - USB-micro USB cable 1.80 m long
 - Quick start-up guide
 - Mini-CD containing the Data Logger Transfer software and the user's guides (one file per language)
 - Verification attestation



Indoor air quality tester
White C.A 1510 **P01651011**

- Delivered in a cardboard box with:
- 2 x LR6 batteries
 - USB mains adapter
 - USB-micro USB cable 1.80 m long
 - Desktop stand
 - Quick start-up guide
 - Mini-CD containing the Data Logger Transfer software and the user's guides (one file per language)
 - Verification attestation



ACCESSORIES AND REPLACEMENT PARTS

- In-situ calibration kit (fits into the metal case) P01651022
- Hard case P01298071
- Desktop stand P01651021
- White Wall support P01651020
- Black Wall support P01651024
- USB mains adapter P01651023
- USB-Bluetooth adapter P01102112



FRANCE
Chauvin Arnoux
 190, rue Championnet
 75876 PARIS Cedex 18
 Tel: +33 1 44 85 44 38
 Fax: +33 1 46 27 95 59
 export@chauvin-arnoux.fr
 www.chauvin-arnoux.fr

UNITED KINGDOM
Chauvin Arnoux Ltd
 Unit 1 Nelson Ct, Flagship Sq, Shaw Cross Business Pk
 Dewsbury, West Yorkshire - WF12 7TH
 Tel: +44 1924 460 494
 Fax: +44 1924 455 328
 info@chauvin-arnoux.co.uk
 www.chauvin-arnoux.com

MIDDLE EAST
Chauvin Arnoux Middle East
 P.O. BOX 60-154
 1241 2020 JAL EL DIB - LEBANON
 Tel: +961 1 890 425
 Fax: +961 1 890 424
 camie@chauvin-arnoux.com
 www.chauvin-arnoux.com



https://www.misterworker.com/en/chauvin-arnoux/ca-1510-logger-with-digital-display-co2-temperature-humidity-for-measuring-indoor-air-quality/52994.html?gclid=CjwKCAiA68ebBhB-EiwALVC-Nkz_Qi1jkLpLy_U_LRvay3rtJyIbL17X6l0qSaUwW5SddUJeoBAlxoCD50QAvD_BwE 14/11/2022

Anexo 4

MEDIDOR DE ENERGIA 230 VAC - 16 A - FICHA TIPO ALEMÃO



E305EM6-G



PEREL®



Assistência

Assistência

Manual do utilizador

Downloads (2)

Este artigo não pode ser vendido em: *Belgium, Germany, Denmark, France, Poland, Czech Republic, Slovakia, Ile de la Réunion, Rep. Dem. Congo*

Propriedades físicas

Tipo de visor	LCD
---------------	-----

Dados relativos à eletricidade

Medição de corrente	0-16 A
Potência máxima de saída	3600 W
Power measurement accuracy	0.1 W
Potência acumulada	0-9999 kW·h
Power measurement accuracy (%)	± 1 %
Indicação da energia	0-9999.99 kW·h
Tempo máximo de gravação	0 h
Medição da voltagem	0 V
Medição da frequência	0 Hz

Ligações elétricas

Tipo de ficha principal	França/Alemanha (type E/F)
Tipo de tomada	Alemanha (tipo F)

Fonte de alimentação

Bateria de reserva	✗
Tensão	230 V
Classificação da frequência	50 Hz

<https://www.velleman.eu/products/view/?id=386328> 23/11/2022



Anexo 5 (continuação)



Anexo 6




<https://loja.ecocenter.pt/product/aqua-vega-a-1l> 14/11/2022



<https://loja.ecocenter.pt/product/aqua-vega-b-1l> 14/11/2022

Anexo 6 (continuação)



VEGETATIVE PHASE

WACHSTUM

1. vegetative Phase - Phase zeigt starkes vegetatives Wachstum

2. vegetative Phase - bis zum Wochstumsstadium Fach Ausbildung der Blasenknospen oder Fruchtstiele

GENERATIVE PHASE

1. generative Phase - Übergangstadium der Blüten- oder Fruchtstiele Phase wächst nicht länger in die Höhe

2. generative Phase - Blüten- oder Fruchtstiele werden kompakter (breiter)

3. generative Phase - Blüten- oder Fruchtstiele werden schwerer (Gewicht)

4. generative Phase - Abreifung der Blüten- oder Fruchtstiele

Zeichendauer in Wochen	lcm / Tag in Stunden	Aqua Vega ml/l /100ml /100ml	Aqua Flores ml/l /100ml /100ml	BIOTONIC ml /100ml	CANNNAZYMA ml /150ml	CANNNABOOST ml /150ml	PK 13/14 ml /100ml	EC + in mS/cm	EC gestromt in mS/cm
<1	18	15-25	-	40	-	-	-	0,7-1,1	1,1-1,5
0-3 ¹	18	20-30	-	20	25	-	-	0,9-1,3	1,3-1,7
2-4 ²	12	25-35	-	20	25	20 ¹	-	1,2-1,6	1,6-2,0
1	12	-	30-40	5	25	20-40	15	1,6-2,0	2,0-2,4
2-3	12	-	30-40	5	25	20-40	-	1,4-1,8	1,8-2,2
1-2	10-12 ³	-	-	-	25-50 ⁴	20-40	-	0,0	0,4

1. Die Länge dieser Phase variiert pro Sorte und Pflanzschicht. Multiplanzen bleiben bis zum Schluss in dieser Phase (6-12 Monate).

2. Die Umrückung der Blendenleistungsdiener von 18 auf 12 Stunden variiert pro Sorte. Als Faustregel gilt, dass nach 2 Wochen umgestellt wird.

3. Den Lichtzyklus reduzieren, wenn die Pflanzung zu schnell verblüht. Achten Sie auf eine steigende relative Luftfeuchtigkeit.


4. Die CANNNAZYMA-Dosierung auf 50 ml/10 Liter verdoppeln, wenn das Substrat wiederverwendet wird.

5. Standarddosierung 20 ml/10 L für mehr Biomasse auf maximal 40 ml/10 erhöhen.

EC-Wert: Der EC-Wert in mS/cm bezieht auf EC-Wert von Wasser = 0,0 auf 25°C, pH-Wert: 6,0. Den EC-Wert des verwendeten Leitungswassers zum empfohlenen EC-Wert addieren. Bei dem als Beispiel genannten EC-Wertwert wird von Leitungswasser mit einem EC-Wert von 0,4 ausgegangen.

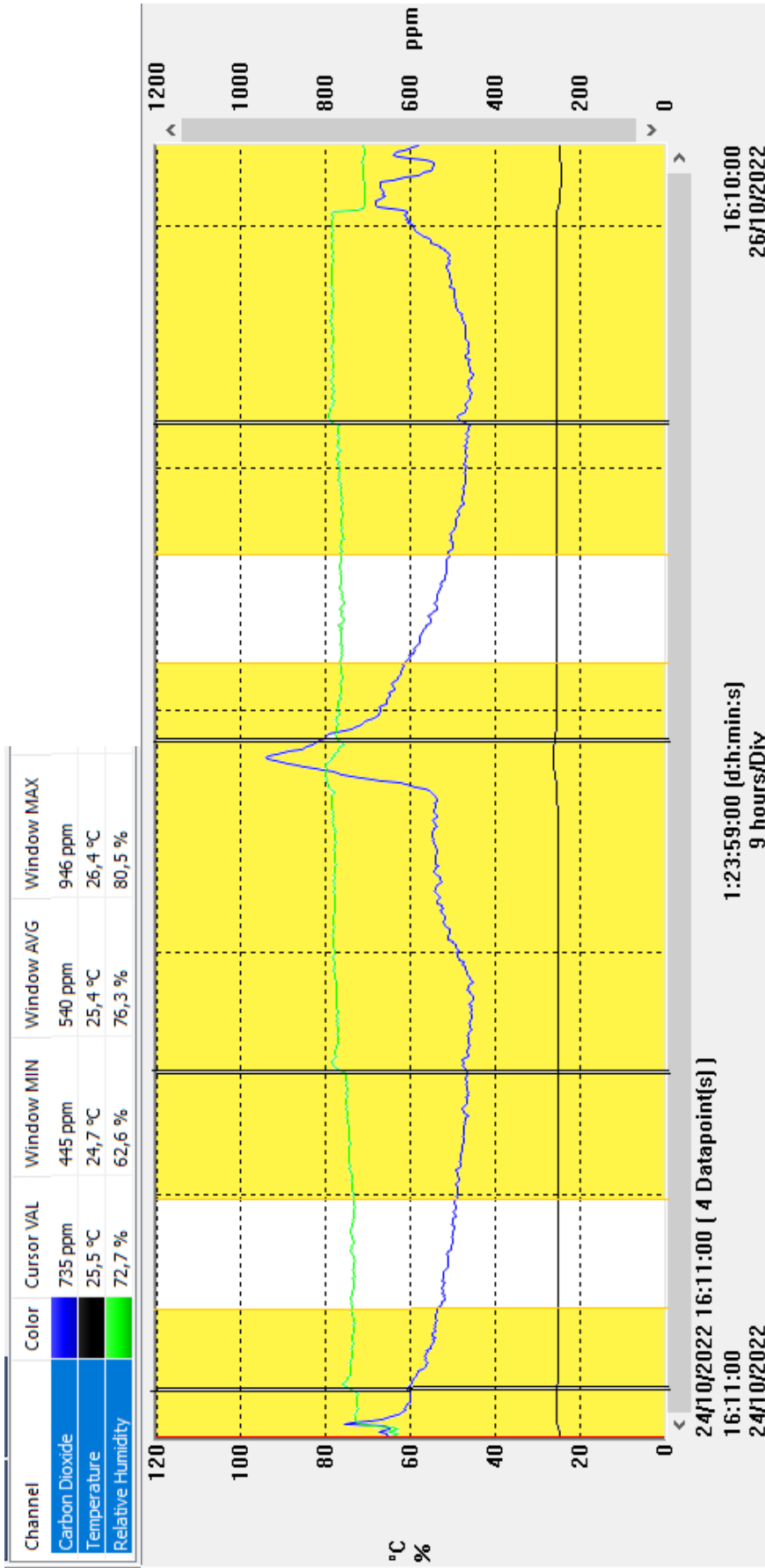
pH-Wert: Der empfohlene pH-Wert liegt zwischen 5,7 und 6,2. Durch Begasung von pH-Werten der EC-Wert erhöht. Verwenden Sie pH-Werten in der vegetativen Phase um den pH-Wert zu senken.

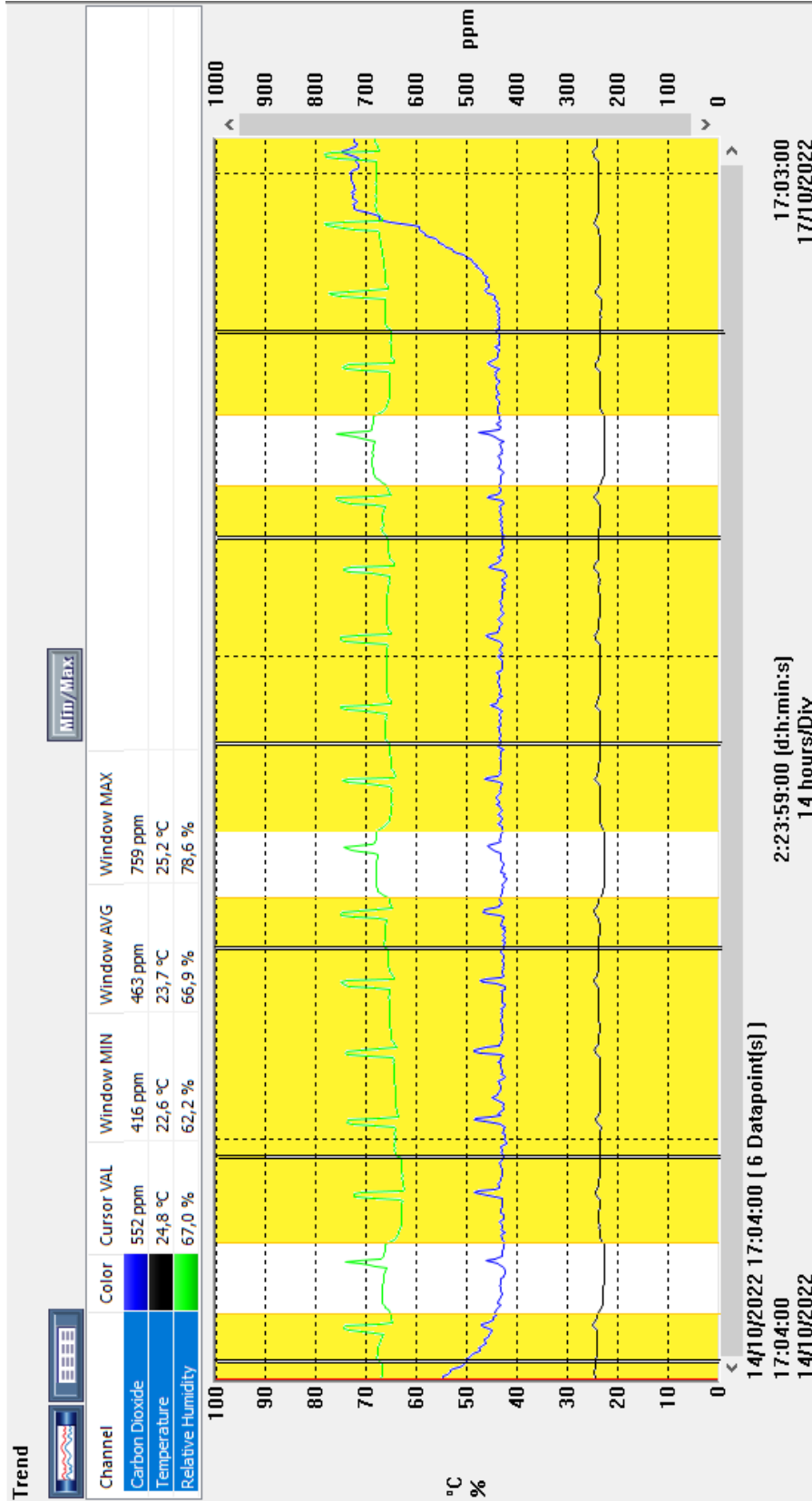
Die in der Tabelle angegebenen Richtwerte sind keine verbindlichen Mindest- oder Höchstwerte, können aber unter Umständen zu Schäden durch heißen, eher anpassungsfähigen Drogenpflanzen zu entweichen. Eine optimale Drogenpflanze hängt außerdem von bestehenden Faktoren ab, wie z. B.: Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Pflanzensorte, Durchwurzelung, Fruchtigkeitsgrad am Substrat, Bewässerungstechnologie usw.



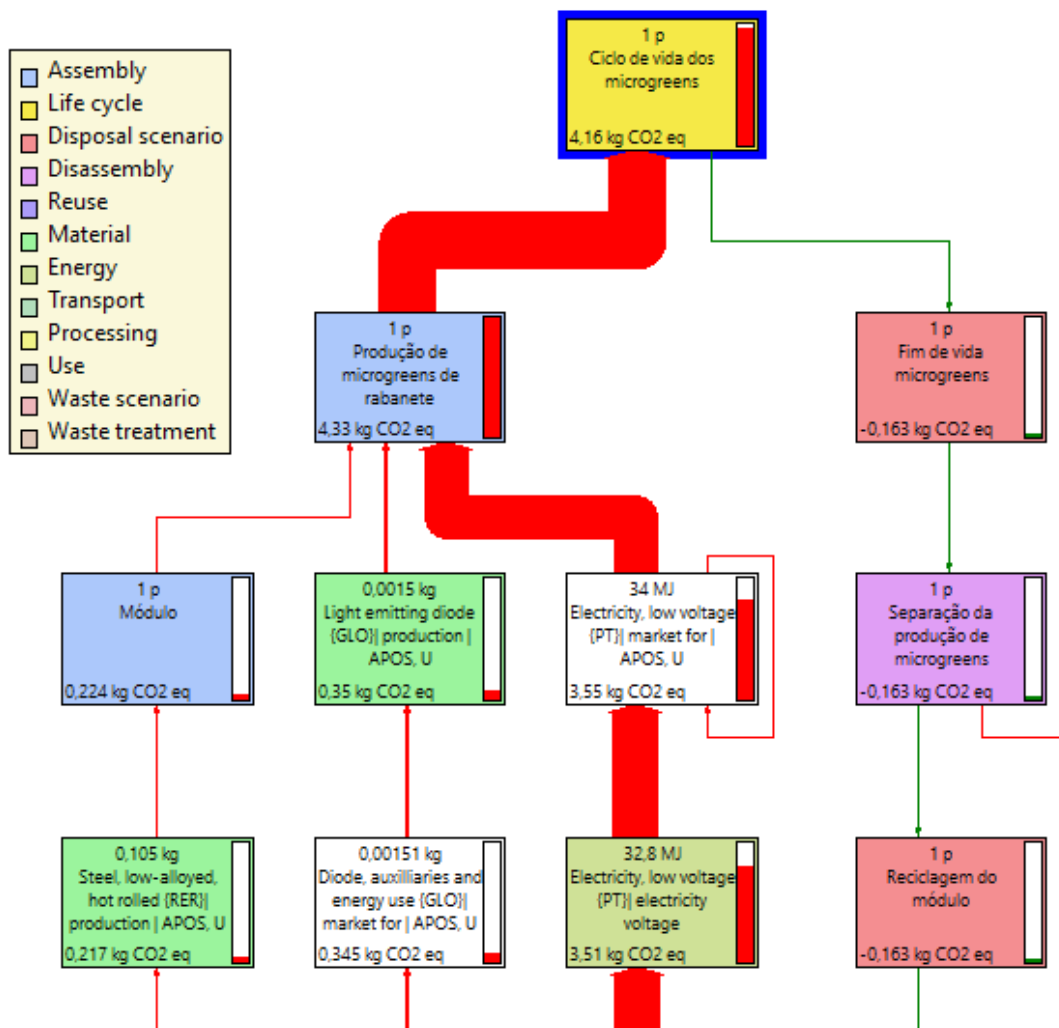
<https://loja.ecocenter.pt/product/aqua-vega-a-1l> 14/11/2022

Anexo 7

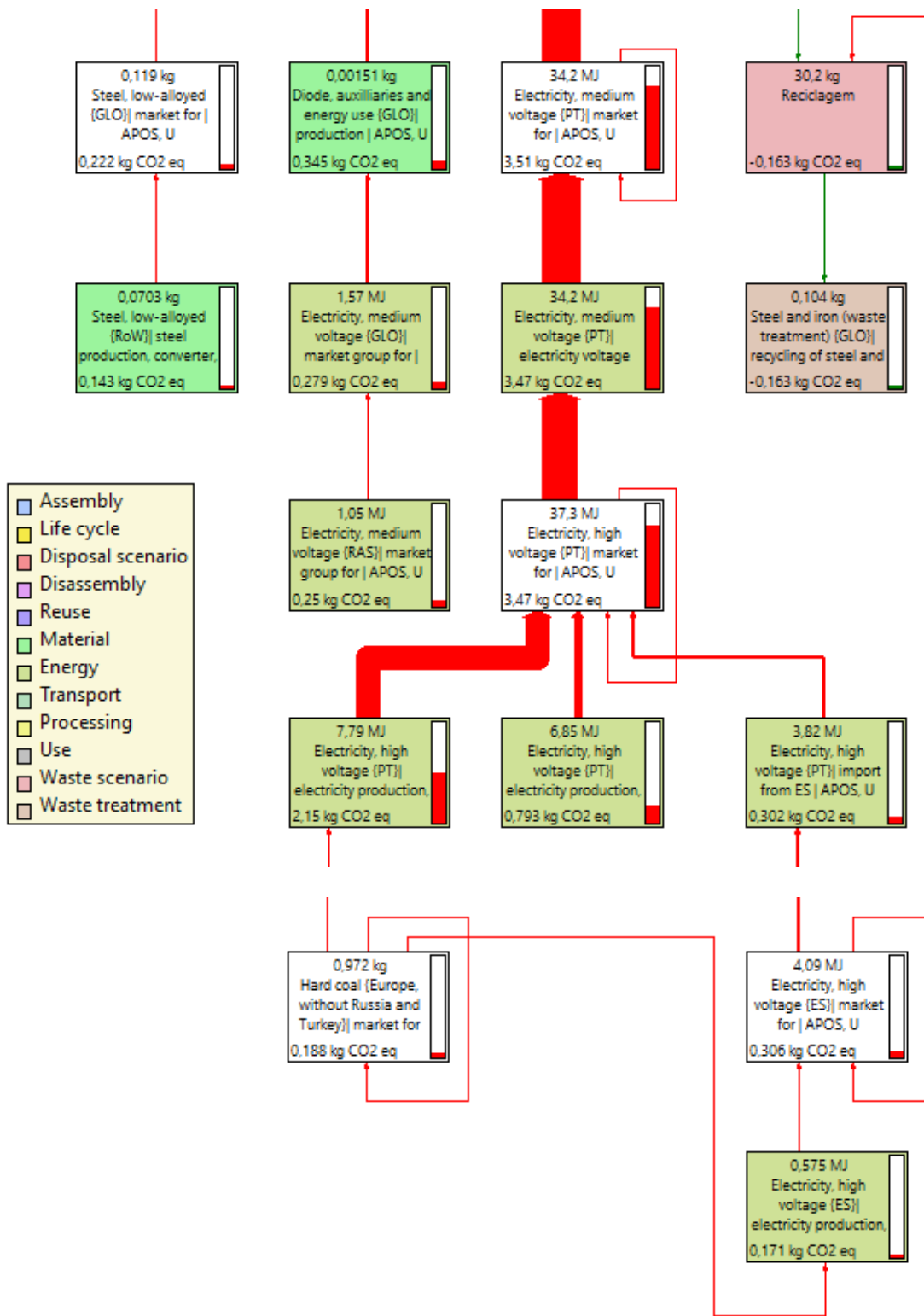




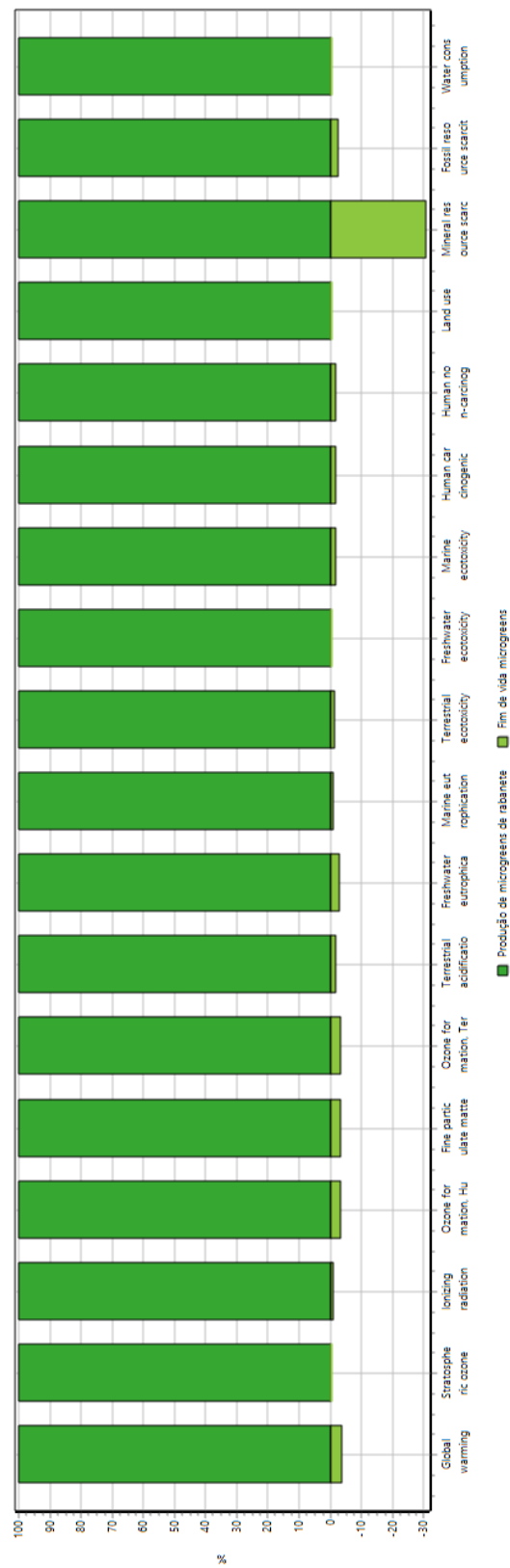
Anexo 9



Anexo 9 (continuação)

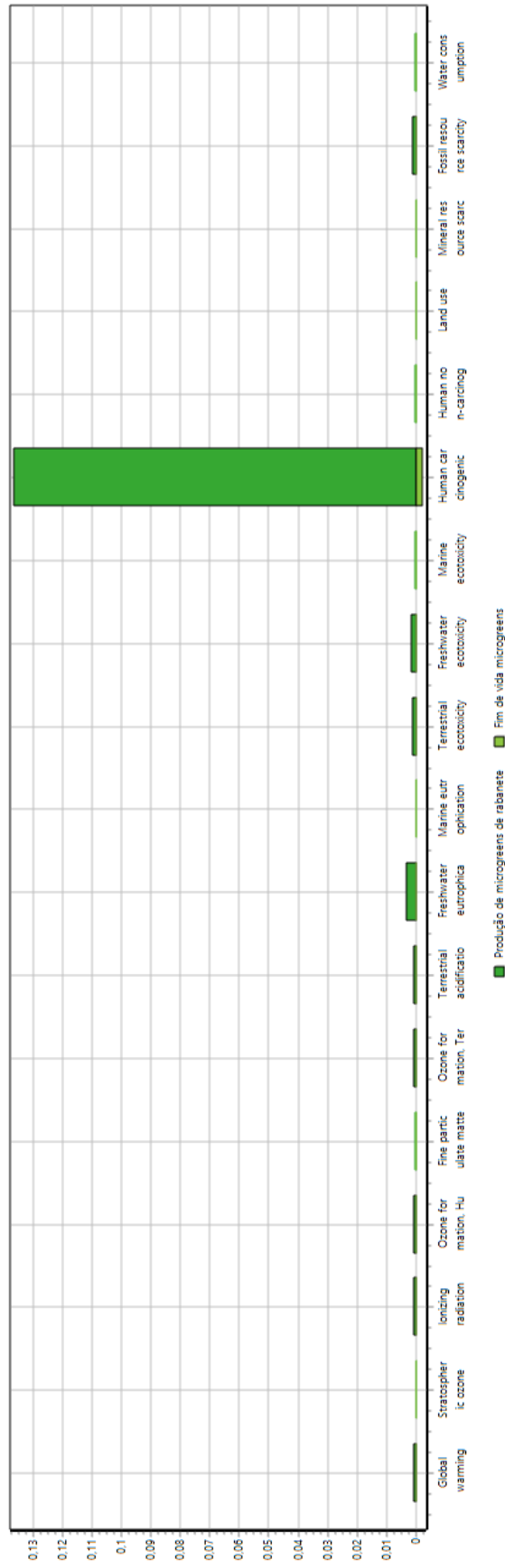


Anexo 10



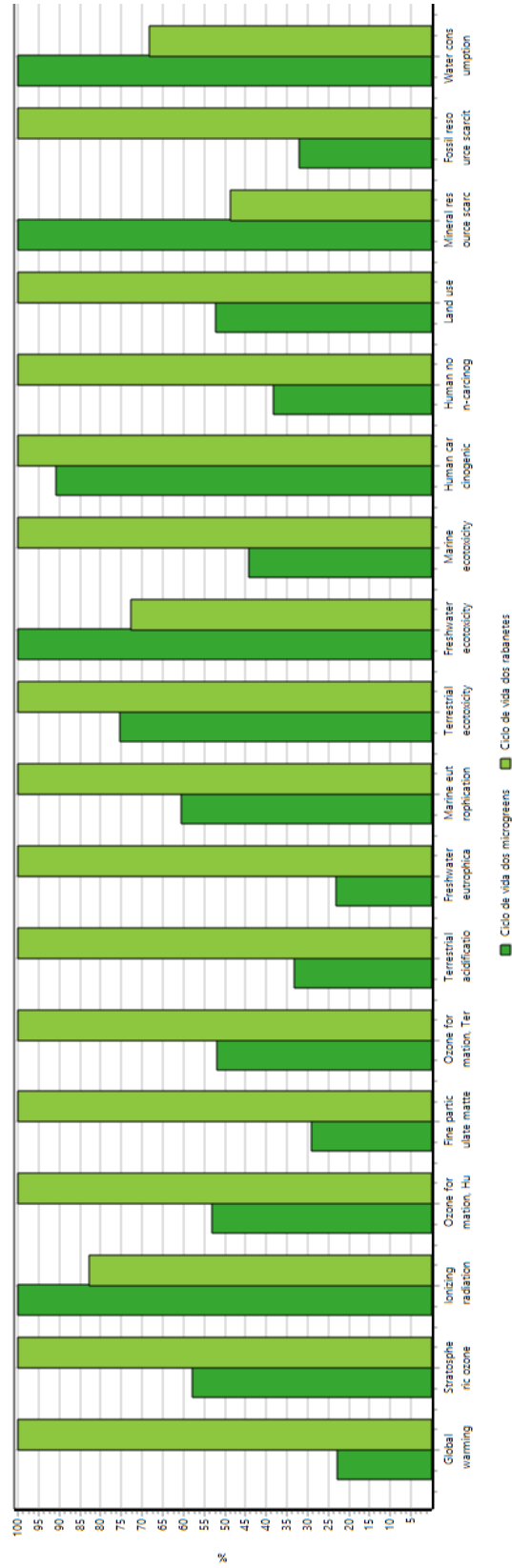
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.07 / World (2010) E / Characterization
 Analyzing 1 p 'Ciclo de Vida dos microgreens':

Anexo 11



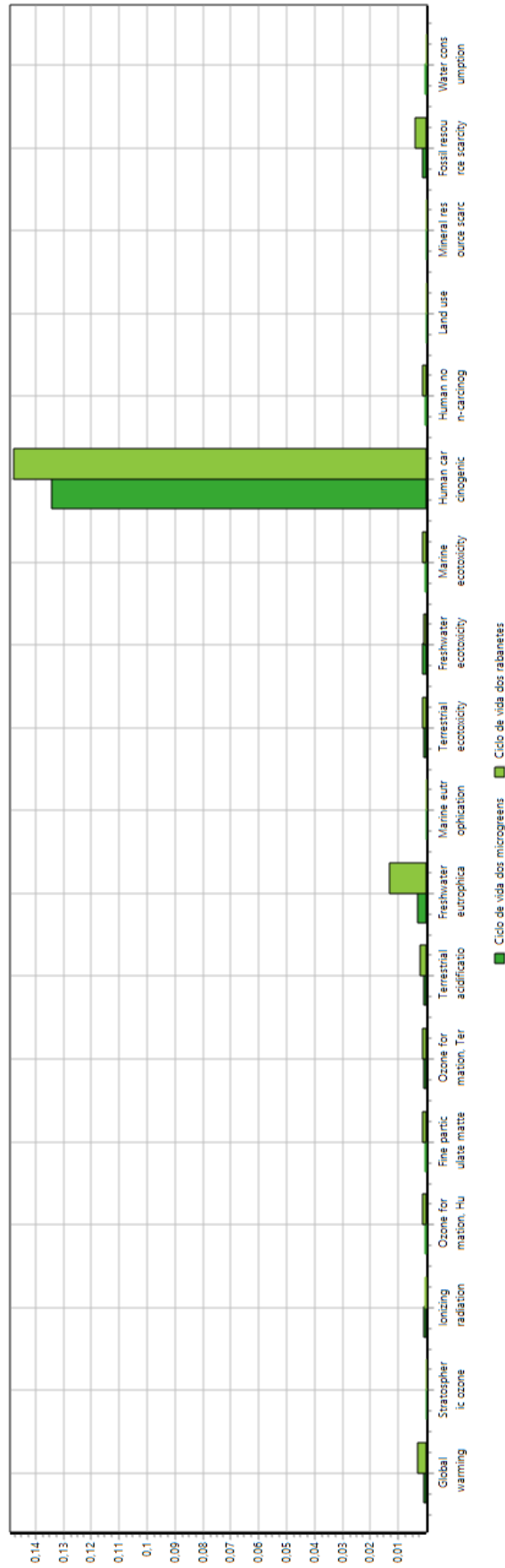
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.07 / World (2010) E / Normalization
 Analyzing 1º Ciclo de vida dos microgreens:

Anexo 12



Method: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.07 / World (2010) E / Characterization
 Comparing 1 p. 'Ciclo de vida dos microgreens' with 1 p. 'Ciclo de vida dos rabanetes'.

Anexo 13



Method: ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.07 / World (2010) E / Normalization
 Comparing 1 p 'Ciclo de vida dos microgreens' with 1 p 'Ciclo de vida dos rabanetes';