

**Análise de sistemas Aquapónicos – Comparação ambiental e
económica com outros sistemas de produção**

João Mirão Eusébio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Inês Esteves Ribeiro

Júri

Presidente: Prof. Rui Manuel dos Santos Oliveira Baptista

Orientador: Prof. Inês Esteves Ribeiro

Vogais: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças

Prof. Bruno Alexandre Rodrigues Simões Soares

Novembro 2017

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha orientadora, Inês Ribeiro, por todo o apoio e disponibilidade em passados todos estes anos me receber e ajudar na elaboração do presente trabalho.

Agradeço também aos responsáveis dos projetos analisados no presente trabalho nomeadamente o Sr. Miguel Brás da quinta Ideia Rural, à família Martins das estufas Martins e ao Eng^o Pedro Caels e Inês Canasta da quinta Aberta Nova, por toda a disponibilidade para as visitas, recolha de dados e esclarecimentos prestados.

Finalmente queria agradecer à minha família por todo o apoio e pela ajuda para puder realizar este curso, aos meus ex-colegas de curso pelos bons momentos passados, assim como aos amigos que após todos estes anos me incentivaram para a conclusão do mesmo. À Paloma, e em especial ao João Tavares pela motivação que sem saber me deu para “Concluir este capítulo”,

A todos um bem-haja.

Abstract

In the last decades, associated to new consumption and production patterns, to environmental degradation and the fragility of Ecosystems, new productive concepts and resource management have been developed in order to guarantee a sustainable development.

Associated with the eventual scarcity of consumable water, new agricultural systems and techniques that claim greater sustainability have been developed.

However, this characteristic still remains with relatively undefined contours.

In the present work four case studies, three real and one virtual, were compared, based on three agricultural techniques, in the expectation of evaluating and comparing their sustainability. The analysis was based on the application of several methodologies where in the first phase, an environmental impact assessment was carried out, followed by an economic assessment.

Keywords: Aquaponics, Hydroponics, Conventional Farming, Life Cycle Assessment, Life Cycle Cost, Net Present Value

Resumo

Nas últimas décadas, associado aos novos padrões de consumo e produção, à degradação ambiental e à fragilidade dos Ecossistemas, surgiram de novos conceitos produtivos e de gestão de recursos por forma a garantir um desenvolvimento sustentável.

Associados á eventual escassez de água consumível, novos sistemas e técnicas agrícolas que alegam uma maior sustentabilidade foram desenvolvidos.

No entanto tal característica permanece ainda com contornos relativamente pouco definidos.

No presente trabalho foram comparados quatro casos de estudo, três reais e um virtual, baseados em três técnicas agrícolas, na expectativa de avaliar e comparar a sua sustentabilidade. A análise baseou-se na aplicação de várias metodologias, sendo numa primeira fase realizada uma avaliação de impacto ambiental, seguida de uma de carácter económico.

Palavras-chave: Aquaponia, Hidroponia, Agricultura Convencional, Avaliação do Ciclo de Vida, Custo do Ciclo de Vida, Valor Atual Líquido

Índice

Agradecimentos	iii
Abstract	v
Resumo.....	vi
Lista de Figuras.....	x
Lista de tabelas.....	xii
Lista de Gráficos	xiv
Nomenclatura.....	xv
1. Introdução.....	1
2. Estado da arte	4
2.1. Sistemas agrícolas sustentáveis	5
2.2. Análise de sustentabilidade	6
3. Metodologia.....	11
3.1. Sustentabilidade Ambiental – <i>Life Cycle Assessment</i>	12
3.1.1. Definição do objetivo de estudo – Unidade funcional.....	12
3.1.2. Fronteiras do sistema.....	12
3.1.3. Life Cycle Inventory (LCI).....	14
3.1.4. Life Cycle Impact Assessment (LCIA).....	15
3.2. Sustentabilidade Económica	16
3.2.1. Custo do Ciclo de Vida – LCC.....	17
3.2.2. Valor Atual Líquido – VAL.....	18
4. Sistemas de Cultivo	19
4.1. Sistemas Convencionais – cultivo em solo.....	19
4.1.1. Vantagens e desvantagens.....	19
4.2. Sistemas Alternativos – cultivo sem solo	20
4.2.1. Hidroponia.....	20
4.2.1.1. Sistemas de Crescimento	21
4.2.1.2. Solução Nutritiva	24
4.2.1.3. Vantagens e desvantagens.....	24
4.2.2. Aquaponia	25
4.2.2.1. Componentes de um sistema Aquapónico	26
4.2.2.2. Filtração biológica	27
4.2.2.3. Espécies utilizadas.....	27

4.2.2.4.	Vantagens e desvantagens	28
5.	Casos de estudo	29
5.1.	Sistema Convencional	30
5.1.1.	Recursos utilizados	31
5.1.2.	Produtividade	32
5.2.	Sistema Hidropónico	33
5.2.1.	Recursos utilizados	35
5.2.2.	Produtividade	36
5.3.	Sistema Aquapónico	37
5.3.1.	Simplificação do sistema	40
5.3.2.	Recursos utilizados	40
5.3.3.	Produtividade	41
5.4.	Sistema adaptado – HydroFood	41
5.4.1.	Recursos utilizados	42
5.4.2.	Produtividade	42
6.	Análise de Sustentabilidade	43
6.1.	Sustentabilidade ambiental	43
6.1.1.	Inventário de recursos – LCI	43
6.1.2.	Cálculo do impacto ambiental - LCIA	47
6.1.2.1.	Rede de impactos	48
6.1.2.2.	Indicadores Midpoint (H)	51
6.1.2.3.	Indicadores Endpoit (H)	55
6.2.	Sustentabilidade económica	56
6.2.1.	Sistema Convencional	57
6.2.2.	Sistema Hidropónico	59
6.2.3.	Sistema Aquapónico – sem venda de peixes	61
6.2.4.	Sistema Virtual HydroFood - sem peixes	64
6.3.	Sistemas aquapónicos com comercialização de peixe	66
6.3.1.	Sistema aquapónico Aberta Nova – com comercialização de Peixes	66
6.3.2.	Sistema Virtual HydroFood – com comercialização de Peixes	67
7.	Conclusões	69
8.	Desenvolvimento futuro	73
9.	Bibliografia	74

Anexos.....	78
Anexo 1: Exemplos de Soluções nutritivas.....	78
Anexo 2: Fotografias do sistema aquapónico da Quinta Aberta Nova	80
Anexo 3: Exemplo das de cálculo método VAL	83
Anexo 4 – Representação gráfica indicadores MidPoint (H).....	86
Anexo 5 – Representação gráfica indicadores EndPoint (H).....	89

Lista de Figuras

Fig. 1 - Metodologias utilizadas

Fig. 2 – Fronteiras do sistema do caso de estudo Convencional

Fig. 3 – Fronteiras do caso de estudo do sistema Hidropónico

Fig. 4 – Fronteiras do caso de estudo sistema Aquapónico

Fig. 5 - Fases e processos da avaliação do ciclo de vida [1]

Fig. 6 – Estrutura de uma análise LCA e Método ReCiPe [2]

Fig. 7 – Análise de custo do ciclo de vida

Fig. 8 – Estufa Hidropónica – Sistema NFT

Fig. 9 – Representação de um sistema NFT [3]

Fig. 12 – Representação de um sistema Ebb-and-flow [3]

Fig. 11 – Representação de um sistema Aeropónico [3]

Fig. 10 – Representação de um sistema DWC [3]

Fig. 13 – Representação de um sistema Drip [3]

Fig. 14 – Representação de um sistema Wick [3]

Fig. 15 – Representação simplificada de um sistema aquapónico simples [4]

Fig. 16 – Layout genérico de um sistema Aquapónico [5]

Fig. 17 – Ciclo biológico da Aquaponia [6]

Fig. 18 - Quinta Ideia Rural

Fig. 19 - Preparação do terreno (esquerda) - Alface em estufa (direita)

Fig. 20 - Estufas Martins - Almeirim

Fig. 21 - Perfil de crescimento sistema NFT

Fig. 22 – Depósitos da solução nutritiva

Fig. 23 - Depósito de água e sistema doseador da solução nutritiva (lado esquerdo)

Fig. 24 - Sistema Aquapónico quinta Aberta Nova

Fig. 25 – “Camas” de LECA sistema Ebb-and-Flow

Fig. 26 – Alface em Bancada DWC

Fig. 27 – Representação do topo de um perfil NFT. Relação entre a plantação de Alface e Nabiça

Fig. 28 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo Convencional

Fig. 29 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo Aquapónico

Fig. 30 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo HidroFood

Fig. 31 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo Hidropónico

Lista de tabelas

Tabela 1. - Indicadores Midpoint e relação com indicadores Endpoint

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da agricultura convencional

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens dos sistemas hidropónicos

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens dos sistemas Aquapónicos

Tabela 5 – Resumo das características de cada caso de estudo

Tabela 6- Recursos consumidos por mês – Sistema Convencional

Tabela 7 – Recursos utilizados no sistema Convencional estudado

Tabela 8 – Produtividade caso Convencional

Tabela 9 – Recursos utilizados no sistema Hidropónico

Tabela 10- Recursos consumidos por mês – Sistema Hidropónico

Tabela 11 – Produtividade máxima sistema Hidropónico

Tabela 12- Recursos consumidos por mês – Sistema Aquapónico

Tabela 13 – Recursos utilizados no sistema Aquapónico

Tabela 14 – Produtividade mensal do sistema Aquapónico

Tabela 15 – Recursos mensais consumidos sistema adaptado HydroFood

Tabela 16 – Recursos utilizados no sistema Hydrofood

Tabela 17 – Recursos por kg de produção – Convencional

Tabela 18 – Recursos por kg de produção – Hidroponia

Tabela 19 – Recursos por kg de produção – Aquaponia

Tabela 20 – Recursos por kg de produção – Caso virtual HydroFood

Tabela 21 – Indicadores dos impactos ambientais Endpoint (H) para cada caso de estudo

Tabela 22 - Investimentos caso de estudo Convencional

Tabela 23 - Despesas anuais caso de estudo Convencional

Tabela 24 - Receitas anuais caso de estudo Convencional

Tabela 25 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo Convencional

Tabela 26 - Investimentos caso de estudo Hidropónico

Tabela 27 - Despesas anuais caso de estudo hidropónico

Tabela 28 - Receitas anuais caso de estudo Hidropónico

Tabela 29 - cálculo do valor atual líquido caso de estudo Hidropónico

Tabela 30 - Investimentos caso de estudo Aquapónico

Tabela 31 - Despesas anuais caso de estudo Aquapónico

Tabela 32 - Receitas anuais caso de estudo Aquapónico

Tabela 33 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo Aquapónico

Tabela 34 – Investimentos de caso de estudo HidroFood

Tabela 35 - Despesas anuais caso de estudo virtual HidroFood

Tabela 36 - Receitas anuais caso de estudo HidroFood

Tabela 38 - Receitas anuais caso de estudo quinta Aberta Nova com venda de peixes

Tabela 39 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo quinta Aberta Nova com venda de peixes

Tabela 40 - Receitas anuais caso de estudo Aberta Nova com venda de peixes

Tabela 37 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo HidroFood

Tabela 41 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo sistema virtual HidroFood com venda de peixes

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Comparação dos recursos consumidos por kg de produto produzido. Recursos comuns aos diferentes casos de estudo

Gráfico 2 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo Convencional

Gráfico 3 – Indicadores Midpoint (H) dos diferentes casos de estudo

Gráfico 4 – Comparação indicadores Midpoint (H) dos processos com menos impactos

Gráfico 5 – Comparação dos impactos ambientais dos vários casos de estudo - Método ReCiPe Endpoint

Gráfico 6 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo Hidropónico

Gráfico 7 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo HidroFood

Gráfico 8 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo HidroFood

Gráfico 9 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo Hidropónico

Gráfico 10 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo Convencional

Gráfico 11 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo Aquapónico

Gráfico 12 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo HidroFood

Nomenclatura

ASI – Agricultural Sustainability Institute

CO₂ – Dióxido de Carbono

DWC – Deep Water Culture

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

GEE – Gases com Efeito Estufa

ISO – International Organization for Standardization

LECA – Lightweight Expanded Clay Aggregate

LCA – Life Cycle Assessment

LCC – Life Cycle Cost

LCCA – Life Cycle Cost Analysis

LCI – Life Cycle Inventory

LCIA – Life Cycle Impact Assessment

VAL – Valor Atual Líquido

N – Azoto

NFT - Nutrient Film Technique

MgO – Óxido de Magnésio

NH₃ – Amoníaco

NPK – Adubo á base de Azoto, Fósforo e Potássio

NO₂⁻ – Nitritos

NO₃⁻ – Nitratos

P – Fósforo

PLM – Product Lifecycle Management

PVC – Polyvinyl chloride

K – Potássio

K₂O – Óxido de Potássio

1. Introdução

Nos últimos séculos, como reflexo da crescente industrialização, desenvolvimento tecnológico e conseqüente degradação ambiental, novos desafios e novas estratégias relacionadas com a proteção ambiental têm surgido. Para além de novas políticas de carácter económico-ambiental que visam uma maior consciência global da atual situação ambiental, do aparecimento de novas tecnologias e formas de geração de energia, como alternativa aos excessivos, consumo de combustíveis fósseis e emissões de carbono, conceitos como sustentabilidade têm sido delineados. De igual forma, relacionado com a cada vez maior escassez de água consumível e com a indiscutível preciosidade deste bem, novas formas e sistemas de utilização e gestão da água foram desenvolvidos. No caso da agropecuária, atividade realizada pelo ser humano relacionada com o maior consumo de água, cerca de 70% (FAO.org – AquaStat), novas técnicas e sistemas de produção agrícola, como por exemplo culturas sem solo, que procuram uma maior poupança de água, e também técnicas mistas de produção simultânea de espécies vegetais e animais que procuram uma maior sustentabilidade do sector foram desenvolvidas.

Impulsionado em parte pelos factos acima descritos, mais em concreto nas últimas décadas, novos modelos e ferramentas para análise da sustentabilidade de sistemas e processos foram criadas e desenvolvidas. Análises como a Pegada Ecológica que procura quantificar e qualificar a relação entre a disponibilidade e a necessidade dos recursos naturais, assim como avaliações do Ciclo de Vida (LCA) e do Custo do Ciclo de Vida (LCC), com a finalidade de verificar a sustentabilidade ambiental e económica de processos são cada vez mais utilizadas por forma a garantir a sustentabilidade dos mesmos.

Contudo até à data, ainda relativamente poucos foram os trabalhos desenvolvidos no âmbito da quantificação e comparação dos impactos ambientais relativos aos sistemas de produção agrícola – convencionais e alternativos, por forma a verificar a sua suposta sustentabilidade. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho será estabelecer e propor uma possível comparação a nível dos impactos ambientais e da viabilidade económica de alguns sistemas de produção agrícola, em concreto entre um sistema de agricultura convencional biológica, um sistema de agricultura hidropónica e um sistema de agricultura aquapónico, com base na análise de três casos de estudo. Para tal foram analisados três sistemas reais de produção agrícola – casos de estudo, sendo *À posteriori*, realizados algumas alterações e simplificações

virtuais por forma a viabilizar a comparação. Os casos de estudo foram Quintas e Empresas de produção agrícola, sendo os casos de estudo do sistema agrícola Convencional e sistema agrícola Hidropónico de carácter comercial, e o caso de estudo do sistema Aquapónico de carácter experimental.

Para a avaliação da sustentabilidade ambiental de cada caso de estudo, a metodologia utilizada para análise e tratamento de dados consistiu numa Avaliação do Ciclo de Vida – *Life Cycle Assessment* (LCA) através da qual se obtiveram diferentes índices de impacto ambiental e que posteriormente foram analisados e comparados. A implementação da metodologia e obtenção dos diferentes indicadores de impacto ambiental, foi feita através do *software* de avaliação do ciclo de vida SimaPro 2011 e da base de dados Eco Invent 3. Diferentes níveis de impacto ambiental foram computacionados através dos métodos ReCiPe Midpoint (H) V1.11 e ReCiPe Endpoint (H) V1.11. Por sua vez, uma aproximação para a avaliação da sustentabilidade económica de cada sistema agrícola, foi feita com base nas metodologias Custo do Ciclo de Vida – *Life Cycle Cost* (LCC) e do Valor Atual Líquido (VAL) através da qual a viabilidade económica de cada caso de estudo foi analisada. Devem considerar-se os resultados obtidos como aproximações de sustentabilidade, uma vez que definir a sustentabilidade no sentido geral de sistemas agrícolas, através da análise da sustentabilidade de casos de estudo concretos pode ser algo sensível.

Como diretiva para estruturação do presente trabalho começou-se por introduzir as motivações para a sua realização, assim como os objetivos a atingir, métodos, tipos de análise e avaliação e resultados a obter - (Capítulo 1).

Segue-se uma breve revisão do estado atual de desenvolvimento e de análises realizadas, no âmbito da avaliação do ciclo de vida e avaliação da viabilidade económica de atividades e processos agrícolas, assim como de comparações económico-ambientais entre os mesmos - (Capítulo 2).

Apresentam-se de seguida, em detalhe, as diferentes metodologias utilizadas para realização e análise de dados e obtenção de resultados – LCA; LCC e VAL, e é também definida a unidade funcional considerada para análise (Capítulo 3).

Posteriormente são apresentados, também em detalhe, os diferentes sistemas e técnicas de cultivo e produção agrícola abordados no presente trabalho - (Capítulo 4).

Seguidamente são apresentados os diferentes casos de estudo analisados assim como as suas envolventes sociais e económicas, os recursos utilizados e produtividades, sendo também

realizadas algumas simplificações por forma possibilitar a obtenção de resultados e a viabilizar a comparação entre os mesmos - (Capítulo 5).

Após a recolha e tratamento dos dados referentes a cada caso de estudo, procedeu-se à realização das diferentes análises, primeiramente à ambiental e posteriormente à económica. Para cada caso de estudo foram tratados os dados de estudo, sendo definidos os recursos materiais e energéticos por kg de unidade funcional, obtendo-se a respetiva rede de recursos e apresentados os diferentes indicadores de impacto ambiental obtidos. Procedeu-se também ao levantamento e análise dos investimentos, custos fixos, custos variáveis e receitas, sendo criado um modelo de análise da viabilidade económica de cada caso de estudo em função do tempo – (Capítulo 6).

Finalmente são tecidas algumas conclusões a cerca da sustentabilidade ambiental e económica de cada caso de estudo, extrapolando-se a partir daí hipóteses para a sustentabilidade dos sistemas de cultivo considerados (Capítulo 7).

2. Estado da arte

A produção de alimentos, desde há vários milhares de anos, é uma atividade que o Homem realiza de forma regular e constante, tendo-se intensificado com o passar dos tempos tornando-se numa das maiores indústrias a nível mundial, e com isso relacionada com o consumo de enormes quantidades de energia (Jared Diamond 2002).

Os primórdios da agricultura, como são anteriores à escrita não estão bem definidos, acreditando-se porém que tiveram lugar com início da sedentarização marcando assim a entrada no período Neolítico. Há cerca de 10.000 anos, alguns indivíduos de povos caçadores-recolectores, observaram que alguns grãos que colhiam da natureza para se alimentar, ao serem enterrados davam origem a plantas iguais às que os originavam. Começou-se então a semear plantas e a manter animais em cativeiro com vista à sua reprodução e consumo. Após algum tempo, plantas e animais especialmente escolhidos e explorados foram domesticados e, dessa forma, essas sociedades de predadores transformaram-se por si mesmas, em sociedades de cultivadores. Os primeiros sistemas de cultivo creem-se ter origem em regiões férteis pertos dos rios, em terras naturalmente fertilizadas tendo-se expandido e evoluído até à era moderna (M. Mazoyer, L. Roudart, 1997).

O aumento da população mundial, e conseqüentemente o aumento da necessidade de alimentos, levou à intensificação das atividades agrícolas e com isso a que grande parte da superfície terrestre fosse explorada com essa finalidade (D. Boucher et al., 2011). Zonas de maior potencial agrícola, como florestas têm sido intensamente destruídas para criação de espaço para as práticas agrícolas, tornando-se um assunto de especial preocupação principalmente devido à potencial perda de espécies animais e vegetais. No caso das florestas tropicais, embora estas cubram apenas cerca de 12% da superfície terrestre, estas contêm pelo menos 50% das espécies animais e vegetais do planeta terra e no ano 2000, aproximadamente 20% da sua área era utilizada para a realização de práticas agrícolas (D. Boucher et al., 2011). Para além da deflorestação e conseqüente perda de biodiversidade, conseqüências como, erosão e contaminação dos solos, esgotamento e poluição de água doce, poluição atmosférica, entre muitas outras, têm impacto direto nas alterações climáticas e no meio ambiente (Agar.hu-berlin.de).

Com a industrialização das práticas agrícolas e das atividades relacionadas houve um aumento significativo das emissões de gases com efeito estufa. Estimativas da FAO de 2013, sobre os gases com efeito de estufa apontam que as emissões provenientes da agricultura, da

silvicultura e da pesca quase duplicaram nos últimos cinquenta anos e podendo vir aumentar 30% até 2050 caso não sejam tomadas medidas de prevenção. Emissões relacionadas com a produção agrícola e pecuária passaram de 4,7 bilhões de toneladas de carbono equivalente CO₂ eq. em 2001 para mais de 5,3 bilhões de toneladas em 2011, um aumento de 14%. O aumento ocorreu principalmente nos países em desenvolvimento, devido à expansão do total de produtos agrícolas (FAO, 2013).

2.1. Sistemas agrícolas sustentáveis

É necessário esclarecer que existem diferenças entre a agricultura tradicional e a agricultura praticada atualmente. Chama-se agricultura tradicional ao conjunto de técnicas de cultivo que vêm sendo utilizado durante vários séculos pelos camponeses. Estas técnicas priorizam a utilização intensiva dos recursos naturais e da mão-de-obra direta. A agricultura tradicional é praticada em pequenas propriedades e destinada à subsistência das famílias, com a produção de grande variedade de produtos.

Desde o final da Segunda Guerra Mundial teve início o processo de declínio da agricultura tradicional praticada até então. Na década de 60, começa a ser implantada uma nova agricultura, chamada de agricultura moderna, que se caracteriza pelo grande uso de elementos externos, utilização de máquinas pesadas, má utilização dos solos e uso de adubação química. A agricultura moderna existe há poucos anos e já demonstrou o colapso das suas técnicas. Desta forma, não pode ser considerada uma agricultura sustentável, ao contrário da agricultura tradicional, que tem centenas de anos de história e sustentabilidade a longo prazo.

A busca de soluções para os problemas como o elevado desperdício e poluição de água, a contaminação dos solos e do meio ambiente, levou ao aparecimento e desenvolvimento de sistemas e estratégias de cultivo e de produção de alimentos sustentáveis. Sistemas agrícolas que façam um uso mais racional dos recursos naturais, que permitam maiores níveis de produtividade e que se adequem às cada vez mais exigentes necessidades ambientais, foram ao longo dos tempos desenvolvidos. Idealizaram-se portanto sistemas agrícolas sustentáveis que se baseiam no trinómio: prosperidade social, económica e proteção e respeito pelo meio ambiente (ASI). Existem várias definições e práticas associadas à agricultura sustentável, mas todas visam a preservação da natureza, a diminuição do consumo de água, energia e dos

recursos envolvidos, eliminando a utilização de fertilizantes químicos sintéticos e outros agrotóxicos, diminuindo os níveis de poluição associados a tais práticas.

Paralelamente ao desenvolvimento de práticas e sistemas agrícolas convencionais de carácter sustentável foram também surgindo e desenvolvidos sistemas de cultivo alternativos. Em especial sistemas de cultivo sem solo inseridos em circuitos fechados de água como a hidroponia e posteriormente a aquaponia. A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por um sistema circulante de solução aquosa contendo apenas os nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Em sistemas como o hidropónico a poupança de água é considerável uma vez que a água utilizada para a rega não se perde pela absorção do solo, sendo esta apenas perdida por processos de evaporação. Por sua vez a aquaponia consiste na inclusão de um sistema de criação de peixes – aquicultura; num sistema de criação de plantas sem solo - hidroponia (Rakocy et al. 2006).

2.2. Análise de sustentabilidade

Com a finalidade assegurar uma transição para padrões de produção e de consumo mais sustentáveis, vários estudos baseados em avaliações do ciclo de vida (LCA), e avaliações do custo do ciclo de vida (LCC) relacionados com a indústria alimentar nas suas várias áreas, como a produção, o embalamento, o transporte e a gestão de resíduos foram realizadas (Poritosh Roy et al., 2008). O primeiro estudo e avaliação (LCA) relacionado com a indústria da alimentação foi realizado em 1969 quando a *Coca Cola Company* quis avaliar aspetos relacionados com o embalamento dos seus produtos (Hunt, R. G., and W. E. Franklin. 1996). Desde então avaliações do ciclo de vida (LCA) relacionadas com a indústria da alimentação na sua grande amplitude foram amplamente utilizadas. A empresa Tetrapack desenvolveu vários estudos (LCA) nos seus recipientes por forma a investigar e melhorar a sua sustentabilidade ambiental. A Nestlé incluiu nos seus serviços um software de gestão do ciclo de vida DevEx (product lifecycle management – PLM), um módulo chamado Eco-Design Tool, para ajudar os funcionários da empresa a avaliar e desenvolver produtos alimentares (Notarnicola et al., 2016).

Para além da indústria embaladora, vários estudos relativos a processos agrícolas e a diferentes produtos foram realizados. Refiram-se estudos relacionados com a produção de laticínios (O’Brein et al. 2012), a produção de suínos em França (Basset-Mens et al., 2006), o

cultivo em estufas e ambientes protegidos (Torrellas et al., 2012), o cultivo de soja na Grécia (Abeliotis et al., 2013), a produção de tomate em França (Boulard et al., 2011) e produção de Trigo nos EUA (Meisterling et al., 2009) como alguns dos estudos realizados relacionados com atividades agrícolas.

Estudos relacionados com a produção de pão, um dos mais importantes produtos alimentares produzidos, foram realizados por vários investigadores (Holderbeke et al., 2003) e incluem diferentes tipos de produção das culturas de trigo, convencionais e orgânicas, diferentes técnicas de moagem e diferentes formas de produção. Um cenário combinado de produção biológica de trigo, moagem industrial numa fábrica de pão é relatado ser a forma mais vantajosa de produzir pão. Os resultados foram analisados com base na massa, kg, de pão. A produção primária e as fases de transportes foram consideradas como sendo altamente significativas para a maior parte das categorias de impacto. A etapa de cozimento é significativa para a categoria formação de foto-oxidantes e no consumo de energia. Impactos associados coma eutrofização estão relacionados com os processos de cultivo, com a emissão de compostos azotados, produção de fertilizantes e a utilização de tratores (Poritosh Roy et al., 2008).

Relativamente à indústria dos lacticínios, vários estudos têm sido realizados por forma a determinar o seu impacto ambiental. O leite é um dos produtos lácteos mais importantes e tem sido relatado que a produção de leite biológico, reduz a utilização de pesticidas, mas necessita de uma maior quantidade de terra relativamente á produção convencional (Williams et al., 2006). Estes estudos revelam que medidas para reduzir o potencial impacto ambiental da produção de leite precisam de ser aplicada a ambos os tipos de produção. Os principais impactos associados com a produção de leite, são o elevado consumo de água e de energia elétrica e a descarga de efluentes com elevada carga orgânica. É também relatado que diferentes mudanças no produto a produzir podem aumentar os resíduos e desperdícios de leite.

Quanto á produção de carne, vários estudos e avaliações do ciclo de vida (LCA) mostram que os impactos ambientais dependem diretamente da fase de engorda dos animais, comprimento dos períodos e do tipo de alimentação, do armazenamento dos animais e da gestão do estrume produzido (Núñez et al., 2005). A fase de alimentação é relatada como a fase com maior importância em termos de impacto ambiental, e com isso períodos de alimentação mais curtos diminuem tais impactos. As infraestruturas desempenham também um papel

importantíssimo especialmente devido ao consumo de energia e á toxicidade humana (Poritosh Roy et al., 2011).

O arroz é um dos produtos agrícolas mais importantes no mundo, (Breiling et al., 1999) estudou a produção de arroz no Japão com vista a estimar a emissão de gases com efeito estufa (GEE). O estudo relatou que a emissão de (GEE) depende principalmente da localização, do tamanho das explorações e da variedade do arroz.

Relativamente a dietas e a alterações nos padrões alimentares vários estudos foram igualmente realizados (Muñoz et al. 2010) e mostram que alterações nos hábitos alimentares podem interferir significativamente a nível ambiental, como o caso de dietas vegetarianas que podem ter um menor encargo ambiental face a dietas baseadas em produtos animais, relacionados com maiores consumos de oxigénio e emissões de CO₂ relacionados com o crescimento dos animais (Hallström et al. 2015).

Relativamente ao conceito de aquaponia que surge e começa a ser definido em meados da década de 70, quando investigações na área da aquacultura começaram a utilizar plantas como elemento filtrante da elevada carga biológica da água de criação dos peixes (Naegel, 1977), foi estudado em pequena escala com trabalhos com o objetivo a ajudar a melhor compreender o seu funcionamento, rentabilidade económica e viabilidade de realização a grande escala (Rakocy et al., 2006; Tokunaga et al, 2015), mas apenas recentemente se começou a analisar a sua sustentabilidade por meio de aproximações holísticas, como estudos baseados em aproximações da metodologia de avaliação do ciclo de vida, ou na sua aplicação direta, em sistemas aquapónicos (David C. Love et al., 2015; Xie & Rosentrater, 2015; Forchino A.A. et al., 2017).

Entre Janeiro de 2013 e Janeiro de 2015 (David C. Love et al., 2015) Johns Hopkins University, Baltimor, USA, conduziu um trabalho experimental baseado num sistema aquapónico com o objetivo de descrever as condições de funcionamento de um sistema aquapónico e de quantificar de forma o mais exata possível todas as entradas (energia, água, comida de peixe) e saídas do processo (quantidade de alimentos produzidos), as relações entre si existentes, custos e lucros, e de servir de ponto de partida para futuros trabalhos no âmbito da avaliação do ciclo de vida (LCA). Concluiu também que a rentabilidade económica de tais sistemas está fortemente relacionada com a grande sensibilidade do valor de mercado dos produtos produzidos.

Em 2015 Kun Xie e Kurt Rosentrater do departamento de agricultura e engenharia de biosistemas da Iowa State University, realizaram um estudo baseado nas metodologias life cycle assessment (LCA) e Techno-economic analysis (TEA) de um sistema aquapónico de pequenas dimensões com 7,56 m² de área útil de produção e 732 l de água, e na extrapolação desse sistema a sistemas com 10 e 300 vezes o tamanho do sistema concebido. A unidade funcional foi 1 kg de vegetais, manjerição, e 1 kg de peixe, Tilápia, produzidos pelo sistema. O estudo revelou que os impactos ambientais unitários (por unidade funcional) decrescem à medida que o tamanho do sistema aumenta. Os resultados indicaram ainda que quando a escala do sistema fosse suficientemente grande, área de produção superior a 75,6 m², que a viabilidade económica do sistema ocorreria para valores da venda do manjerição superiores a 60 \$/kg. Saliente-se também a conclusão de que mais trabalhos na área de análise do ciclo de vida e avaliação económica são necessários no futuro para melhor compreensão da aquaponia e das suas potenciais vantagens (Xie & Rosentrater, 2015).

No que diz respeito a análises de avaliação do ciclo de vida relativas a comparações entre técnicas de cultivo, foram realizados estudos baseados na metodologia (LCA) sobre comparação entre cultivo Convencional e Biológico de Alface na Grécia (Spyros Foteinisa, Efthalia Chatzisyneon 2015) e comparação entre dois sistemas virtuais de cultivo Aquapónicos, sistema Deep Water Culture (DWC) e sistema *Ebb-and-Flow* com substrato inerte (Forchino A.A. et al., 2017). No primeiro, comparação entre sistema agrícola convencional e biológico de Alface, duas unidades funcionais, por hectare (ha) de produção e por tonelada (ton) de alface produzida, serviram de base para a avaliação da sustentabilidade ambiental. O software utilizado foi o SimaPro V.8 a quantificação dos impactos Midpoint e Endpoint e das emissões de CO₂. O estudo concluiu que a sustentabilidade ambiental do cultivo convencional está fortemente ligado com a utilização de fertilizantes químicos que podem causar elevados níveis de eutrofização (FreshWater Eutrophication) afetando com isso de forma negativa os ecossistemas aquáticos e terrestres. Por sua vez a sustentabilidade ambiental do sistema de cultivo biológico está fortemente relacionada com os processos de aplicação dos compostos orgânicos e maiores processos de preparação dos solos, normalmente efetuados por maquinaria pesada e conseqüente maior consumo de combustíveis fósseis. O estudo concluiu que a comparação entre o sistema convencional e o sistema biológico depende fortemente da unidade funcional, sendo que o sistema biológico em termos de sustentabilidade ambiental é melhor que o sistema convencional quando os resultados são expressos em função da área (ha), enquanto se representados por quantidade de produção (ton) o sistema convencional mostra uma melhor performance ambiental (Spyros

Foteinisa, Efthalia Chatzisyneon 2015). Relativamente ao estudo realizado para comparação dos impactos ambientais relativos a dois sistemas virtuais aquapónicos, concluiu que o sistema *Deep Water Culture* (DWC) é o menos nocivo em termos de impacto ambiental. Ainda que seja aquele em que se consome mais energia verificou-se que no sistema Ebb-and-Flow os impactos ambientais são mais elevados possivelmente devido á utilização de grandes quantidades de materiais inertes como substrato para sustentação das plantas. Os Autores sugerem portanto uma utilização mais racional dos recursos utilizados na conceção dos sistemas aquapónicos assim como de técnicas alternativas de produção de energia eléctrica para o funcionamento dos mesmos.

Quanto a trabalhos e estudos comparativos entre diferentes sistemas agrícolas e respetiva análise de sustentabilidade ambiental e económica, pesquisas efetuadas à data do presente trabalho demonstram a sua escassez e conseqüente necessidade de trabalho e desenvolvimento na área.

3. Metodologia

No presente capítulo apresentam-se as metodologias utilizadas no presente trabalho para a análise da sustentabilidade ambiental e económica dos diferentes casos de estudo – processos agrícolas. A sustentabilidade ambiental foi analisada segundo a metodologia Avaliação do Ciclo de Vida – *Life Cycle Assessment* (LCA) através da qual foram analisados os possíveis impactos ambientais inerentes a cada caso de estudo. Por sua vez a sustentabilidade económica foi analisada com base numa avaliação do Custo do Ciclo de Vida – *Life Cycle Cost* (LCC) através do levantamento de todos os custos inerentes aos processos sendo posteriormente consideradas as receitas da produção, com base na produtividade de cada sistema e realizada uma avaliação da viabilidade económica de processos no decorrer do tempo, baseada no método do Valor Atual Líquido (VAL).

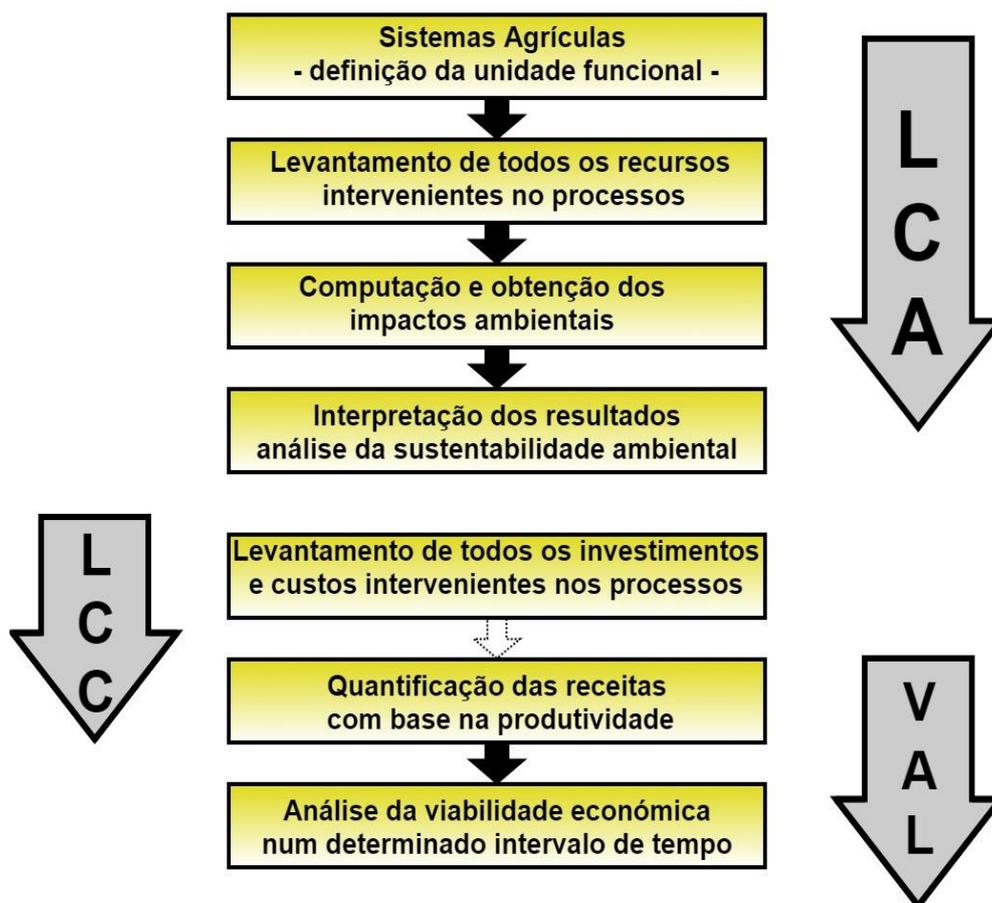


Fig. 1 - Metodologias utilizadas

3.1. Sustentabilidade Ambiental – *Life Cycle Assessment*

A avaliação do ciclo de vida (LCA) é uma metodologia utilizada para avaliar e quantificar os possíveis impactos ambientais de produtos e processos desde a sua origem até ao fim de vida – From cradle to the grave. Segundo a norma EN ISO 14040 – Environmental Management, a metodologia inclui a aplicação de quatro passos distintos: 1) definição do objetivo/objeto de estudo - unidade funcional, 2) Formulação do inventário, levantamento dos dados relativos a todas as entradas e saídas do processo – *life cycle inventory* (LCI), 3) conversão do inventário e índices de impacto ambiental – *life cycle impact assessment* (LCIA) e 4) Interpretação dos resultados. Após definido o objeto de estudo, unidade funcional, e de processados os dados, entradas e saídas, um inventário de indicadores é então calculado. Este resultado é normalmente uma lista bastante extensa de recursos e emissões por vezes difícil de interpretar. Devido ao grande número de informação necessária para a realização de um (LCA) assim como da complexidade na sua síntese e análise vários *softwares* e métodos foram desenvolvidos, tornando assim estes estudos mais simples e eficientes.

3.1.1. Definição do objetivo de estudo – Unidade funcional

O objetivo deste trabalho foi comparar três sistemas de produção agrícola, um sistema convencional de agricultura biológica, um sistema hidropónico e um sistema aquapónico, com a finalidade de estimar os possíveis impactos ambientais associados a cada um e identificar os pontos críticos de cada sistema. A unidade funcional considerada no trabalho foi 1 kg de alimento produzido, sendo 0,5 kg de Alface e 0,5 kg de Nabiça.

3.1.2. Fronteiras do sistema

No presente trabalho dado o objetivo do estudo ser apenas a análise dos sistema produtivos, na análise realizada apenas se consideraram os mecanismos de produção de cada sistema agrícola estudado, ficando de fora os processos de transporte e de produção das entradas dos sistemas, fertilizantes, nutrientes, peixes, alimento dos peixes e plantas, assim como os processos pós colheita, como embalagem, transporte, venda e gestão de resíduos. Note-se que na grande maioria dos sistemas agrícolas apenas se processa o crescimento das plantas, pois estas são normalmente compradas em viveiros já germinadas. Como mostrado nas figuras seguintes, Figuras 2, 3 e 4, as fronteiras dos sistemas incluem os processos de irrigação,

nutrição e consumo energético associados ao crescimento das plantas, ficando de fora os processos de transporte das matérias-primas assim como os processos de embalagem, transporte e final de vida dos produtos neles.

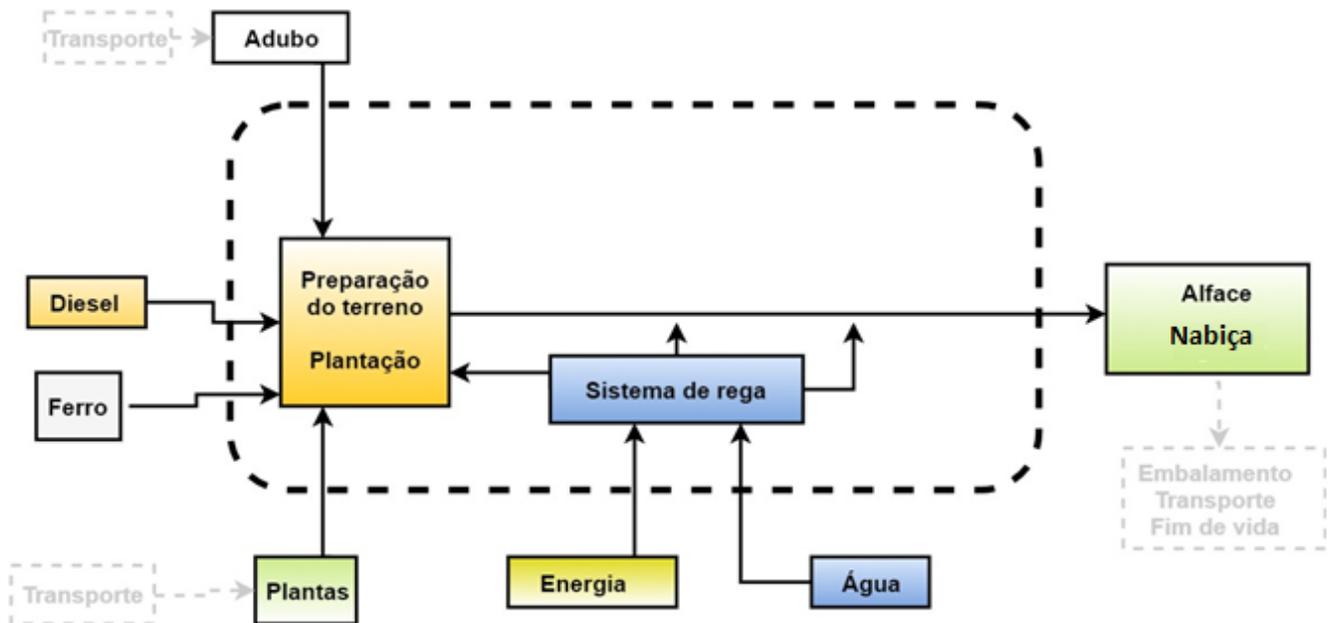


Fig. 2 – Fronteiras do sistema do caso de estudo Convencional

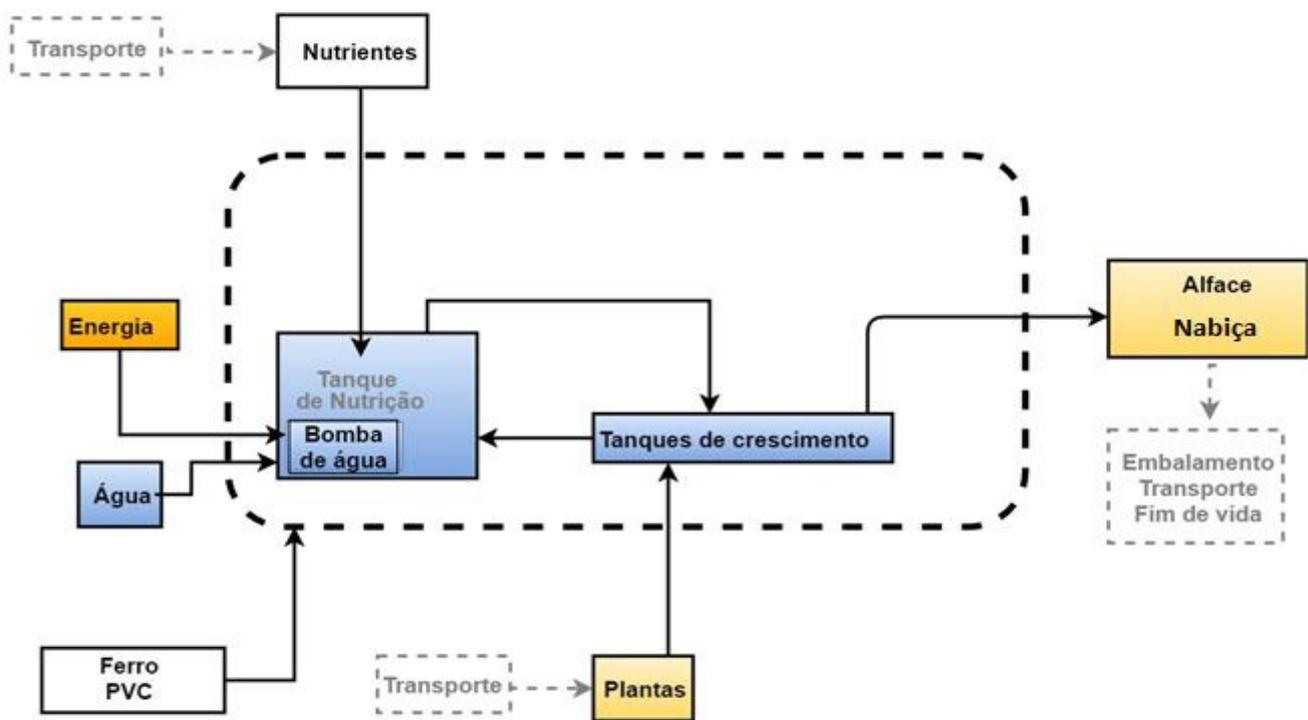


Fig. 3 – Fronteiras do caso de estudo do sistema Hidropônico

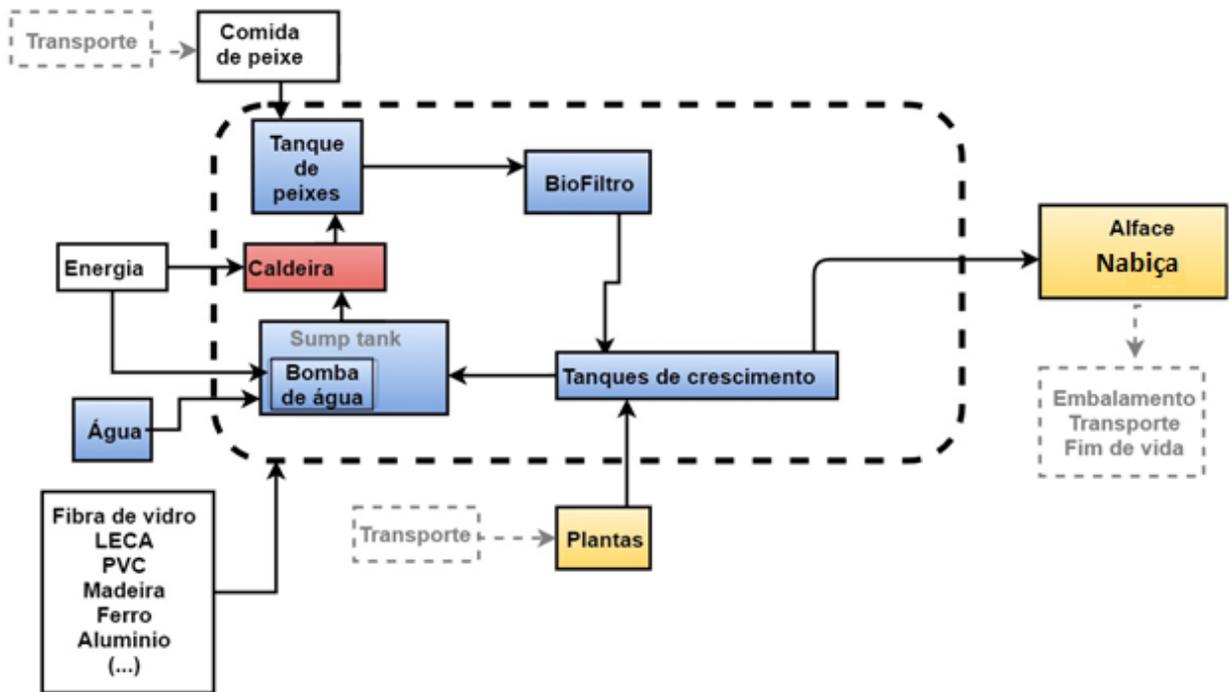


Fig. 4 – Fronteiras do caso de estudo sistema Aquapónico

3.1.3. Life Cycle Inventory (LCI)

Os dados utilizados em cada caso de estudo, foram retirados aquando a visita a três empresas de produção agrícola, uma quinta de produção convencional biológica, uma empresa de produção agrícola em sistema hidropónico e numa quinta “incubadora” de ideias agrícolas que durante quatro anos realizou um projeto experimental de produção aquapónica. Cada caso de estudo é descrito em detalhe no capítulo 5.

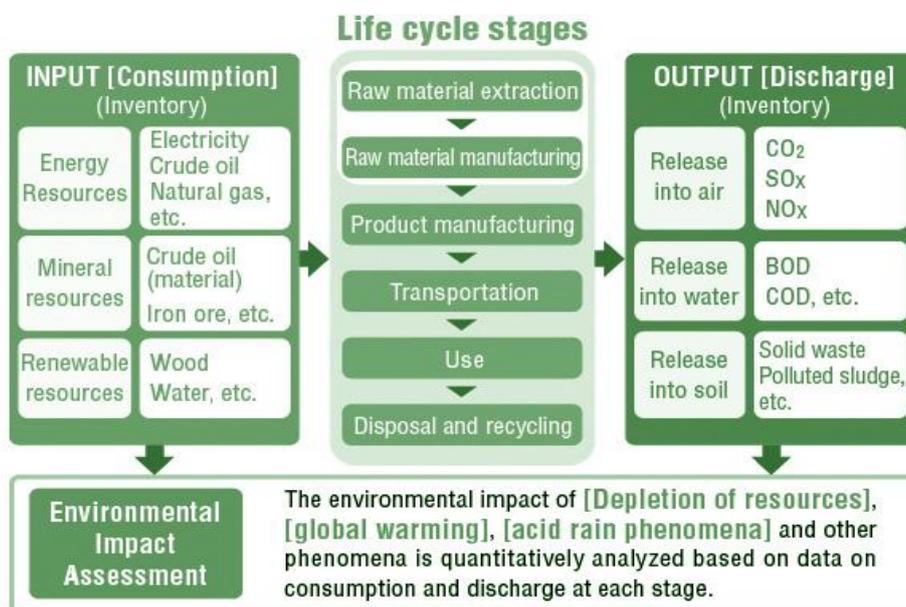


Fig. 5 - Fases e processos da avaliação do ciclo de vida

3.1.4. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Com a finalidade de ajudar a interpretação da informação obtida aquando a computação dos dados relativos às entradas e saídas dos produtos e processos avaliados, vários métodos, como o CML-IA, o IMPACT 2002+, o EDIP 3003, e o RecCiPe entre outros foram desenvolvidos (SimaPro Database manual). No presente trabalho utilizou-se o método ReCiPe para análise e conversão dos dados. O principal objetivo do método é transformar a longa lista de resultados do inventário de indicadores num número limitado de indicadores de pontuação. Estes indicadores expressam a severidade relativa numa categoria de impacto ambiental e são divididos em dois níveis (lcia-recipe.net):

- 18 Indicadores Midpoint
- 3 Indicadores Endpoint

O método ReCiPe utiliza um mecanismo ambiental como base para a modelação, que pode ser visto como uma série de efeitos que em conjunto criam vários níveis de dano, como por exemplo para os Ecossistemas Recursos ou Saúde Humana. A motivação para o cálculo dos indicadores Endpoint é que o grande número dos indicadores Midpoint são mais difíceis de interpretar, por um lado porque são muitos, por outro porque têm um significado relativamente abstrato. Os indicadores Endpoint têm como objetivo facilitar a interpretação dos resultados pois são apenas três e têm um significado mais compreensível. A ideia é que cada utilizador possa escolher a que nível quer os indicadores, dezoito robustos mas relativamente difíceis de interpretar ou três mais relativos mas fáceis de interpretar (pre-sustainability.com). Na Tabela 1 encontram-se descritas os indicadores de impacto Midpoint (H) e a sua conexão com os respetivos indicadores Endpoint (H).

Categorias de impacto		
Midpoint		Endpoint
Nome	Abreviatura	
Climate change	CCHH	Human Health
Ozone depletion	OD	
Human toxicity	HT	
Photochemical oxidant formation	POF	
Particulate matter formation	PMF	
Ionising radiation	IR	
Climate change	CCE	Ecosystems
Terrestrial acidification	TA	
Freshwater eutrophication	FE	
Terrestrial ecotoxicity	TE	
Freshwater ecotoxicity	FET	
Marine ecotoxicity	MET	
Marine eutrophication	ME	
Agricultural land occupation	ALO	
Urban land occupation	ULO	
Natural land transformation	NLT	
Water depletion	WD	Resources
Metal depletion	MD	
Fossil depletion	FD	

Tabela 1. - Indicadores Midpoint e relação com indicadores Endpoint

No presente trabalho o LCA de cada um dos casos de estudo – Produção agrícola Convencional, Hidropónica e Aquapónica, foi realizado através do Software (SimaPro, 2011) e da base de dados Eco Invent 3. Os impactos ambientais foram computacionados através dos métodos ReCiPe Midpoint (H) V1.11 e do método ReCiPe Endpoint (H) V1.11.

Para cada caso de estudo, as entradas e saídas de cada processo foram determinadas e quantificadas. Estas foram registadas aquando a visita a três empresas de produção agrícola, e posteriormente tratados. O objetivo foi a obtenção dos recursos utilizados por kg de produto produzido. Neste estudo apenas foram considerados os recursos utilizados nos processos de produção de cada sistema agrícola, ficando de fora os recursos inerentes a outras atividades como embalagem, transporte e fim de vida dos produtos.

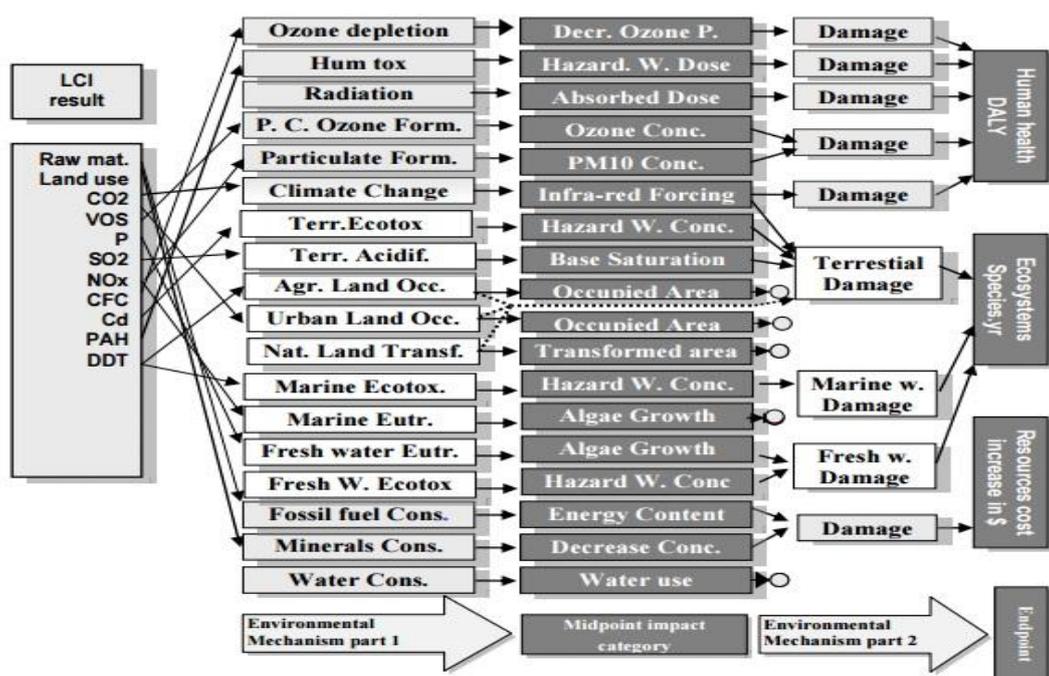


Fig. 6 – Estrutura de uma análise LCA e Método ReCiPe

3.2. Sustentabilidade Económica

A avaliação de sustentabilidade económica – Análise de investimentos, tem como objetivo determinar a sustentabilidade económica dos diferentes casos de estudo e consequentemente o sucesso ou insucesso económico dos mesmos. Para tal foi utilizada uma abordagem baseada

numa avaliação do custo do ciclo de vida (LCC), sendo depois feita uma análise adicional à viabilidade económica de cada caso de estudo numa perspetiva de negócio, através de um método de avaliação para um determinado período temporal – VAL.

3.2.1. Custo do Ciclo de Vida – LCC

O Custo do Ciclo de Vida é uma técnica de análise económica que envolve todos os custos associados de um produto durante todas as fases da sua vida. O objetivo desta análise é quantificar os custos em todas as fases do ciclo de vida do produto incluindo custos que normalmente não são expressos diretamente no preço de mercado do produto, como os custos associados ao uso e ao seu fim de vida (Y. S. Sherif et al., 1981).



Fig. 7 – Análise de custo do ciclo de vida

3.2.2. Valor Atual Líquido – VAL

O VAL tem como objetivo avaliar a viabilidade de um projeto de investimento através do cálculo do valor atual de todos os fluxos de caixa futuros. Por valor atual entende-se o valor de hoje de um determinado montante a obter (accountingformanagment.org). Como qualquer investimento apenas gera fluxos de caixa no futuro, é necessário atualizar o valor de cada um desses fluxos de caixa e compará-los com o valor do investimento. No caso do valor do investimento ser inferior ao valor atual dos fluxos de caixa, o VAL é positivo o que significa que o projeto apresenta viabilidade económica. Se por sua vez for negativo, significa que do ponto de vista económico o investimento não é vantajoso.

Para atualizar os fluxos de caixa futuros é utilizada uma taxa r , a que se chama custo de oportunidade capital. Esta taxa é não mais do que uma taxa de juros sem risco acrescida de um prémio de risco estabelecido para o tipo de projeto em causa.

A fórmula utilizada para a análise é:

$$VAL = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

Onde:

CF – Fluxos de caixa

r – Custo de oportunidade capital

n – Número de anos considerados

No presente trabalho o custo de oportunidade capital considerado foi de 10% por se estar a avaliar diferentes projetos inovadores de produção. Para cada um dos casos de estudo, os valores dos investimentos e das receitas foram obtidos diretamente das empresas e sistemas estudados e encontram-se analisados no capítulo 6.2.

4. Sistemas de Cultivo

No presente capítulo serão apresentados diferentes tipos de sistema de cultivo. Considere-se sistema de cultivo como as práticas comuns de manejo associadas a uma determinada espécie vegetal, visando a sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de atividades e operações (James W. Jones et al., 2016). Neste trabalho em termos gerais consideraremos os seguintes dois grupos de sistemas de cultivo:

- Sistemas convencionais – cultivo em solo
- Sistemas alternativos – cultivo sem solo

Serão apresentadas variantes e características de cada tipo assim como algumas vantagens e desvantagens dos mesmos.

4.1. Sistemas Convencionais – cultivo em solo

Em geral, o termo convencional refere-se ao cultivo dos campos utilizando técnicas tradicionais de preparo dos solos. Este pode ser no exterior ou em sistema protegido, dentro de estufa, possibilitando um certo controlo sobre variáveis climáticas como temperatura, vento, radiação solar e humidade do ar. Pode ainda ser Orgânico ou Biológico, no qual não são usados fertilizantes químicos sintéticos, agrotóxicos, reguladores de crescimento ou organismos geneticamente modificados. Neste último caso valoriza-se o uso eficiente dos recursos naturais não renováveis, bem como o aproveitamento dos recursos naturais renováveis e de processos biológicos aliados à biodiversidade, ao meio ambiente, ao desenvolvimento económico e à qualidade de vida humana (Arun Mondala et al., 2017).

4.1.1. Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Possibilidade de investimentos relativamente baixos• Baixos consumos energéticos• Possibilidade de certificação Biológica	<ul style="list-style-type: none">• Elevado consumo de água• Menor aproveitamento da área útil de cultivo face às técnicas alternativas• Menor produtividade associada a ciclos de produção mais longos• “Cansaço” e desequilíbrios nutricionais nos solos

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da agricultura convencional

4.2. Sistemas Alternativos – cultivo sem solo

Designa-se por cultura sem solo, qualquer sistema de produção agrícola em que as plantas não estão enraizadas no solo. As plantas cultivadas desenvolvem o seu sistema radicular ou diretamente em contacto com a solução nutritiva, ou em algum meio físico inerte – substrato, como por exemplo lã de rocha, areia lavada ou LECA. Estas encontram-se integradas em sistemas de circulação de água devidamente nutrida – solução nutritiva. A nutrição do sistema de irrigação é feita pelo Homem sendo os nutrientes adicionados numa parte do circuito.

4.2.1. Hidroponia

O sistema mais comum de produção agrícola sem solo é o Hidropónico existindo vários *designs* e sistemas cada um com o seu propósito mas todos com a mesma finalidade. Nestes por meio de uma bomba de água a solução nutritiva circula entre o tanque de nutrição e o sistema de suporte/crescimento das plantas, onde depois normalmente por meio da ação da gravidade retorna ao tanque de nutrição. Os mais utilizados são o sistema *Nutrient Film Technique* (NFT) e o sistema *Deep Water Culture* (DWC), amplamente utilizados em grandes instalações comerciais. Existem ainda sistemas aeropónicos, sistemas *Ebb-and-flow*, sistemas *Wick* e sistemas *Drip*, estes mais utilizados em pequenas e médias instalações, caseiras ou experimentais.



Fig. 8 – Estufa Hidropónica – Sistema NFT

4.2.1.1. Sistemas de Crescimento

- **Nutrient Film Technique (NFT)**

Este é o sistema hidropónico mais conhecido atualmente. Neste a solução nutritiva é bombeada de um depósito para um canal de cultura ligeiramente inclinado, e flui constantemente no seu fundo, na forma de um filme. Parte das raízes, fica submersa neste filme de solução, onde são banhadas constantemente, e outra parte fica em constante contacto com o ar húmido acima da solução de onde absorvem oxigénio. Após percorrer o canal, a solução nutritiva retorna ao seu depósito. Neste sistema, normalmente não existe meio de cultura, e as plantas, geralmente, ficam apoiadas em vasos ou redes de germinação.

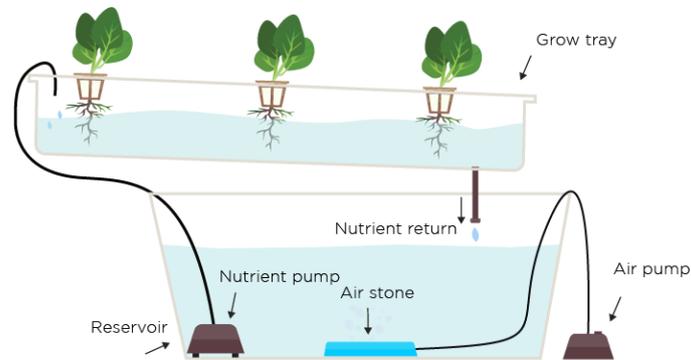


Fig. 9 – Representação de um sistema NFT

- **Deep Water Culture (DWC)**

Neste sistema as plantas encontram-se ancoradas numa plataforma flutuante, normalmente de esferovite ou cortiça, colocada diretamente na superfície da solução de nutrientes ficando as raízes ficam total ou parcialmente imersas nessa solução.

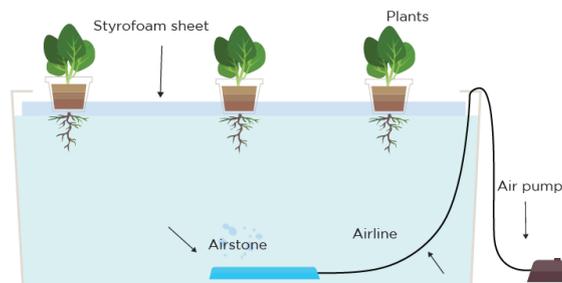


Fig. 10 – Representação de um sistema DWC

- **Sistemas Aeropónicos**

Neste sistema as plantas encontram-se suspensas com as raízes imersas numa câmara de cultivo, onde são aspergidas com uma nevoa de solução nutritiva, em intervalos de tempo curtos. A aspersão de nutrientes é feita por nebulizadores com frequência de aproximadamente 2 MHz, a esta frequência a água transforma-se numa espécie de nevoeiro e é absorvida pelas raízes das plantas (howtohydroponics.com).

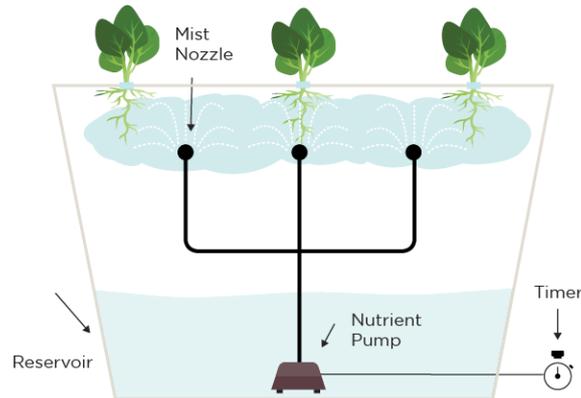


Fig. 11 – Representação de um sistema Aeropónico

- **Sistema Ebb-and-Flow**

O sistema Ebb-And-Flow, enche e vaza, funciona fazendo encher com a solução nutritiva uma cama ou bancada de cultivo e quando esta atinge uma determinada altura é esvaziada rapidamente por meio de um sifão retornando novamente ao tanque da solução nutritiva. A bancada normalmente encontra-se cheia com um substrato inerte. Os mais utilizados são normalmente rochas vulcânicas britadas ou argila expandida - LECA.

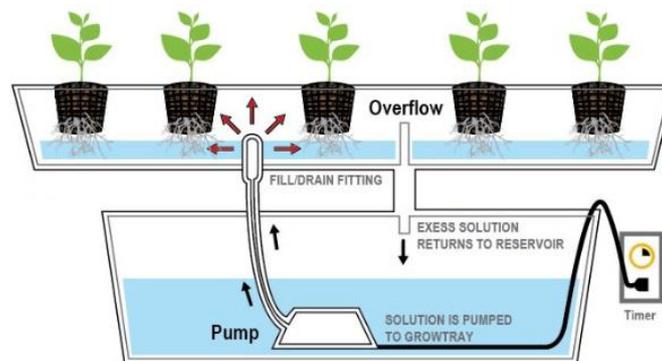


Fig. 12 – Representação de um sistema Ebb-and-flow

- **Sistema Drip**

O sistema *Drip*, ou de gotejamento é um sistema que pode ter a fisionomia dos sistemas anteriormente descritos com a particularidade da solução nutritiva ser disponibilizada às plantas através de um sistema tubos e microtubos até ao seu caule, onde é descarregada na forma de gotas a qual após hidratação do sistema radicular retorna ao tanque de nutrição.

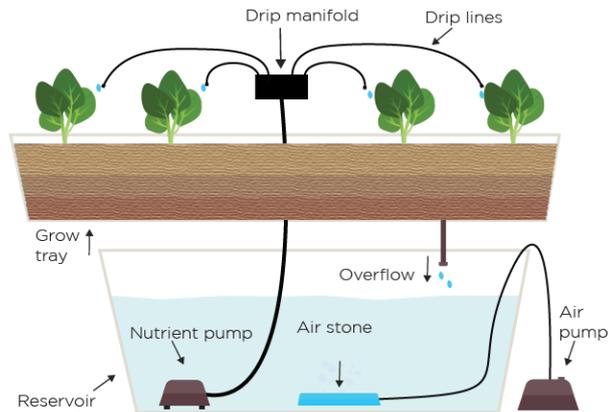


Fig. 13 – Representação de um sistema Drip

- **Sistema Wick**

O sistema wick, pavio é o mais simples de todos os sistemas. Neste a solução nutritiva é conduzida para a raiz das plantas por capilaridade através de um ou mais pavios. Neste sistema, fibra de coco normalmente é utilizada um substrato de modo a incrementar ao máximo a capacidade de retenção de humidade. Este sistema é apropriado para plantas de pequeno porte e é normalmente utilizado em pequenas instalações caseiras para plantas ornamentais.

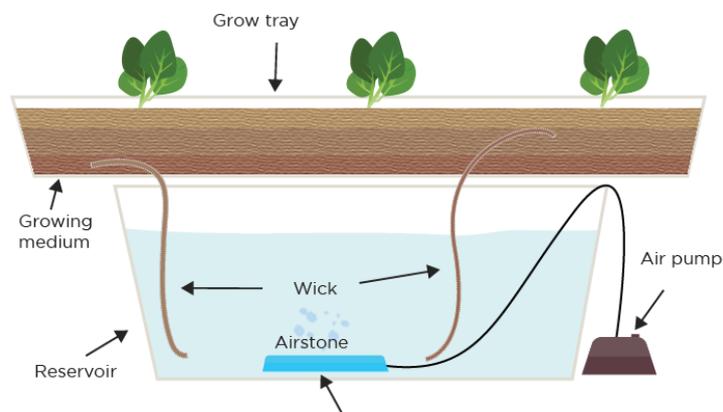


Fig. 14 – Representação de um sistema Wick

4.2.1.2. Solução Nutritiva

Nos sistemas de cultura sem solo a solução nutritiva deve aportar todos os nutrientes necessários às plantas. Existem publicadas diversas receitas para a composição de soluções nutritivas. Algumas, como a solução de Hoagland, derivam de trabalhos de fisiologia vegetal e podem ser consideradas de uso geral, ou pontos de partida para a otimização da solução para determinada cultura. Para as principais culturas hortícolas existe experimentação em diversas regiões do mundo que conduziu à otimização da composição de soluções nutritivas. Nos casos mais complexos, a composição da solução nutritiva varia de acordo com o estado de desenvolvimento da cultura. Genericamente uma solução nutritiva é composta principalmente pelos macronutrientes Nitrogénio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), em diversas formas como nitrato de potássio, nitrato de cálcio, nitrato de amónio, sulfato de potássio, por micronutrientes como ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), entre outros, e por ácidos (nítrico, fosfórico) e bases (bicarbonato de potássio, hidróxido de potássio) para regulação do ph da solução. Exemplos de Soluções nutritivas são apresentados no anexo 1.

4.2.1.3. Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Poupança de água• Melhor aproveitamento de área útil de produção• Maior controlo de pragas• Alta produtividade• Possibilidade da integração dos sistemas em meio urbanos	<ul style="list-style-type: none">• Tecnologia relativamente cara• Dependência constante de energia elétrica• Impossibilidade de certificação biológica

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens dos sistemas hidropónicos

4.2.2. Aquaponia

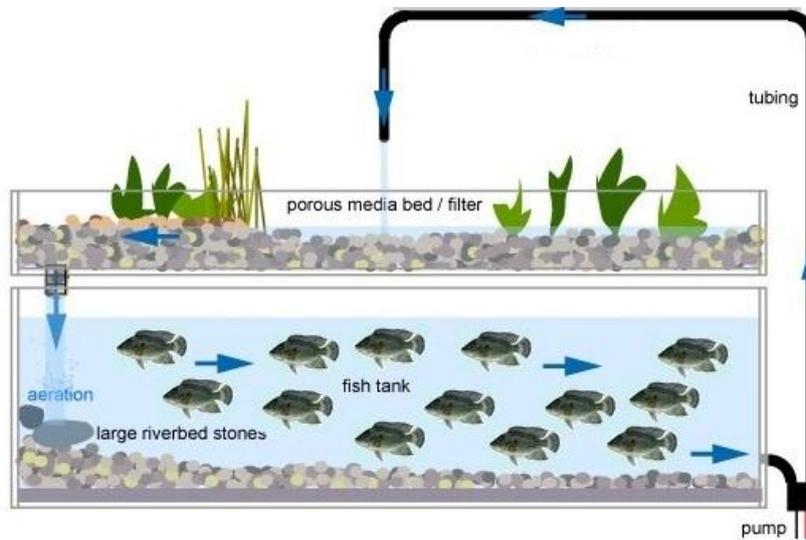


Fig. 15 – Representação simplificada de um sistema aquapônico simples

A Aquaponia, é uma técnica de produção de alimentos com baixo consumo de água e alto aproveitamento de resíduos orgânicos. Esta consiste na integração de um sistema convencional de aquicultura, criação de organismos aquáticos, num sistema hidropônico de criação de plantas, através circuito de água fechado. Neste sistema, como consequência da alimentação dos peixes, os excrementos dos mesmos são convertidos, através de bactérias, em fertilizante natural que irá nutrir as plantas. Estas ao consumirem os nutrientes “tratam” a água deixando-a ideal para os peixes, sendo depois reintroduzida no tanque de criação de peixes.

É uma nova revolução na produção de alimentos. A Aquaponia é um modelo sustentável de alimentos, com base no princípio básico da agricultura biológica, que combina hidroponia(···) com aquicultura (···). A ideia é combinar estas duas técnicas num único sistema, de modo a reforçar os efeitos positivos de cada técnica e anular os efeitos negativos” (in Jornal oficial da União Europeia 11/07/2014)

Durante muitos anos, a aquicultura realizou-se em viveiros escavados de grandes dimensões, acima de 1.000 m². Contudo, nas últimas três décadas houve avanços significativos na aquicultura realizada em sistemas com recirculação de água, possibilitando a obtenção de produtividade muito superior aquelas observadas nos sistemas tradicionais (Carneiro et al.,

2015). Apesar da grande vantagem dos sistemas de recirculação de água, por reduzir drasticamente a área necessária para a produção de organismos aquáticos, as altas densidades de armazenamento utilizadas normalmente apresentam como desvantagem o grande volume de resíduo orgânico produzido, que precisa ser retirado do sistema (Jaap Van Rijn, 2013). Paralelamente ao desenvolvimento das técnicas de recirculação foram feitos estudos utilizando plantas aquáticas no intuito de diminuir a carga orgânica produzida pelos peixes. Plantas terrestres também foram testadas e os resultados foram promissores, mostrando não apenas efeitos positivos na redução da carga orgânica de sistemas de recirculação, como também o grande potencial de produção de vegetais com a solução de nutrientes presente em ambientes de criação de peixes.

4.2.2.1. Componentes de um sistema Aquapónico

Genericamente um sistema Aquapónico é composto por um Sump Tank – tanque que contém as bombas do sistema e que normalmente é colocado a uma cota inferior do resto do sistema, tanques de criação de peixes, zona de filtração mecânica e biológica e zona de crescimento das plantas. Como zona de crescimento de plantas, em teoria pode utilizar-se cada um dos sistemas hidropónicos descritos em 4.2.1.1, ainda que na prática, em Aquaponia o sistema NFT não seja normalmente utilizado. Isto porque caso a filtração não seja suficiente e pelo facto da bactéria existente no sistema tender a colonizar-se e desenvolver-se em superfícies, os baixos perfis do sistema NFT tendem a entupir com relativa facilidade.

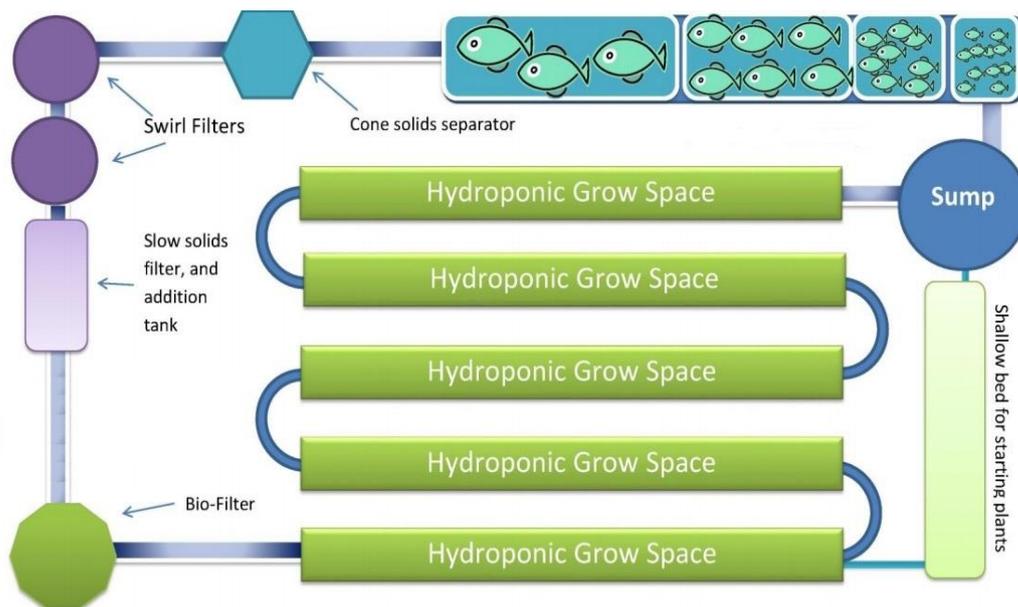


Fig. 16 – Layout genérico de um sistema Aquapónico

4.2.2.2. Filtração biológica

O processo de filtração biológica é portanto um dos processos chave do sistema aquapónico. É nele onde se dá a conversão da carga biológica. Proveniente dos dejetos dos peixes, o amoníaco NH_3 , altamente tóxico mesmo em pequenas quantidades é convertido em Nitratos, por sua vez não tóxico para os peixes e necessário para as plantas – ciclo de nitrogénio. Este ciclo é realizado em duas fases. Numa primeira fase por ação da bactéria Nitrossomona o amoníaco NH_3 é convertido em nitritos NO_2^- , e numa segunda fase por ação da bactéria Nitrobactéria dá-se a oxidação dos nitritos em nitratos NO_3^- (Carneiro et al., 2015).

Outros processos, como a Mineralização estão presentes no processo de conversão biológica. É neste em que parte da matéria orgânica, dejetos e restos de comida, por ação de bactérias Heterotróficas é convertida em nutrientes como potássio, cálcio, fosforo, magnésio, entre outros.

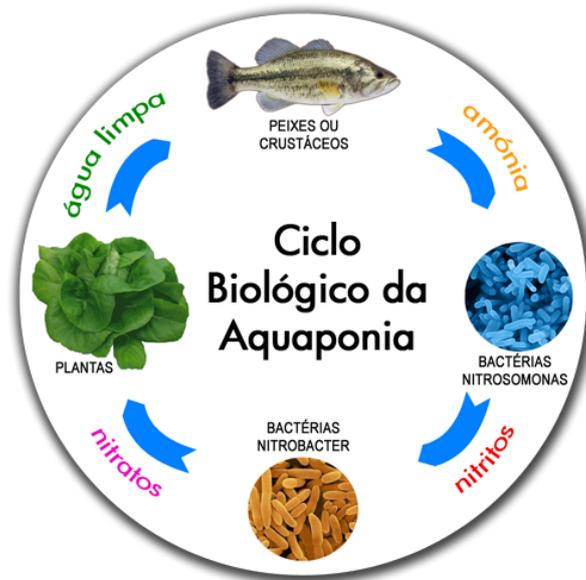


Fig. 17 – Ciclo biológico da Aquaponia

4.2.2.3. Espécies utilizadas

Em teoria num sistema Aquapónico podem ser produzidas quaisquer espécies vegetais desde que as suas dimensões e pesos permitam a sustentação e suporte nos respetivos sistemas de cultivo Hidropónicos, secção 4.2.1.1. São normalmente produzidos produtos hortícolas

multifolhas como Alface, Couves, Napiças, plantas aromáticas, frutas e legumes. Para vegetais com maiores necessidades nutritivas, como por exemplo Tomates, Cenouras, Curgetes, Brócolos e Frutos em geral é aconselhado uma maior densidade de peixes no sistema (aquaponicssystems.net). Quanto às espécies animais também podem ser criadas e produzidas uma enorme quantidade de espécies desde que fatores como a adaptabilidade ao sistema e às condições climáticas da região onde este se encontra inserido e a possibilidade de criação em cativeiro sejam satisfeitas. Relativamente às espécies animais, as mais utilizadas são Tilápias, Percas, Carpas, Peixe-Gato, Trutas ou até mesmo peixes ornamentais. Para um maior sucesso do sistema é importante que as espécies vegetais e animais escolhidas para o sistema Aquapónico tenham o mais possível as mesmas necessidades em termos de temperatura ambiente e ph da água, sendo que quanto mais próximas sejam essas necessidades mais sucesso pudera ter o sistema (aquaponics.com).

4.2.2.4. Vantagens e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Poupança de água • Possibilidade de produção conjunta de peixes e plantas • Melhor aproveitamento de área útil de produção • Maior controlo de pragas • Alta produtividade • Possibilidade da integração dos sistemas em meio urbanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia relativamente cara • Dependência permanente de energia elétrica • Impossibilidade de certificação biológica • Limitação no uso de pesticidas e antibióticos • Legislação limitada no que se refere ao tipo de licença para as instalações aquapónicas e à possibilidade de venda dos peixes para consumo

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens dos sistemas Aquapónicos

5. Casos de estudo

No presente capítulo serão apresentados os casos de estudo analisados no trabalho. Foram realizadas visitas a três empresas de produção agrícola, cada uma com um diferente sistema de cultivo e que à exceção da empresa com sistema Aquapónico, se dedicam principalmente à produção para fins comerciais de produtos hortícolas multifolhas. A análise e o estudo centraram-se na produção de Alface e Nabiça, tendo sido retirados dados dos meios, dos equipamentos e dos valores médios dos recursos mensais utilizados na produção. Fez-se também o levantamento dos investimentos gastos em cada sistema, assim como do valor dos custos médios mensais associados aos mesmos. Refira-se que em ambos os casos, assim como na grande maioria dos sistemas agrícolas com fins comerciais apenas se faz o crescimento das plantas, estas são compradas em viveiros que se dedicam à plantação e germinação dos produtos.

Um outro caso de estudo, virtual, foi introduzido no presente trabalho e também alvo de análise ambiental. Este teve origem quando se começaram a obter os primeiros resultados da comparação ambiental dos três casos de estudo iniciais, surgindo portanto a necessidade de os comparar com um sistema Aquapónico mais simples. Idealizou-se um sistema baseado no caso de estudo hidropónico, mas no qual a fertilização da água fosse feita por peixes. Trata-se efetivamente de um sistema aquapónico simplificado, apenas com sistema NFT como sistema de crescimento de plantas. Saliente-se que ainda que sistemas NFT não sejam normalmente utilizados em Aquaponia, pelos motivos descritos na secção 4.2.2.1, o objetivo foi comparar as diferenças entre os impactos ambientais da fertilização da água via adição de nutrientes com a fertilização da água via peixes, que é basicamente a diferença entre um sistema Hidropónico e um sistema Aquapónico. A este caso de estudo chamamos - HidroFood.

Casos de estudo			
Convencional	Hidropónico	Aquapónico	HidroFood
Cultivo assente em solo, sistema tradicional de produção agrícola	Cultivo em circuito fechado de água. Nutrição da água de forma artificial – Adição de nutrientes	Cultivo em circuito fechado de água. Possibilidade de produção conjunta de espécies vegetais e animais	Sistema Aquapónico simples adaptado a partir do sistema Hidropónico estudado. Adição de peixes ao sistema Hidropónico

Tabela 5 – Resumo das características de cada caso de estudo

5.1. Sistema Convencional



Fig. 18 - Quinta Ideia Rural

O sistema de agricultura convencional analisado foi na empresa com certificação biológica Ideia Rural, situada no Vale da Pedra, Cartaxo. Esta dedica-se à produção e comercialização de produtos agrícolas tanto em estufa como no exterior. A ideia da produção dentro e fora de estufa é possibilitar produção agrícola durante todo o ano, sendo as estufas utilizadas principalmente no inverno e a produção exterior no verão. Foi analisada uma estufa com 2.500 m² que se dedica á produção de Alface e Nabixa tendo o ciclo de produção das mesmas uma duração aproximada de dois meses, o dobro do tempo da produção em sistemas alternativos. As Alfices estão dispostas em 20 fileiras com 1,5 m de largura, cada uma com cinco carreiros, fig. 19. Quanto aos Nabixas estas são plantadas em 14 fileiras com 1 m de largura, cada uma com cinco carreiros. As fileiras encontram-se separadas entre si 30 cm.

Entre cada ciclo de produção é efetuada no terreno adubação de fundo com o auxílio de máquina agrícola Fig. 19. Esta é a preparação do terreno para a produção onde se incorporam os fertilizantes, a matéria orgânica e na qual se deixa o terreno pronto para cultura. São utilizados calcário para correção do ph, adubo orgânico biológico do tipo NPK do tipo 5-5-8 com Magnésio (5 N - 5 P₂O₅ - 8 K₂O + 2 MgO) com uma proporção de aproximadamente 3.000 kg/ha e esterco de bovino com a proporção de 5 kg/m². O sistema de rega é constituído por aspersores que pulverizam de forma homogénea sobre toda a área de produção e que por meio de uma bomba de 5,5 kW retira água de um furo. O valor da quantidade de água

utilizada para rega apresenta uma grande variação ao longo do ano, sendo como é de esperar maior no Verão e menor durante o Inverno. O valor da quantidade de água utilizada na altura da visita á empresa era de 4 l/m² diários sendo a rega realizada duas vezes por dia, uma ao início da manha e outra ao final da tarde em períodos de 30 minutos. O processo de rega é automatizado e controlado por computador. No final do ciclo produtivo a apanha das Alfaces e Nabiças era feita manualmente.



Fig. 19 - Preparação do terreno (esquerda) - Alface em estufa (direita)

5.1.1. Recursos utilizados

Seguidamente apresentam-se os valores médios gastos em cada ciclo de produção de Alface e Nabiça assim como a quantidade recursos não consumíveis utilizados no sistema.

Recursos consumidos/ 2 meses	Quantidades
Água	600.000 l
Adubo NPK	750 kg
Esterco de bovino	12.500 kg
Calcário	255 kg
Gasóleo	40 l
Energia	1.188 MJ

Tabela 6- Recursos consumidos por mês – Sistema Convencional

Na tabela seguinte encontram-se representados os valores dos recursos não consumidos do processo produtivo. Consideram-se os valores da área útil de produção, e do ferro relativo à

maquinaria, trator agrícola e alfaias de preparo do terreno, como recursos não consumíveis com a produção e no caso do trator agrícola considerou-se um tempo de vida útil superior aos seis anos considerados para o período de análise de sustentabilidade económica.

Recursos não consumíveis	Quantidade
Área útil	1.980 m ²
Ferro	4.000 kg

Tabela 7 – Recursos utilizados no sistema Convencional estudado

Procedeu-se também ao levantamento dos investimentos iniciais do caso de estudo assim como das despesas e custos médias associados ao mesmo. Os valores dos investimentos e custos relativos aos fertilizantes, diesel e consumos energéticos encontram-se apresentados na tabela 22 e 23 do capítulo 6.2.1.

5.1.2. Produtividade

O valor da produção média do sistema convencional nas condições descritas encontra-se representado na seguinte tabela. Valores bimensais

Produção	Quantidade [kg]
Alface	5.250
Nabiça	1.575

Tabela 8 – Produtividade caso Convencional

5.2. Sistema Hidropónico



Fig. 20 - Estufas Martins - Almeirim

A análise do sistema hidropónico teve lugar numa pequena empresa familiar localizada em Almeirim - Estufas Martins. Esta dedica-se à produção agrícola de produtos hortícolas multifolhas através do sistema Hidropónico. Duas estufas, cada uma com 1500 m² de área, contêm no seu interior um sistema hidropónico do tipo NFT secção 4.2.1.1, com um total de cerca de 11.000 m de tubo PVC com furos de 5 cm de diâmetro, na parte superior do tubo espaçados entre si 13 cm onde são cultivadas as plantas. Os perfis encontram-se suspensos a 80 cm acima do solo, onde circula uma solução nutritiva composta por água e por nutrientes nela dissolvidos Fig. 21. O sistema é um circuito fechado de água, composto por dois depósitos subterrâneos com 5000 l de capacidade Fig. x, por duas bombas de 2200 W a alimentar respetivamente cada uma das estufas e por cinco depósitos de 500 l Fig. 22, quatro para a solução nutritiva e um para a correção do ph, conectados ao sistema de crescimento das plantas que se encontrava conectado aos depósitos de água. O sistema de água encontra-se ligado a um furo, através do qual, por meio de uma bomba de 5200 W, se retira a água do sistema e também repõe diariamente um total médio de aproximadamente 1000 l de água em cada depósito. Este valor representa a água consumida pelas plantas para o seu crescimento e

perdida em processos de evaporação sendo portanto um pouco maior no Verão e menor no Inverno.



Fig. 21 - Perfil de crescimento sistema NFT

O sistema de rega funciona de forma interrompida, funcionando aproximadamente das 8h às 19h com períodos de rega de 10 minutos e paragens de 20 minutos de Abril a Setembro e paragens de 40 minutos de Outubro a Março. Entre as 19h e as 8h o sistema rega 10 minutos a cada 6h. No presente trabalho para efeito de cálculos da despesa relacionada com o consumo anual médio de energia elétrica, consideraram-se períodos de rega de 10 minutos e paragens de 30 minutos entre as 8h e as 19h.



Fig. 22 – Depósitos da solução nutritiva

Neste sistema o ciclo médio de produção da Alface e Nabiça é de aproximadamente um mês, apresentando contudo uma pequena variação consoante a época do ano. Saliente-se que por motivos de dimensão das plantas a Alface, nos perfis NFT é plantada buraco sim buraco não Fig. 21, e as Nabiças são plantadas em todos os buracos.



Fig. 23 - Depósito de água e sistema doseador da solução nutritiva (lado esquerdo)

Assim como em qualquer sistema de cultivo, a relação entre a quantidade de produtos produzidos e de recursos utilizados, neste caso água e nutrientes, apresenta algumas variações, principalmente devido ao fator temperatura. Os valores seguintes são valores mensais médios dos recursos gastos do sistema em questão. A estima destes valores, assim como a dos não consumíveis encontra-se presente tabelas 9 e 10.

5.2.1. Recursos utilizados

Assim como para o caso de estudo do sistema agrícola convencional foram levantados os recursos mensais consumidos, assim como os recursos não consumíveis do sistema Hidropónico. Consideram-se recursos não consumíveis como as bombas de água, os depósitos e perfis de crescimento NFT constituídos respetivamente por ferro e PVC. Os valores de tais recursos apresentam-se na tabela seguinte.

Recursos não consumíveis	Quantidade
PVC	7.771,80 kg
Área útil	2.064 m ²
Ferro	160 kg

Tabela 9 – Recursos utilizados no sistema Hidropónico

Os valores seguintes são valores mensais médios dos recursos gastos do sistema em hidropónico em questão.

Recursos consumidos/mês	Quantidades
Água	75.000 l
Nitrato de Potássio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	156,25 kg
Sulfato de Magnésio MgSO_4	37,50 kg
Fosfato Monopotássico KH_2NO_4	62,50 kg
Nitrato de Potássio KNO_3	75 kg
Energia	1.681,77 MJ

Tabela 10- Recursos consumidos por mês – Sistema Hidropónico

5.2.2. Produtividade

Na seguinte tabela constam os valores de produtividade máximos conseguidos neste sistema. Estes valores são conseguidos numa situação em que todas as bancadas iniciassem a produção ao mesmo tempo, facto que não acontece na realidade uma vez que para fins comerciais o intuito é uma produção constante ao longo do tempo, havendo diferentes secções com diferentes fases do crescimento das plantas.

Produção	Quantidade [kg]
Alface	7.700
Nabiça	4.400

Tabela 11 – Produtividade máxima sistema Hidropónico

5.3. Sistema Aquapónico



Fig. 24 - Sistema Aquapónico quinta Aberta Nova

A análise do sistema Aquapónico teve lugar na quinta Aberta Nova, uma herdade de 300 hectares situada em Melides, cuja sua principal atividade assenta no projeto e desenvolvimento de ideias e soluções agrícolas. Um sistema aquapónico foi projetado e construído, e esteve em funcionar ininterruptamente durante quatro anos, numa estufa de 500 m², onde foram cultivados os mais diversos legumes, frutos, produtos hortícolas e também tropicais.

Saliente-se que o objetivo da quinta em questão, não é o comércio dos alimentos nela produzidos, não existindo portanto uma produção massiva e otimizada de algum produto em específico. Ainda que alguns dos seus produtos fossem vendidos com sucesso no mercado de Grândola, o carácter deste projeto foi inteiramente experimental, tendo sido produzidos dos mais variados alimentos quase sempre em pequenas quantidades. À exceção da alface e da nabiça, produzidos em maiores quantidades em alguns sectores do sistema Fig. 26, a generalidade da produção foi de índole experimental. Isto trouxe alguns problemas quanto ao estabelecimento de possíveis comparações com os outros sistemas de cultivo estudados, dado serem sistemas otimizados de produção para comércio.

O sistema em questão era constituído por um circuito fechado de água, com uma média de 45.000L litros de água formado por, um Sump Tank com 5 m³ de capacidade colocado a uma cota inferior relativamente aos outros tanques do sistema de onde era bombeada e para onde retornava a água depois de completar o circuito do sistema. Quatro tanques com Tilápia do Nilo, *Sarotherodon niloticus*, cada um com 2,5 m³, um Bio Filtro (tanque de nitrificação) com 2 m³, 30 camas sistema *Ebb and Flow* com 1 m² de área e 50 cm de altura com LECA como substrato, 8 bancadas com 12 m de comprimentos por 1 m de largura e 50 cm de altura, quatro delas com sistemas *Deep Water Culture* e quatro com sistema *Ebb and Flow* com LECA como substrato. Todas as partes do sistema eram ligados entre si com tubos PVC de vários diâmetros que conduziam a água dos diversos tanques de cultivo para o Sump Tank que continha as bombas de água. O circuito de água estava dividido em duas partes, uma para produtos hortícolas e outra para Tropicais, cada uma com uma bomba de 980 W de potência. Na época fria do ano, quando a temperatura exterior era inferior a 5 °C a água do circuito era mantida a 25 °C por meio de uma caldeira de 12 kW alimentada a gás propano. A aeração da água era conseguida por meio de *Venturis*, colocados à entrada dos tanques dos peixes e do Bio Filtro.

Os tanques que continham os peixes eram cilíndricos e construídos por resina Epóxi reforçada com fibra de vidro com 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro. A densidade dos peixes utilizada foi de aproximadamente 500g de peixe para cada 6 L de água dos tanques dos tanques de criação. Aproximadamente 208,3 kg de peixe em cada um dos tanques de peixe. Estes eram alimentados diariamente com a proporção recomendada de 1% da massa total de peixe no sistema, aproximadamente 8,3 kg de ração diários. Para controlar a reprodução dos peixes, dado que o intuito não ser a criação de peixes simultaneamente com a produção agrícola, estes eram retirados momentaneamente dos respetivos tanques na altura da desova. Todos os processos clínicos relacionados com tratamentos, controlo da população e saúde dos peixes eram assegurados por um médico veterinário.

O Bio Filtro funciona como o próprio nome indica como filtro biológico e é onde se dá principalmente a conversão das substâncias tóxicas do sistema em substâncias úteis para o mesmo – Nitrificação e Mineralização - Capítulo 4.2.2.1. O tanque de nitrificação encontrava-se cheio de *Bio balls* – pequenas bolas plásticas perfuradas e com vários perfis interiores desenhadas para ter uma grande área superficial relativamente ao espaço que ocupam 500~700 m²/m³ (FAO, 2014). É dentro destas, nas suas superfícies que se alojam e colonizam as bactérias nitrificantes, responsáveis pela oxidação do amoníaco.



Fig. 25 – “Camas” de LECA sistema Ebb-and-Flow

Os 30 tanques com sistema Ebb-and-Flow, ver secção 4.2.1.1, foram construídos utilizando 15 tanques cúbicos de PVC com 1 m³ de volume reforçados com grade de alumínio exterior, cortados ao meio, cheios com LECA no seu interior a servir de substrato para as plantas e com um sifão tipo sino a controlar os níveis de enchimento e vazamento de cada tanque.

As oito bancadas com 12 m de comprimento por 1 m de largura, foram construídas em fibra de vidro e suportadas por uma estrutura de madeira construída á sua volta. Quatro delas funcionavam com sistema DWC, cheias de água do circuito, cobertas com placas de esferovite de 2cm de espessura com furos circulares de 5 cm de diâmetros espaçados entre si aproximadamente 30 cm num total de 165 furos nos 12 m² de bancada Fig. 26. Cada furo continha um pequeno cesto de plástico cheio de LECA a servir de substrato. As restantes quatro bancadas funcionavam com sistema *Ebb-and-Flow* e encontravam-se cheias de LECA a servir de substrato. Nestas quatro bancadas produziam-se principalmente produtos tropicais como Papaia e Banana da Madeira.



Fig. 26 – Alface em Bancada DWC

De cinco em cinco dias eram repostos no sistema cerca de 1000 L de água devido principalmente ao consumo de água das plantas para o seu crescimento e desenvolvimento mas também a processos evaporação. O sistema era mantido por dois trabalhadores sete dias por semana e funcionou durante quatro anos sem qualquer quebra. O projeto foi cancelado

por não se conseguir certificação Biológica para produtos produzidos por sistemas aquapônicos.

5.3.1. Simplificação do sistema

Como anteriormente referido, o carácter experimental e a aleatoriedade da produção do sistema em análise trouxe alguns problemas no estabelecimento de possíveis comparações. Foi feita então uma simplificação e otimização na qual se considerou que a produção total do sistema foi apenas de Alface e Nabiça e que o aproveitamento da área útil de produção foi maximizado tendo em conta o aproveitamento da área de produção utilizado por sistemas de cultivo comerciais, tomando como referência o sistema hidropónico analisado. Foi também acrescentado ao sistema uma bancada do tipo NFT com uma área útil de 14 m². Esta alteração foi feita tendo em conta os valores de referência de ração diária dada aos peixes e a sua relação com a área útil de produção. [60;100] g de ração diária por metro quadrado de área de produção, (Rakocy et al., 2006). Para tal, considerou-se o valor de 60 g/m²/dia, por se tratar de plantas pouco exigentes em termos nutricionais e seria necessário o acréscimo diário de 66,7 g de ração de peixe, e 150 l de água ao sistema.

5.3.2. Recursos utilizados

Com base nos valores fornecidos pelos responsáveis pelo projeto do sistema Aquapónico da Quinta Aberta a Nova e tendo em conta a simplificação e otimização do sistema apresentam-se uma estimativa do valor dos recursos mensalmente consumidos.

Recursos consumidos/mês	Quantidades
Água	6.000 l
Ração de peixe	256,2 kg
Energia	5.164,9 MJ

Tabela 12- Recursos consumidos por mês – Sistema Aquapónico

Assim como para os casos de estudo anteriores, estimaram-se os valores dos recursos não consumíveis utilizados no projeto. A estima desses valores foi feita com base nas suas dimensões e densidades, e encontra-se apresentada na tabela seguinte.

Recursos não consumíveis	Quantidade
PVC	494 kg
Área útil	140 m ²
Ferro	160 kg
Madeira	5.160 kg
Alumínio	145,8 kg
Esferovite	36 kg
Epóxi reforçado com Fibra de Vidro	1.824 kg
LECA	13.260 kg

Tabela 13 – Recursos utilizados no sistema Aquapónico

5.3.3. Produtividade

Com base na simplificação e otimização assumidas para o sistema Aquapónico e tendo em conta a quantidade de Alface e Nabiça que se teoricamente se conseguiria produzir e o peso médio das mesmas estimou-se a produtividade mensal do sistema aquapónico simplificado.

Produção	Quantidade [kg]
Alface	524
Nabiça	300

Tabela 14 – Produtividade mensal do sistema Aquapónico

5.4. Sistema adaptado – HidroFood

Como anteriormente referido um sistema adaptado foi considerado. Este consiste num sistema virtual igual ao do caso de estudo Hidropónico, mas com peixes a fazer a nutrição da água do circuito. Considere-se uma simplificação hipotética cujo objetivo é fazer a comparação do impacto ambiental da fertilização da água via adição de nutrientes com a fertilização da água via peixes.

A quantidade de ração mensal, Q , que seria necessária para o sistema foi calculada segundo a relação entre a quantidade de comida de peixe e a área útil de crescimento de plantas estabelecida pelo Dr. James Rakocy da Universidade das Ilhas Virgens, que é para sistemas NFT de 15 a 25 g/m²/dia (Rakocy et al., 2006). Utilizou-se para o cálculo a fórmula:

$$Q = A \times q \times n_{dias/mês} \quad (3)$$

Na qual, A , representa a área útil de produção que toma o valor de 2064 m^2 , q representa o valor diário ração de peixe por cada metro quadrado de área útil de produção o qual se considerou de $20 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ e n , representa o número de dias por mês. Aplicando os valores em (3) obteve-se:

$$Q = 1.259,04 \frac{\text{kg}}{\text{mês}}$$

5.4.1. Recursos utilizados

Considerando as simplificações anteriormente referidas assim como as características do sistema estimaram-se os recursos mensalmente gastos pelo sistema virtual HidroFood. O valor de tais recursos é representado na tabela seguinte.

Recursos consumidos/mês	Quantidades
Água	75.000 l
Ração de peixe	1.259,04 kg
Energia	11.666,25 MJ

Tabela 15 – Recursos mensais consumidos sistema adaptado HidroFood

Relativamente aos recursos não consumíveis por mês para o caso de estudo sistema virtual HidroFood, uma vez que este em termos de estruturas e equipamentos o sistema é em todo idêntico ao caso de estudo do sistema Hidropónico das Estufas Martins, consideram-se os mesmos valores para os respetivos recursos.

Recursos não consumíveis	Quantidade
PVC	7.771,80 kg
Área útil	2.064 m^2
Ferro	160 kg

Tabela 16 – Recursos utilizados no sistema Hidrofood

5.4.2. Produtividade

Estimou-se a produtividade do sistema virtual HidroFood com base na quantidade de ração necessária para nutrir a área útil do sistema assumindo-se que esta é a mesma que a produtividade do sistema do caso de estudo Hidropónico analisado.

6. Análise de Sustentabilidade

Após a recolha de dados relativos aos recursos utilizados, consumos e produtividade referentes a cada caso de estudo, estes foram tratados por forma a fazer uma avaliação de sustentabilidade ambiental e económica de cada caso.

No presente capítulo apresentam-se de forma detalhada o tratamento dos dados e a aplicação das metodologias descritas no Capítulo 3. Serão também analisados e discutidos os resultados obtidos após a aplicação das mesmas.

Finalmente serão também sugeridas algumas alterações ao caso de estudo do sistema aquapónico por forma a torná-lo economicamente viável.

6.1. Sustentabilidade ambiental

Para verificação da sustentabilidade ambiental, foi realizada uma análise LCA sendo apenas analisada a fase de produção de cada caso de estudo tendo ficado de fora da análise os processos posteriores como o embalamento, transporte, venda e fim de vida dos produtos – Fronteiras dos sistemas – Capítulo 3.1.2.

6.1.1. Inventário de recursos – LCI

Para se proceder á análise e avaliação da sustentabilidade ambiental começou-se pelo levantamento de todos os intervenientes – entradas, em cada caso de estudo, a fim de relacioná-los com a saída de cada processo – Alface e Nabiça, por forma obter os recursos utilizados por quilograma de produção. Para os recursos não consumíveis mensalmente, como por exemplo a área útil de produção, maquinaria, depósitos e suportes, entre outros, considerou-se um período de funcionamento de 5 anos para cada sistema, relacionando o consumo de tais recursos com a produção dos 5 anos.

- **Convencional**

Recurso por kg	Alface	Nabiça
Água	71,4 l	133,333 l
Esterco de bovino	1,488 kg	2,778 kg
Adubo NPK	0,089 kg	0,167 kg
Calcário	0,03 kg	0,056 kg
Gasóleo	0,005 l	0,0089 l
Energia	0,141 MJ	0,264 MJ
Área	0,0079 m ²	0,015 m ²
Ferro	0,0159 kg	0,0296 kg

Tabela 17 – Recursos por kg de produção – Convencional

- **Hidropónico**

Recurso por kg	Alface	Nabiça
Água	4,87 l	8,50 kg
Nitrato de Cálcio	0,01 kg	0,017 kg
Sulfato de Magnésio	0,0024 kg	0,0043 kg
Nitrato de Potássio	0,0049 kg	0,0071 kg
Ácido Nítrico	0,001 kg	0,0017 kg
Ácido Fosfórico	0,001 kg	0,0017 kg
Nitrato de Amónio	0,005 kg	0,0085 kg
Energia	0,226 MJ	0,395 MJ
PVC	0,008 kg	0,015 kg
Área útil	0,0022 m ²	0,0039 m ²
Ferro	0,0002 kg	0,0003 kg

Tabela 18 – Recursos por kg de produção – Hidroponia

- **Aquapónico**

Recurso por kg	Alface	Nabiça
Água	5,72	10 l
Ração de peixe	0,24 kg	0,42 kg
Energia	5,44 MJ	9,50 MJ
PVC	0,0078 kg	0,014 kg
Área útil	0,0028	0,0049
Ferro	0,0008 kg	0,0014 kg
Madeira	0,08 kg	0,14 kg
Alumínio	0,0023 kg	0,004 kg
Esferovite	0,0006 kg	0,001 kg
Epóxi reforçado com Fibra de Vidro	0,029 kg	0,051 kg
LECA	0,21 kg	0,368 kg

Tabela 19 – Recursos por kg de produção – Aquaponia

- **HidroFood**

Recurso por kg	Alface	Nabiça
Água	4,87 l	8,50 l
Ração de peixe	0,08 kg	0,14 kg
Energia	0,226 MJ	0,395 MJ
PVC	0,008 kg	0,015 kg
Área útil	0,0022 m ²	0,0039 m ²
Ferro	0,0002 kg	0,0003 kg

Tabela 20 – Recursos por kg de produção – Caso virtual HidroFood

Compilando os recursos consumidos por kg de alimento produzido, comuns a ambos os casos de estudo, traçou-se o seguinte gráfico comparativo. Considere-se Fertilização a entrada de nutrição para cada caso de estudo, adubo NPK e esterco de bovino para o caso convencional, a nutrição da água, Nitrato de Cálcio, Sulfato de Magnésio, Nitrato de Potássio, Ácido Nítrico, Ácido Fosfórico e Nitrato de Amónio para o caso Hidropónico e ração de peixe para o caso Aquapónico e o caso adaptado HidroFood.

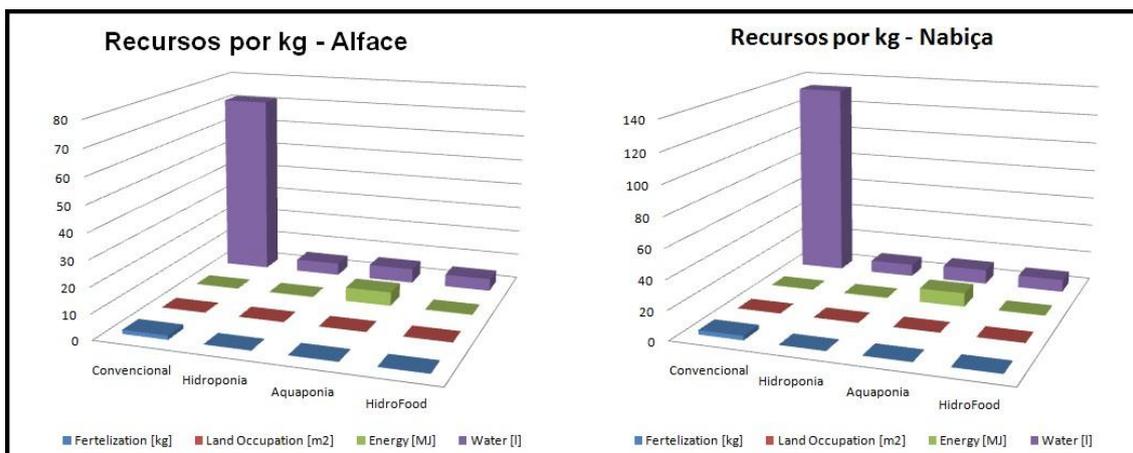


Gráfico 1 – Comparação dos recursos consumidos por kg de produto produzido. Recursos comuns aos diferentes casos de estudo

Ao analisar o gráfico anterior observa-se que efetivamente, como esperado, o sistema agrícola convencional é aquele onde há o maior consumo de água para a produção de um kg de Alface/Nabiça. 71,4 l de água/kg de alface, que são cerca de 14,66 vezes superior ao consumo de água para o caso de estudo do sistema Hidropónico e de aproximadamente 12,22 vezes superior ao sistema Aquapónico. Verifica-se aproximadamente a mesma relação para a produção de Nabiça, 133,3 l de água/kg de Nabiça para o sistema Convencional, valor bastante superior á quantidade de água consumida pelo sistema Hidropónico e Aquapónico para a produção da mesma quantidade de Nabiça.

Relativamente aos restantes recursos, à exceção da energia consumida pelo sistema Aquapónico, verifica-se um relativo equilíbrio e uniformidade entre os recursos consumidos por kg de produto produzido para cada caso de estudo. A energia consumida pelo sistema Aquapónico é cerca de 40 vezes superior à energia consumida pelo sistema Convencional e 24 vezes a energia consumida pelo sistema Hidropónico para a Alface. Isto deve-se ao facto da bombas de circulação de água funcionarem permanentemente e não por pequenos períodos alternados como nos casos de estudo Convencional e Hidropónico.

Repare-se que para a produção de 1 kg de Nabiça sejam necessários aproximadamente o dobro da quantidade dos recursos que são necessários para a produção da mesma quantidade de Alface. Isto deve-se principalmente ao facto de, como referido na secção 5.2. uma certa quantidade de Nabiça ocupar aproximadamente o dobro da área da mesma quantidade de Alface, e com isso, o dobro dos recursos necessários á produção da mesma quantidade de

Nabiça. Tomando como exemplo o perfil hidropônico NFT, como referido no Capítulo 5.2, as Alfaces devido às suas dimensões quando prontas pra consumo são colocadas “buraco sim, buraco não” atingindo um peso aproximado de 350 g, enquanto as Nabiças são plantadas em todos os buracos do perfil, atingindo cada molho de cada buraco um peso de aproximadamente 100 g. Ou seja três Alfaces, aproximadamente 1 kg, ocupam o mesmo espaço que 0,5 kg de nabiça, figura 27.

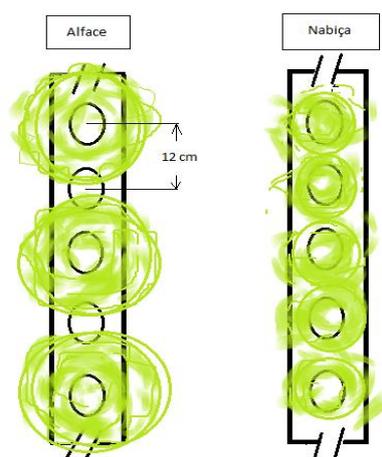


Fig. 27 – Representação do topo de um perfil NFT. Relação entre a plantação de Alface e Nabiça

6.1.2. Cálculo do impacto ambiental - LCIA

Com recurso ao software de avaliação do ciclo de vida SimaPro, 2011 e da base de dados Eco Invent 3, os dados anteriormente apresentados foram processados. Utilizaram-se os métodos ReCiPe Midpoint (H) V1.11 e ReCiPe Endpoint (H) V1.11 descritos no Capítulo 3.1.1. para computação das entradas de cada processo por forma a obter os respetivos indicadores de impacto ambiental. A unidade funcional é um kg de produto produzido, e é constituída por 0,5kg de Alface e 0,5kg de Nabiça.

Apresentam-se para cada caso de estudo a rede dos principais recursos intervenientes em cada caso de estudo, Figuras 28, 29, 30 e 31, e os impactos ambientais pelo Método ReCiPe Midpoint (H) V1.11, Gráficos – 3 e 4, e método ReCiPe Endpoint (H) V1.11 Gráficos 5.

6.1.2.1. Rede de impactos

- Sistema Convencional

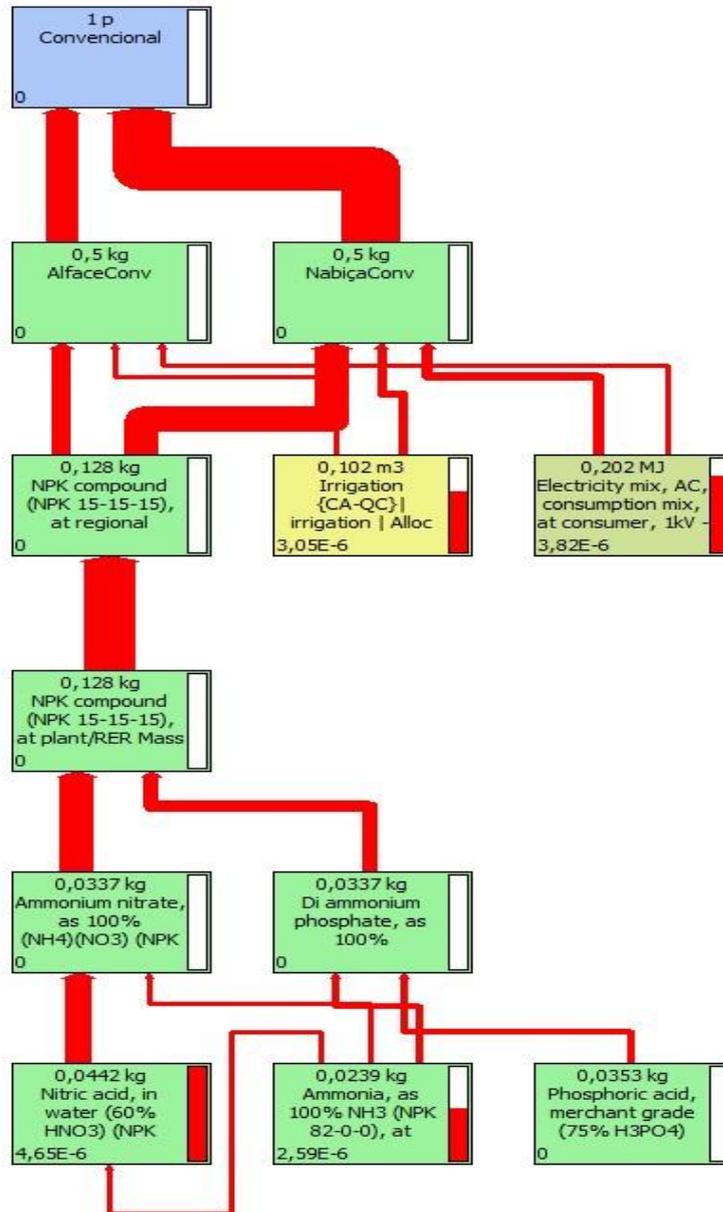


Fig. 28 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo Convencional

Analisando a rede de recursos do caso de estudo convencional, verifica-se que o recurso com maior impacto ambiental é o Adubo NPK, seguido do consumo elétrico e da irrigação. Refira-se o considerável impacto ambiental relacionado com os produtos fertilizantes, dado as emissões das matérias primas assim como dos processos relativos ao seu fabrico (K. Hasler et al., 2015).

- Sistema Aquapónico

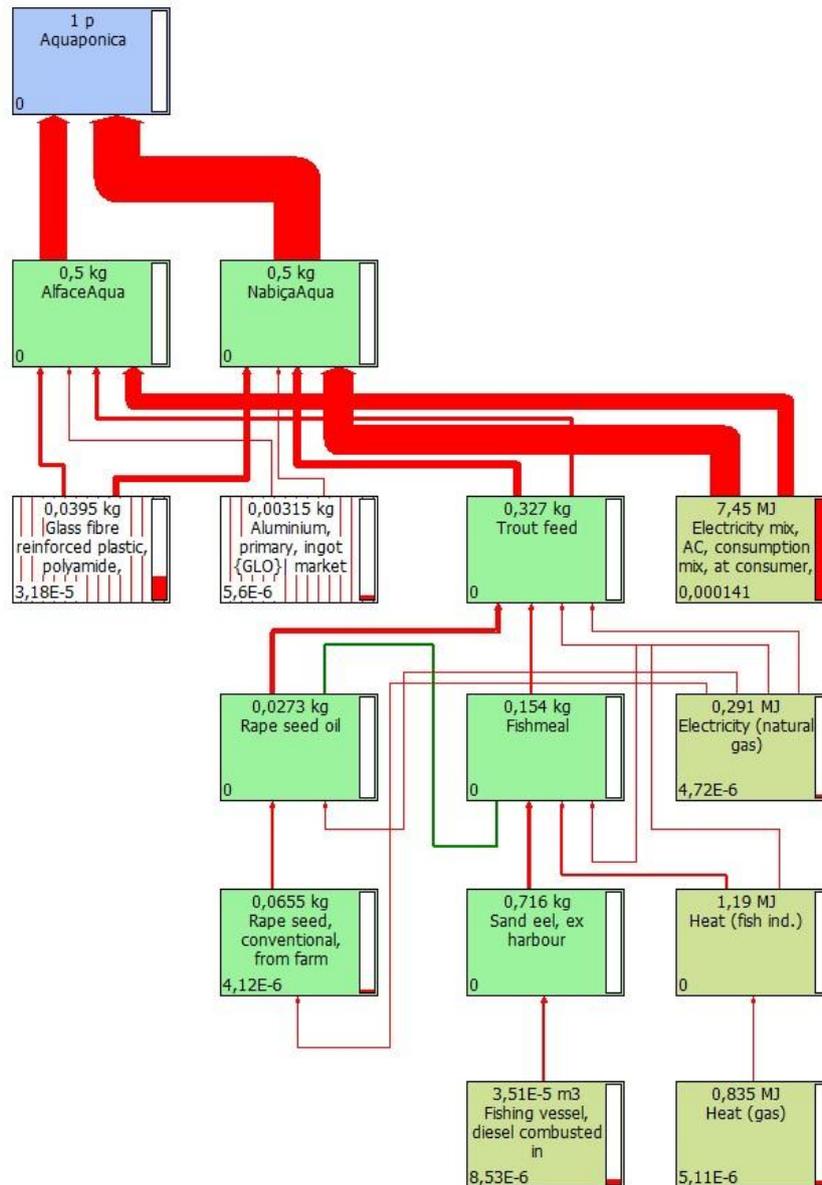


Fig. 29 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo Aquapónico

Relativamente à rede de recursos do caso de estudo Aquapónico, representada na página anterior, verifica-se que os recursos com maior impacto são o consumo de energia elétrica, seguido da ração para alimentação dos peixes e da resina epóxi reforçada com fibra de vidro com a qual são feitos a maioria dos depósitos do sistema. Como referido na rede dos principais recursos para o caso Hidropónico, o valor da energia elétrica apresenta um peso considerável pelo nível ainda relativamente grande de dependência desta nos combustíveis fósseis (R. Garcia et al., 2014), e neste caso em concreto pelo elevado consumo elétrico associado ao funcionamento permanente das bombas de água.

- Sistema adaptado Hidrofood

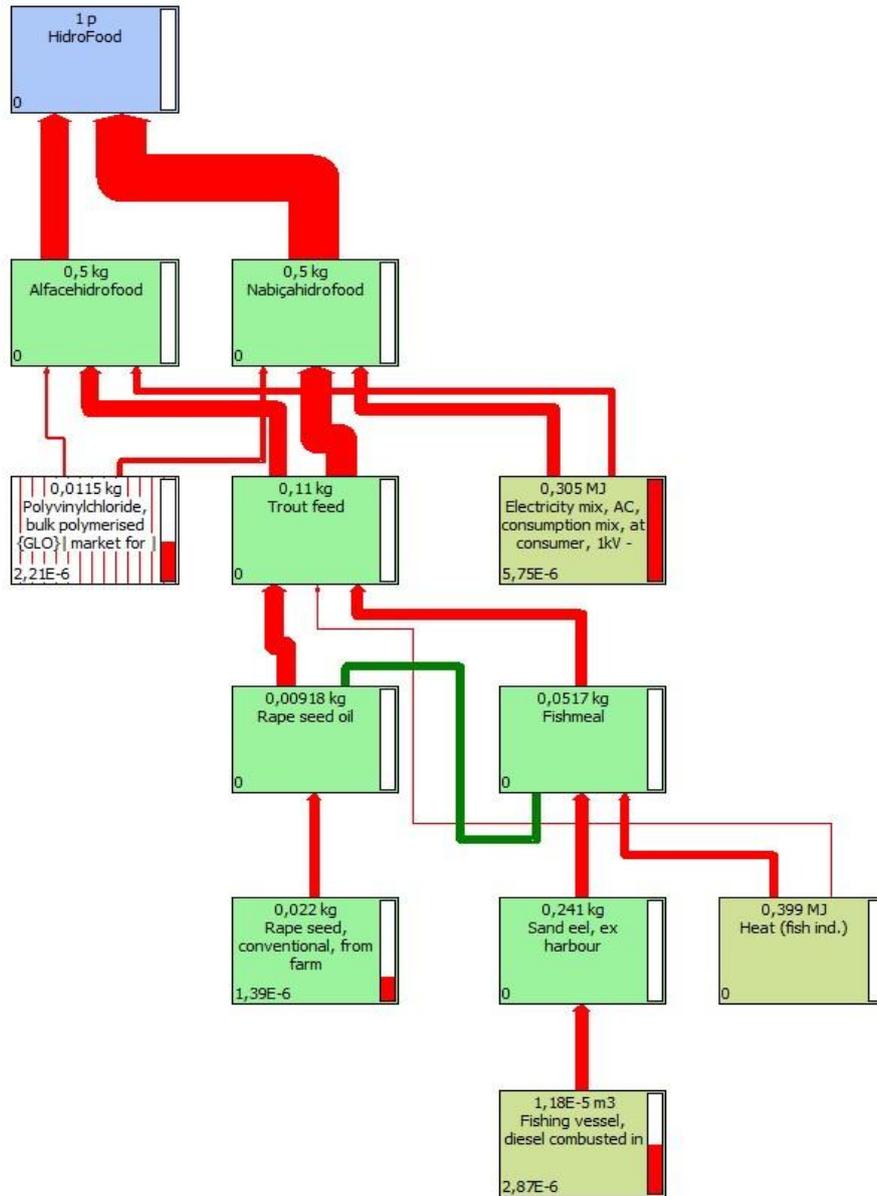


Fig. 30 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo HidroFood

Quanto ao sistema adaptado HidroFood verifica-se que os recursos com maior impacto são o consumo elétrico, que como anteriormente referido se deve ao facto de em Portugal o mix da energia na rede elétrica ainda depender consideravelmente, 54,2 %, de energias não renováveis (R. Garcia et al., 2014) e a fertilização do sistema, neste caso por comida de peixe. Refira-se o elevado impacto da comida de peixe especialmente em termos da eutrofização, Marine eutrophication e Freshwater eutrophication devido aos elevados valores dos elementos nitrogénio (N) e fosforo (P) contidos nessa entrada (Forchino AA et al., 2016; SimaPro Database Manual 2016).

- Sistema Hidropónico

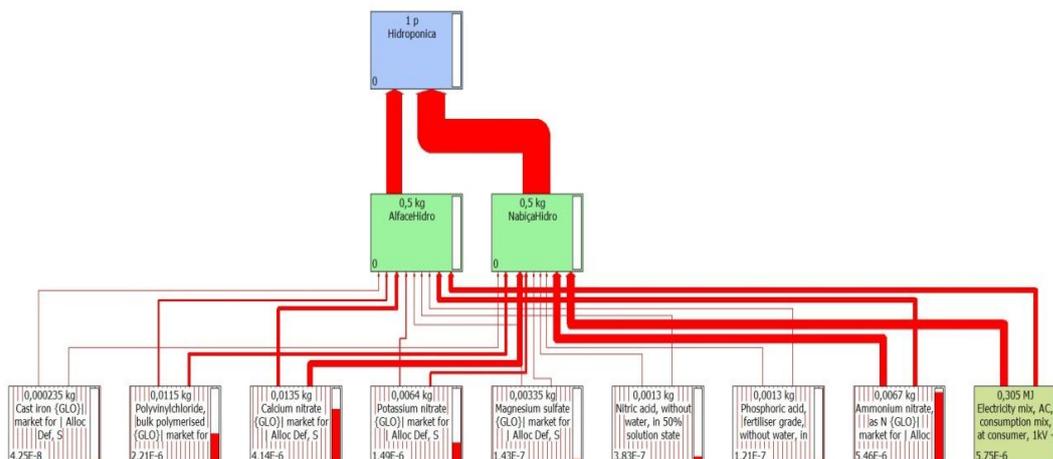


Fig. 31 - Rede dos principais recursos para o caso de estudo Hidropónico

Ao analisar a rede de recursos da página anterior verifica-se que os recursos com maior impacto são a energia elétrica envolvida no processo e seguidamente os elementos de fertilização nitrato de amónio e nitrato de cálcio. Refira-se que a energia elétrica da rede Portuguesa ainda depende consideravelmente de fontes não renováveis 54,2 %, principalmente carvão, fator de seguramente grande importância em termos de impactos ambientais (R. Garcia et al., 2014).

6.1.2.2. Indicadores Midpoint (H)

Aplicando-se o método ReCiPe Midpoint (H) para cada um dos processos em estudo, e para a comparação dos mesmos, obtiveram-se indicadores de impacto ambiental dos respetivos casos de estudo. Através da computação dos dados com o software Simapro V.2011 e o método ReCiPe obtiveram-se os gráficos com os indicadores Midpoint (H) e as suas contribuições para a pegada ecológica de cada processo,

Analisando o gráfico seguinte, referente aos indicadores Midpoint (H) do caso de estudo convencional observa-se que os indicadores com maior impacto são Natural land transformation (0,000113 Pts), Freshwater eutrophication (0,000048 Pts), Marine ecotoxicity (0,000045 Pts), Fossil depletion (0,00004 Pts) e Terrestrial acidification (0,000037 Pts).

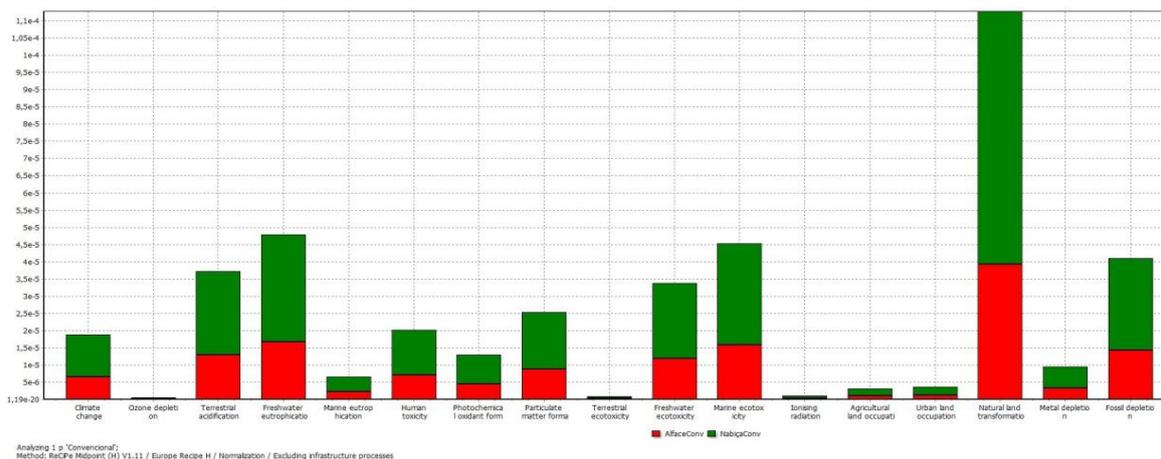


Gráfico 2 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo Convencional

Observando o gráfico presente no anexo 4 a gráfico 6, referente aos indicadores Midpoint (H) do caso de estudo hidropónico verifica-se que os indicadores com maior impacto são Marine ecotoxicity (0,00013 Pts), Freshwater ecotoxicity (0,00011 Pts), Natural land transformation (0,0001 Pts) e Human toxicity (0,00005 Pts) com os restantes indicadores a apresentar valores mais baixos ou insignificantes. Quanto ao gráfico 7 (Anexo 4) referente ao caso de estudo do sistema virtual HidroFood, verifica-se que os indicadores que apresentam maior índice de impacto são Marine eutrophication com (8,14E-05 Pts), seguido por ordem decrescente de índice os indicadores Terrestrial acidification com (4,124E-05 Pts), Fossil depletion com (3,981E-05 Pts) apresentando os restantes indicadores valores relativamente uniformes e inferiores aos anteriormente citados. Relativamente ao gráfico dos indicadores Midpoint (H) do caso de estudo aquapónico, gráfico 8 (Anexo 4), verifica-se que no geral todos os indicadores apresentam valores consideravelmente mais elevados, destacando-se os baixos valores dos indicadores Ozone depletion (0,000011 Pts), Metal depletion (0,000015 Pts), Ionising radiation (0,000008 Pts) e Urban land occupation (0,000008 Pts).

Seguidamente apresenta-se o gráfico dos indicadores Midpoint (H) da comparação entre os processos dos diferentes casos de estudo analisados.

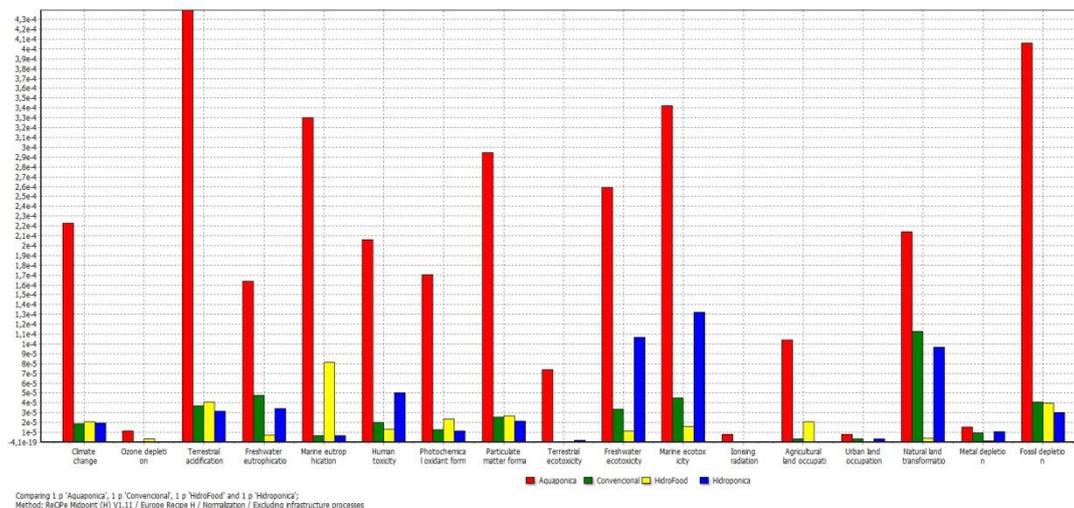


Gráfico 3 - Indicadores Midpoint (H) dos diferentes casos de estudo

Observando o gráfico anterior verifica-se que de um modo geral, os indicadores de impacto ambiental Midpoint (H) para os casos Convencional, Hidropónico e o caso de estudo adaptado HidroFood, apresentam valores próximos uns dos outros, e por sua vez consideravelmente inferiores ao do caso Aquapónico. Neste os indicadores de impacto ambiental apresentam os valores mais elevados, o que se deve ao facto de para este caso de estudo terem entrado no processo vários recursos que não entraram nos outros casos de estudo. Como resultado, o impacto ambiental do ciclo de vida de tais recursos, como madeira, LECA, esferovite, resina Epóxi, fibra de vidro e alumínio foram portanto tomados em conta tendo entrado na avaliação do impacto ambiental do sistema Aquapónico.

Para facilitar a avaliação do impacto ambiental dos processos cujos impactos ambientais mais se aproximam, casos de estudo Convencional, Hidropónico e o caso de estudo virtual HidroFood, sintetizaram-se os resultados obtidos, por forma a traçar o seguinte gráfico comparativo dos indicadores Midpoint (H) dos respetivos casos de estudo.

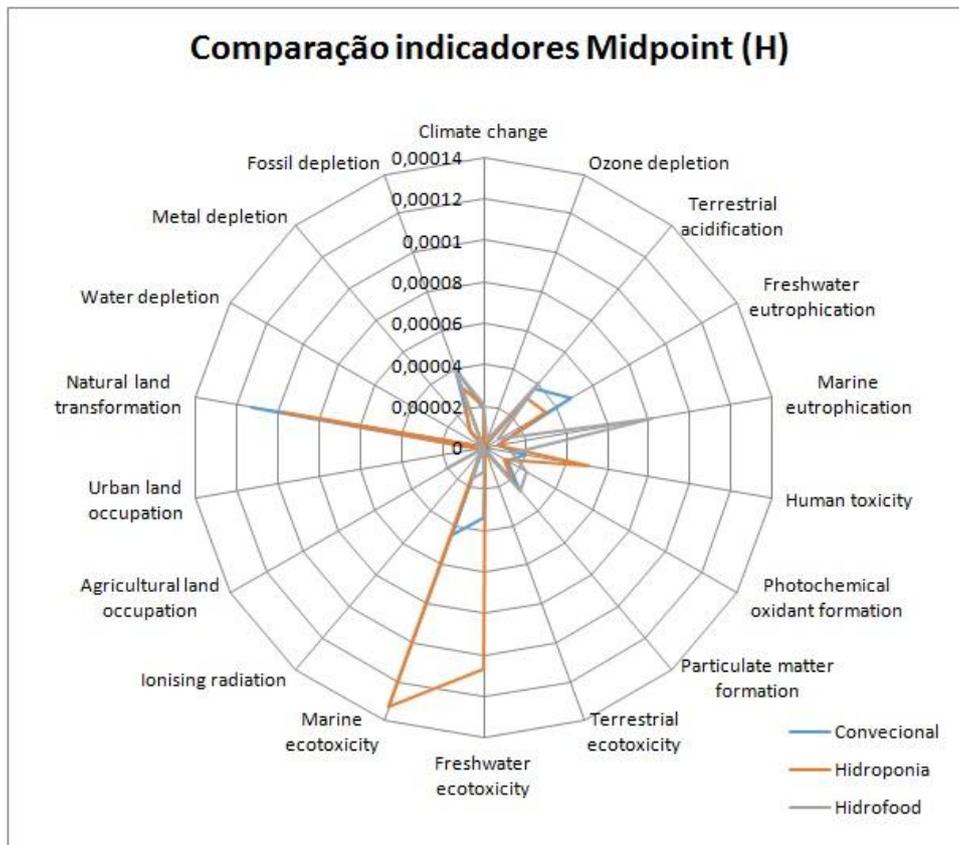


Gráfico 4 – Comparação indicadores Midpoint (H) dos processos com menos impactos

Analisando o gráfico anterior verifica-se que, à exceção dos indicadores Marine ecotoxicity, Freshwater ecotoxicity, Freshwater eutrophication, Marine eutrophication e Natural land transformation os restantes indicadores não apresentam grandes variações para os diferentes casos de estudo. As variações dos indicadores Marine ecotoxicity, Freshwater ecotoxicity e Human toxicity no caso Hidropónico devem-se possivelmente à produção dos nutrientes para nutrição da água, dado a toxicidade da presença de elementos químicos em quantidade considerável (SimaPro Database Manual 2016). A produção e síntese dos químicos utilizados para nutrição da solução aquosa do sistema hidropónico é um processo que requer grandes quantidade de energia e de minerais e a sua utilização e descarga acarreta grande toxicidade para o ser Humano e para o ambiente podendo levar à eutrofização (Foteinis et al., 2016). Para caso adaptado Hidrofood os elevados valores dos indicadores Freshwater eutrophication, como nos processos gerais de eutrofização deve-se principalmente às elevadas quantidades de nitrogénio (N) e fosforo (P) existentes na produção dos fertilizantes de cada sistema, razão para peixe para nutrir a água do sistema Aquapónico e do sistema adaptado Hidrofood, e do adubo NPK (5 N - 5 P₂O₅ - 8 K₂O + 2 MgO) para fertilização do terreno no caso Convencional.

6.1.2.3. Indicadores Endpoint (H)

Aplicando o método ReCiPe Endpoint (H) obtiveram-se indicadores de impacto ambiental relativos à “Saúde Humana” aos “Ecosistemas” e aos “Recursos”, que apesar de não tão específicos como os indicadores Midpoint (H) analisados anteriormente, são mais fáceis de interpretar. Os gráficos dos indicadores Endpoint (H) relativos a de cada caso de estudo encontram-se compilados no Anexo 5, sendo apresentado de seguida o gráfico dos indicadores Endpoint (H) relativo à comparação dos processos agrícolas analisados.

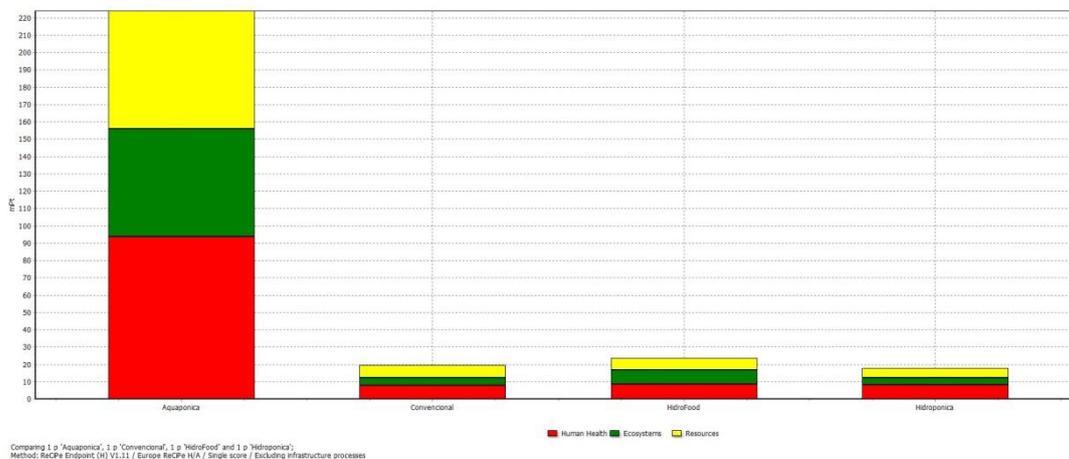


Gráfico 5 – Comparação dos impactos ambientais dos vários casos de estudo - Método ReCiPe Endpoint

Ao analisar o gráfico anterior, como verificado na comparação realizada pelo método Midpoint (H), o sistema Aquapónico é o que apresenta maiores índices de impacto ambiental com um total de 224 mPts, divididos por Human Health (93,8 mPts), Ecosystems (62 mPts) e Resources (68,2 mPts) que como concluído anteriormente se deve possivelmente ao facto de neste sistema terem entrado recursos que não entraram nos restantes casos de estudo, e com isso os respetivos impactos e pegada ambiental. Relativamente aos restantes casos de estudo verifica-se que os indicadores de impacto ambiental são relativamente próximos, sendo o sistema Hidropónico o caso com menores valores de impacto ambiental, num total de 17,7 mPts, divididos por Human Health (8,21 mPts), Ecosystems (4,07 mPts) e Resources (5,39 mPts). Segue-se o sistema Convencional que por sua vez antecede o caso adaptado Hidrofood, com valores dos indicadores de impacto ambiental ligeiramente superiores ao caso de estudo Hidropónico. A realização da comparação entre o caso Hidropónico e o caso adaptado Hidrofood, que como referido no Capítulo 5.3.1. é um caso Aquapónico simplificado no qual se utilizou um sistema igual ao do caso de estudo Hidropónico mas com peixes a nutrir o sistema, demonstra-nos, segundo o software utilizado, que a produção da ração de peixe utilizada para nutrir a água do sistema Hidrofood apresenta maiores índices de impacto ambiental relativamente á produção dos nutrientes para a solução nutritiva do caso Hidropónico. Isto possivelmente pelo facto de efetivamente se utilizar

uma maior quantidade de ração relativamente á quantidade de nutrientes para nutrição da solução nutritiva para alimentar 1 kg de produção vegetal. Note-se o facto de, a ração de peixe servir em primeira instância para alimentar os peixes e como consequência dessa alimentação os dejetos dos peixes nutrir as plantas, e ao facto dos nutrientes servirem efetivamente apenas para nutrir as plantas.

Danos (mPts)	Convencional	Hidroponia	Aquaponia	HidroFood
Human Health	7,93	8,21	93,8	8,58
Ecosystems	4,33	4,07	62	8,22
Resources	7,13	5,39	68,2	6,68
Total	19,4	17,7	224	23,5

Tabela 21 – Indicadores dos impactos ambientais Endpoint (H) para cada caso de estudo

6.2. Sustentabilidade económica

A sustentabilidade económica de cada caso de estudo foi avaliada com base na análise de custo do ciclo de vida e análise de custos e investimentos cujas metodologias se encontram apresentadas na secção 3.2. deste trabalho.

Juntamente com o levantamento de todos os intervenientes materiais nos processos agrícolas de cada caso de estudo, foram registados os investimentos, custos variáveis e receitas dos mesmos. Com base nesses valores foi analisada a sustentabilidade económica de cada caso através da metodologia LCC sendo depois feita uma análise à viabilidade económica numa perspetiva de negócio através do cálculo do Valor Atual Líquido VAL.

Para os casos de estudo aquapónicos analisados - sistema Aquapónico da Aberta Nova, e sistema Virtual HidroFood, a análise económica foi feita primeiramente, capítulos 6.2.3 e 6.2.4, tendo em conta a limitação legal da venda de peixes produzidos nestes sistemas, sendo posteriormente, capítulo 6.3, feita a análise considerando a hipótese da venda de peixes produzidos nos sistemas.

Refira-se que para todos os casos de estudos, dado estes serem automatizados em termos de rega e processos de irrigação, que seria a tarefa que diariamente requeria mais tempo, considerou-se, que a mão-de-obra direta (MOD) para a restante manutenção dos sistemas foi

em termos médios de 2,5 h/dia todos os dias da semana, realizada por dois trabalhadores. Este valor foi considerado tomando em conta os tempos médios despendidos pelos trabalhadores em cada caso de estudo. O cálculo da MOD anual foi feito com base num valor médio de mão-de-obra de 7 €/h, 365 dias por ano por dois trabalhadores através da seguinte fórmula.

$$MOD = n \times h \times t \times p \quad (4)$$

Onde:

- n – Número de trabalhadores
- h – Número de horas diárias para manutenção
- t – Número de dias do período
- p – Valor do custo horário da Mão-de-Obra

Considerando os valores anteriormente referidos e substituindo em (4) obteve-se o valor da MOD de 12.740 €/ano.

6.2.1. Sistema Convencional

Os investimentos do caso de estudo sistema agrícola convencional foram levantados junto dos proprietários da quinta biológica Ideia Rural. O valor da estufa foi calculado com base no valor médio praticado pelas empresas de montagem e construção de estufas que é de aproximadamente 25.000 €/m², o valor do investimento em maquinarias é referente ao valor de um trator e das respetivas alfaias com os valores de 25.000 € para o trator e 15.000 € para as alfaias. O valor do terreno foi calculado com base no valor de 2,5 €/m² para terrenos agrícolas. Na tabela seguinte encontram-se representados os investimentos efetuados pela empresa os quais são os valores mínimos para o início de um projeto agrícola com as características do caso de estudo Convencional.

Investimentos	Valor [€]
Estufa	62.500
Maquinaria	40.000
Terreno	6.250
Total	108.750

Tabela 22 - Investimentos caso de estudo Convencional

Os valores das despesas variáveis por ano foram também obtidos juntamente dos proprietários da quinta. O valor da adubação foi calculado com base nos 750 Kg de adubo N-P-K utilizados nos 2.500 m² do terreno, cujo valor do adubo é de 0,49 €/kg e dos cerca de 300 € gastos no esterco de bovino em cada adubação. Foram consideradas seis adubações por ano, respetivamente entre as colheitas. As despesas com a compra das plantas no viveiro de germinação rondam aproximadamente os 800 € para cada plantação seis vezes por ano. A despesa referente ao gasóleo foi calculada com base no consumo do trator agrícola de 5 L por hora de funcionamento onde foram consideradas as 8 horas de preparação do terreno para a colocação do adubo e formação das camas e dos carreiros onde são plantadas as alfaces e as Nabiças. O preço do gasóleo agrícola à data da recolha dos dados era de 0,85 €/l. O valor da despesa relativa ao consumo energético foi calculado com base na potência da bomba de água 5.500 W, no tempo de funcionamento do sistema de rega de 1 h/dia os 365 dias do ano e com base no valor do preço do Quilowatt-hora de 0,16 €/kwh.

Custos / Ano	Valor [€]
MOD	12.740
Adubação	4.305
Energia	321,20
Plantas	4.590
Diesel	204
Total	22.160,20

Tabela 23 - Despesas anuais caso de estudo Convencional

As receitas do caso de estudo convencional foram calculadas com base nos valores médios de produtividade das estufas de produção de Alface e Nabiça Biológicas, e do preço de venda das mesmas. Note-se que o preço do quilograma de Alface e de Nabiça apresenta alguma flutuação durante o ano, especialmente devido á procura dos respetivos produtos. Considerou-se um valor médio para o preço de venda da Alface e da Nabiça biológicas de 1,5 €/kg e considerou-se a produtividade de 5.250 kg de Alface e de 1.575 kg de Nabiça produzidos nos 2.500 m² para as seis produções anuais. Desprezaram-se perdas de produção devido a pragas ou a outros fatores externos.

Produto	Receitas/Ano [€]
Alface	47.250
Nabiça	14.175
Total	61.425

Tabela 24 - Receitas anuais caso de estudo Convencional

Com base nos valores anteriormente apresentados e na metodologia descrita no Capítulo 3.2 calculou-se o VAL. O resultado do método encontra-se sintetizado na tabela seguinte.

VAL							
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Investimentos	130.910,2						
Custos		22.160,2	22.160,2	22.160,2	22.160,2	22.160,2	22.160,2
Receitas		61.425	61.425	61.425	61.425	61.425	61.425
Valor atual	-130.910,2	35.695,3	32.450,3	29.500,2	26.818,4	24.380,4	22.163,9
Valor Atual Acumulado	-130.910,2	-95.214,9	-62.764,7	-33.264,5	-6.446,1	1.7934,3	40.098,2

Tabela 25 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo Convencional

Através da aplicação do método VAL, verifica-se que para as condições do caso de estudo Convencional que no período considerado que este é um projeto que apresenta rentabilidade e consequente sustentabilidade económica, ficando o valor atual acumulado positivo no quinto ano.

6.2.2. Sistema Hidropónico

A análise de sustentabilidade económica do caso de estudo do sistema agrícola hidropónico foi realizada de forma semelhante á do caso de estudo do sistema agrícola convencional. Os valores dos investimentos iniciais de construção das estufas e instalação do equipamento hidropónico, do terreno, assim como dos custos mensais relativos a despesas com os nutrientes para a solução nutritiva e plantas germinadas foram obtidos junto dos responsáveis das estufas Martins – Almeirim. Na tabela seguinte apresentam-se os valores do investimento inicial do sistema Hidropónico.

Investimentos	Valor [€]
Estufas + Equipamento hidropónico	270.000
Terreno	7.500
Total	277.500

Tabela 26 - Investimentos caso de estudo Hidropónico

Apuraram-se os valores das despesas mensais médias relativas á compra dos nutrientes e ácidos para a solução nutritiva e o valor da compra das alfaces e nabiças já germinadas. Note-se que a quantidade de ácido e nutrientes utilizados no sistema apresenta uma grande variação durante o ano, especialmente devido ao consumo de água que varia com a temperatura, sendo portanto geralmente maior no verão e menor no inverno. Para o cálculo da MOD consideraram-se, como anteriormente referidas, as mesmas as mesmas condições que para o caso de estudo do sistema agrícola convencional. Esta consistia principalmente em tarefas como colocação dos nutrientes nos depósitos da solução nutritiva, colocação e retirada das plantas dos perfis, limpeza dos perfis NFT entre colheitas e restante manutenção. Para o cálculo da despesa relacionada com o consumo de energia elétrica consideraram-se os períodos de rega referidos no capítulo 5.2 para as bombas de recirculação de água, e um funcionamento de 7,5 minutos diários da bomba de reposição de água nos tanques. Este tempo de 7,5 minutos, tempo de reposição dos 1000 l diários nos tanques, foi calculado em função do caudal da bomba de reposição de água nos tanques para a pressão de funcionamento – aproximadamente 8 m³/h. Os valores das despesas anuais do caso de estudo Hidropónico apresentam-se na tabela seguinte.

Custos / Ano	Valor [€]
MOD	12.740
Nutrição	4.200
Energia	885,9
Plantas	18.547,2
Total	37.337,3

Tabela 27 - Despesas anuais caso de estudo hidropónico

As receitas anuais do caso de estudo do sistema Hidropónico foram calculadas com base na produtividade mensal do sistema registada aquando a visita às instalações e no preço médio do quilograma de Alface e Nabiça. Consideraram-se os valores de produtividade registados de 7.700 kg mensais de Alface e de 4.400 kg mensais de Nabiça e foram desprezadas perdas de produção devidas a pragas ou contaminações visto serem raras em cultivos hidropónicos. O

preço do quilograma de alface e nabiça considerado foi o preço de venda na altura da recolha de dados, 0,9 €/kg.

Produto	Receitas/Ano [€]
Alface	83.160
Nabiça	47.520
Total	130.680

Tabela 28 - Receitas anuais caso de estudo Hidropónico

Assim como para o caso de estudo, sistema agrícola convencional, com base nos valores anteriormente apresentados e na metodologia descrita no Capítulo 3.2 calculou-se o VAL através da equação (1). O resultado do método encontra-se sintetizado na tabela seguinte.

		VAL						
Anos		0	1	2	3	4	5	6
Investimentos		277500						
Custos			37.337,3	37.337,3	37.337,3	37.337,3	37.337,3	37.337,3
Receitas			130.680	130.680	130.680	130.680	130.680	130.680
Valor atual		-277.500	84.856,9	77.142,7	70.129,7	63.754,31	57.958,5	52.689,5
Valor Atual Acumulado		-277.500	-192.643,1	-115.500,3	-45.370,6	18.383,8	76.342,2	129.031,7

Tabela 29 - cálculo do valor atual líquido caso de estudo Hidropónico

Para o caso de estudo sistema Hidropónico tendo em conta a caracterização económica deste, verifica-se a viabilidade económica do mesmo, com o valor atual acumulado a ficar positivo no quarto ano.

6.2.3. Sistema Aquapónico – sem venda de peixes

Assim como para os casos de estudo anteriormente apresentados os valores dos investimentos para início do projeto e das despesas mensais foram obtidos junto do responsável pelo projeto Aquapónico da quinta Aberta Nova. O valor do terreno foi calculado com base no valor de 2,5 €/m² para terreno agrícola para os 500 m² de estufa onde se realizou o projeto do sistema de cultivo Aquapónico. Saliente-se que a estufa não foi construída para a realização deste projeto em concreto, tendo sido construída *À priori* do mesmo com a

finalidade de albergar vários projetos. Os valores dos investimentos apresentam-se na tabela seguinte.

Investimentos	Valor [€]
Estufa	20.000
Equipamento Aquapónico	50.000
Terreno	1.250
Peixes	200
Total	71.450

Tabela 30 - Investimentos caso de estudo Aquapónico

Os valores das despesas anuais inerentes ao caso de estudo, sistema Aquapónico da Aberta Nova encontram-se representados na tabela seguinte. O valor da despesa relacionada com a alimentação dos peixes foi calculado com base na quantidade de ração dada diariamente aos peixes e no preço da ração utilizada pelos responsáveis do projeto - 2,2 €/kg. O valor da despesa relativo á compra das plantas previamente germinadas foi calculado tomando em conta a simplificação do sistema Capítulo 5.3.1, na qual se considerou a produção de apenas Alface e Nabiça em todo o sistema Aquapónico, e com base no valor do preço de compra de Alface e Nabiça germinada em viveiro de respetivamente 0,03 € e 0,02 € por planta.

Custos / Ano	Valor [€]
MOD	12.740
Alimentação peixes	6.763,68
Energia	7.867,14
Plantas	1.257,52
Total	28.464.86

Tabela 31 - Despesas anuais caso de estudo Aquapónico

O valor das receitas anuais para o caso de estudo da Quinta Aberta Nova, foi calculado com base no tempo do ciclo de crescimento da Alface e da Nabiça em sistemas Aquapónicos, assim como na quantidade das mesmas que seria possível produzir num sistema com as dimensões e características do sistema do caso de estudo Aquapónico analisado. Os cálculos da produtividade e das receitas apresentados na tabela seguinte.

Produto	Receitas/Ano [€]
Alface	9.432
Nabiça	5.400
Total	14.832

Tabela 32 - Receitas anuais caso de estudo Aquapónico

Utilizando os valores dos investimentos, custos e receitas anuais associados ao sistema Aquapónico aplicou-se a metodologia para o cálculo do VAL descrita no Capítulo 3.2. Os resultados da aplicação do método encontram-se apresentados na tabela seguinte.

VAL							
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Investimentos	71.450						
Custos		28.628,5	28.628,5	28.628,5	28.628,5	28.628,5	28.628,5
Receitas		14.832	14.832	14.832	14.832	14.832	14.832
Valor atual	-71.450	-12.542,3	-11.402,1	-10.365,5	-9.423,2	-8.566,6	-7.787,8
Valor Atual Acumulado	-71.450	-83.992,3	-95.394,4	-105.759,4	-115.183	-123.750	-131.537,5

Tabela 33 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo Aquapónico- Sem venda peixes

Verifica-se que o projeto Aquapónico da Quinta Aberta Nova não apresenta viabilidade económica, para a simplificação que se fez de apenas ser produzido Alface e Nabiça, Capítulo 5.3. Isto deve-se ao facto de que as despesas anuais são inferiores às receitas do mesmo período por um lado pelo valor relativamente baixo da Alface e da Nabiça, por outro lado pelas despesas relativamente elevadas do sistema Aquapónico estudado. Note-se que como anteriormente referido, Capítulo 5.3. este projeto não foi de cariz económico, sendo um projeto inteiramente experimental, onde em muita maior quantidade que Alface e Nabiça foram produzidos dos mais diversos produtos na sua maioria com valor muito mais elevado, como o caso dos produtos tropicais.

6.2.4. Sistema Virtual HidroFood - sem peixes

A avaliação da sustentabilidade económica do caso de estudo hipotético HidroFood – Sistema aquapónico virtual adaptado a partir do sistema do caso de estudo Hidropónico, que teve como objetivo comparar a sustentabilidade ambiental de um sistema aquapónico mais simples com a sustentabilidade ambiental do sistema Aquapónico do caso de estudo da quinta Aberta Nova - Capítulo 5.4, foi feita tendo em conta os investimentos do caso de estudo Hidropónico e as despesas de nutrição associadas á alimentação dos peixes em tal sistema. Uma vez que os tanques existentes no sistema do caso de estudo Hidropónico, onde cresceriam os peixes neste novo sistema, têm o mesmo volume que os tanques de crescimento dos peixes do sistema Aquapónico da quinta Aberta Nova considerou-se que a despesa inicial com os peixes foi a mesma.

Investimentos	Valor [€]
Estufas + Equipamento hidropónico	270.000
Peixes	200
Terreno	7.500
Total	277.500

Tabela 34 – Investimentos de caso de estudo HidroFood

As despesas anuais médias do sistema virtual em questão seriam as mesmas do sistema Hidropónico estudado quanto à MOD e à compra das plantas em viveiro, diferindo quanto às despesas de nutrição da água, neste caso ração de peixe e de energia utilizada. O cálculo da despesa anual média do consumo energético foi feito tendo em conta um funcionamento permanente das bombas de água, uma vez que para um sistema com peixes, sistema aquapónico, é necessária uma recirculação constante da água ao invés de num sistema hidropónico onde a circulação da água pode ser feita de forma interrompida.

Custos/ Ano	Valor [€]
MOD	12.740
Ração de peixe	33.238,66
Energia	6.205
Plantas	18.547,2
Total	70.730,86

Tabela 35 - Despesas anuais caso de estudo virtual HidroFood

As receitas anuais do caso de estudo virtual HidroFood foram estimadas com base na produtividade do sistema Hidropónico estudado a partir do qual se adaptou o caso em questão. Considerou-se, dado o aproximadamente igual ciclo de crescimento de Alface e Nabiça entre sistemas aquapónicos e hidropónicos que a produtividade do sistemas HidroFood foi a mesma que do sistema Hidropónico estudado.

Produto	Receitas/Ano [€]
Alface	83.160
Nabiça	47.520
Total	130.680

Tabela 36 - Receitas anuais caso de estudo HidroFood

Com base nos valores dos investimentos, despesas e receitas anuais médias estimadas para o caso de estudo virtual em questão, aplicou-se a metodologia VAL.

VAL							
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Investimentos	277.500						
Custos		70.730,86	70.730,86	70730,86	70730,86	70.730,86	70730,86
Receitas		130.680	130.680	130,680	130680	130.680	130.680
Valor atual	-277.500	54499,2	49.544,75	45.040,7	40.946,1	37.223,7	33839,2
Valor Atual Acumulado	-277.500	-223.000,7	-173.456,1	-12.8415,3	-87469,3	-50.245,6	-16.405,85

Tabela 37 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo HidroFood

Observando-se a tabela anterior, verifica-se que caso de estudo do sistema virtual HidroFood apresenta uma menor viabilidade económica que o sistema hidropónico a partir do qual este foi adaptado. Isto deve-se ao facto das despesas relacionadas com o consumo energético e com a nutrição da água, neste caso através da alimentação dos peixes, ser consideravelmente superior as do caso hidropónico. Note-se que ainda que o valor atual acumulado não fique positivo no período de 6 anos considerado, este fica positivo no sétimo ano com um valor de 14.357,54 €.

6.3. Sistemas aquapónicos com comercialização de peixe

Seguidamente apresentam-se algumas considerações a tomar na expectativa de tornar o projeto do caso de estudo Aquapónico da quinta Aberta Nova economicamente viável. Para tal considerou-se, para além da capacidade de produção conjunta de vegetais e peixes num sistema aquapónico, a possibilidade de venda para consumo dos peixes produzidos em tais sistemas. Refira-se a atual limitação legal de venda para consumo dos peixes produzidos em sistemas Aquapónicos que pode funcionar como um inibidor do aparecimento de sistemas Aquapónicos com fins comerciais.

Estimou-se então a capacidade de produção de peixes para sistemas Aquapónicos com base na quantidade de peixes existentes no sistema e no ciclo de reprodução e crescimento da Tilápia do Nilo. Saliente-se que os ciclos de reprodução e maturidade sexual da Tilápia do Nilo variam com a temperatura, tendo-se considerado um período de 8 meses para maturação da Tilápia desde o seu nascimento até á maturidade pretendida, altura na qual se encontram nas condições pretendidas para venda e consumo (aquaponicsiberia.pt). Considerando os aproximadamente 833 kg de peixe existentes quer no sistema do caso de estudo Aquapónico da quinta Aberta Nova, quer no sistema virtual HidroFood, e os 8 meses do ciclo reprodutivo, estimou-se uma produtividade anual de 1250 kg de Tilápia do Nilo para os sistemas aquapónicos em análise. Para os casos de estudo seguintes considerou-se o preço de venda dos peixes neles produzidos com o valor de 10 €/kg (aquaponicsiberia.pt).

6.3.1. Sistema aquapónico Aberta Nova – com comercialização de Peixes

Aplicando a mesma metodologia que no capítulo 6.2.3 mas considerando agora as receitas anuais relacionadas com a venda de peixes obtiveram-se os resultados seguintes. O valor das receitas anuais nas referidas condições apresenta-se na tabela seguinte.

Produto	Receitas/Ano [€]
Alface	9.432
Nabiça	5.400
Peixes	12.500
Total	27.332

Tabela 38 - Receitas anuais caso de estudo quinta Aberta Nova com venda de peixes

Para as considerações juntamente com os valores anteriormente apresentados aplicou-se de novo a metodologia VAL chegando-se aos resultados seguintes.

		VAL						
Anos		0	1	2	3	4	5	6
Investimentos		71.450						
Custos			28.628,54	28.628,54	28.628,54	28.628,54	28.628,54	28.628,54
Receitas			27.332	27.332	27.332	27.332	27.332	27.332
Valor atual		-71.450	-1.178,67	-1071,52	-974,11	-885,55	-805,05	-731,86
Valor Atual Acumulado		-71.450	-72.628,67	-73.700,19	-74.674,29	-75.559,84	-76.364,89	-77.096,75

Tabela 39 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo quinta Aberta Nova com venda de peixes

Verifica-se que o caso de estudo sistema Aquapónico da quinta Aberta Nova também não apresenta viabilidade económica considerando a hipótese da possibilidade da venda dos peixes nele produzidos considerando os valores da venda de peixes a 10€/kg. Isto porque as receitas continuam para este caso a ter um valor inferior às despesas.

6.3.2. Sistema Virtual HidroFood – com comercialização de Peixes

Assim como para o caso de estudo do sistema Aquapónico da quinta Aberta Nova, considerando para o sistema virtual a possibilidade da venda dos peixes criados neste sistema aplicou-se a metodologia VAL. Deste modo obtiveram-se as receitas anuais do sistema em análise.

Produto	Receitas/Ano [€]
Alface	83.160
Nabiça	47.520
Peixes	12.500
Total	143.180

Tabela 40 - Receitas anuais caso de estudo Aberta Nova com venda de peixes

Para as considerações juntamente com os valores anteriormente apresentados aplicou-se de novo a metodologia (VAL) chegando-se aos resultados seguintes.

VAL							
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Investimentos	277.500						
Custos		70.730,86	70.730,86	70.730,86	70730,86	70730,86	70.730,86
Receitas		143.180	143.180	143.180	143.180	143180	143.180
Valor atual	-277.500	65.862,86	59.875,32	54.432,11	49.483,74	44.985,22	40.895,65
Valor Atual Acumulado	-277.500	-211.637,14	-151.761,82	-97.329,70	-47.845,96	-2.860,74	38.034,91

Tabela 41 - Cálculo do valor atual líquido caso de estudo sistema virtual HidroFood com venda de peixes

Para o caso de estudo do sistema virtual HidroFood considerando a venda dos peixes nele produzido verifica-se a viabilidade económica do mesmo. Neste caso para as condições de venda dos vegetais e dos peixes respetivamente a 0,9 €/kg e a 10 €/kg, o valor atual acumulado fica positivo no sexto ano de projeto.

7. Conclusões

Com a realização do presente trabalho e aplicação das metodologias descritas ao longo do mesmo concretizou-se uma avaliação da sustentabilidade ambiental e económica de três casos de estudo, tendo-se assim cumprido o objetivo proposto de apresentar uma comparação dos impactos ambientais para os sistemas agrícolas analisados. Dos casos de estudo avaliados; sistema agrícola Convencional de agricultura biológica, sistema agrícola Hidropónico e sistema Aquapónico, os dois primeiros são sistemas amplamente utilizados à escala comercial, sendo o sistema Aquapónico um sistema ainda pouco utilizado. Este último, à data da realização do presente trabalho tem sido apenas utilizado a pequena escala em instalações caseiras ou experimentais, não estando ainda consolidado a nível comercial em Portugal (aquaponicsiberia.com).

Para os três casos de estudo analisados, sistema Convencional, sistema Hidropónico e sistema Aquapónico, e para um quarto caso de estudo virtual, sistema adaptado Hidrofood, através da aplicação da metodologia LCA obtiveram-se os indicadores de impacto ambiental *Human Health, Ecosystems e Climate Change*. Estas avaliações foram feitas tomando em conta todos os recursos, materiais e energéticos, por quilograma de produção utilizados em cada caso de estudo, e indicaram que o sistema com menor valor total dos indicadores de impacto ambiental é o sistema Hidropónico com 17,7 mPts. Seguem-se por ordem crescente de valores de índice de impacto ambiental o sistema agrícola Convencional com 19,4 mPts, o sistema adaptado HidroFood um sistema aquapónico simplificado descrito no Capítulo 5.4 com 23,5 mPts e finalmente com um valor bastante superior o sistema Aquapónico com 224 mPts. Esta diferença significativa deve-se principalmente ao facto do consumo energético do sistema Aquapónico ser bastante superior aos restantes casos de estudo devido às bombas de água estarem permanentemente a funcionar, mas também devido à utilização de uma extensa qualidade e quantidade de materiais para a construção do sistema Aquapónico que não é utilizada nos outros sistemas. Materiais como LECA para substrato de plantas, resina epóxi reforçada com fibra de vidro para construção dos depósitos, alumínio, esferovite e madeira, utilizados em grandes quantidades que ao serem considerados no inventário de entradas do caso de estudo Aquapónico, contribuíram com os impactos ambientais relativos aos seus processos de fabrico. Refira-se a enorme quantidade de energia associada á produção do agregado de argila expandida LECA (Forchino A.A. et al., 2016). Note-se que o sistema do caso de estudo Aquapónico analisado, foi um sistema experimental de “requisite”, ver figura 24, de

médias dimensões com 140 m² de área útil de produção, que poderia ter sido construído recorrendo a outros tipos e menores quantidades de recursos, ficando com isso a sua comparação com outros sistemas comerciais otimizados comprometida.

Tendo em conta o anteriormente referido, aquando a realização do presente trabalho surgiu a necessidade de analisar um sistema Aquapónico virtual simplificado. Idealizou-se nesse sentido um sistema adaptado do caso de estudo Hidropónico, mas no qual, a nutrição da água do sistema ao invés de ser feita por nutrientes, seria feita como num sistema Aquapónico através da alimentação de peixes inseridos numa parte do circuito de água do sistema Capítulo 5.4. Com esta comparação pretendeu-se comparar os impactos ambientais relativos á nutrição da água do sistema via adição de nutrientes, Capítulo 4.2.1.2, *versus* nutrição da água através de comida de peixes, Capítulo 4.2.2, que é basicamente a diferença entre um sistema Hidropónico e Aquapónico. Analisando os resultados de tal comparação verifica-se que os impactos ambientais relativos á produção de ração de peixe com a finalidade de nutrir 12100 kg de plantas são cerca de 32,7 % superiores aos impactos ambientais para a síntese dos nutrientes utilizados para nutrir a mesma quantidade de plantas. Isto deve-se essencialmente ao facto de ser necessário uma maior quantidade de ração de peixe por cada quilograma de produção vegetal, do que de nutrientes. Saliente-se que a ração de peixe serve em primeira instância para a alimentação dos peixes, a apenas depois através da decomposição e transformação dos dejetos em substâncias nutritivas para as plantas, Capítulo 4.2.2.2. O que nos leva a concluir que a utilização de ração de peixe, e o impacto associado à produção da mesma, poderá ser viável se considerar a criação de peixes e com isso a existência de um outro produto produzido no mesmo sistema. Refira-se a limitação legislativa da venda de peixes para consumo produzidos por sistemas Aquapónicos (aquaponicsiberia.com). Em suma conclui-se que a sustentabilidade ambiental de um sistema agrícola pode ficar seriamente comprometida através de uma utilização pouco contida dos recursos materiais utilizados e que, ainda que o caso de estudo Aquapónico analisado tenha impactos ambientais muito superiores aos restantes casos de estudo, a diferença entre os impactos ambientais de sistemas agrícolas convencionais, hidropónicos e aquapónicos “simples” é quase inexistente.

Relativamente à afirmação citada no Jornal da União Europeia a 11/07/2014 *“É uma nova revolução na produção de alimentos. A Aquaponia é um modelo sustentável de alimentos, com base no princípio básico da agricultura biológica, que combina hidroponia(…) com aquicultura (…). A ideia é combinar estas duas técnicas num único sistema, de modo a reforçar os efeitos positivos de cada técnica e anular os efeitos negativos”* Conclui-se que é uma afirmação de carácter propagandista com o intuito de divulgar o modelo aquapónico e que com

base na avaliação do ciclo de vida de um modelo com as características do caso de estudo Aquapónico analisado é falsa.

Quanto à análise da sustentabilidade económica dos diferentes casos de estudo, verificou-se, através da aplicação da metodologia VAL, Capítulo 3.2, que como esperado, dado o carácter comercial, os sistemas dos casos de estudo Convencional e Hidropónico são economicamente viáveis. Verificou-se que para ambos os casos o balanço entre despesas e lucros é favorável para o desenvolvimento economicamente sustentável sendo que para o caso de estudo sistema agrícola convencional o VAL fica positivo no quinto ano com o valor de 17934.28 € e para o caso de estudo do sistema Hidropónico que o VAL fica positivo no quarto ano de projeto com um valor de 18383,26 €. Relativamente ao caso de estudo do sistema Aquapónico na quinta Aberta Nova, dadas as suas características, este não apresenta viabilidade económica para a simplificação que foi necessário fazer. Saliente-se que para o estabelecimento de uma unidade funcional comparativa para os três casos de estudo, dado os sistemas Convencional e Hidropónico serem sistemas otimizados de produção de Alface e Nabiça, foi necessário considerar apenas a produção dos mesmos produtos no sistema Aquapónico. Conclui-se que dado o preço relativamente baixo de venda da Alface e Nabiça que não é economicamente viável um sistema com as características do sistema Aquapónico estudado para a produção e comercialização de tais produtos. Relativamente ao sistema virtual HidroFood, que teve origem com a necessidade da simulação de um sistema aquapónico mais simples, que fosse construído com recurso a menores quantidades de materiais na expectativa de obter um sistema ambientalmente mais inofensivo verifica-se que para o período de 6 anos considerado que este também não apresenta viabilidade económica ainda que as suas receitas anuais sejam superiores aos custos para o mesmo período de tempo. Isto deve-se ao facto das despesas relacionadas com o consumo energético e com a alimentação dos peixes serem bastante elevadas.

Numa segunda fase da análise da sustentabilidade económica para os casos de estudo aquapónicos, Quinta Aberta Nova e sistema virtual adaptado HidroFood, considerando agora a possibilidade da venda de peixes, verifica-se que o caso de estudo Aquapónico da Quinta Aberta Nova continua a não apresentar viabilidade económica. Quanto ao sistema virtual HidroFood, verifica-se que com esta hipótese, para o período de 6 anos considerado o sistema apresentaria viabilidade económica ficando o VAL positivo no sexto ano com um valor de aproximadamente 38.000 €.

Em suma, para o sistemas aquapónicos, dada a baixa performance ambiental e não sustentabilidade económica do caso de estudo Aquapónico analisado, sugere-se uma utilização mais racional de materiais, com recurso sempre que possível a materiais reciclados, e a outros materiais com menores encargos ambientais para a construção dos depósitos e para o substrato das plantas, a utilização de apenas uma bomba de água para circulação da água do sistema, e sistemas alternativos, por exemplo solares para geração de energia e redução dos custos energéticos associados. Será também vantajoso do ponto de vista económico a produção de produtos com maiores preços de venda, como por exemplo produtos tropicais que permitam obter maiores lucros podendo relacionar-se com menores despesas relacionadas com a conceção de sistemas mais simples.

8. Desenvolvimento futuro

No presente trabalho, realizou-se uma análise do ponto de vista ambiental e económico à sustentabilidade de alguns sistemas agrícolas através da aplicação sistemática de consolidadas metodologias. Este trabalho foi realizado com o intuito de também poder servir de ponto de partida e apoio para futuras análises e comparações, sendo ainda necessários estudos no âmbito da análise a nível dimensional dos modelos estudados. Ou seja estudos de modelos de várias ordens de grandeza, desde caseiros até indústrias e comerciais, a fim de inferir sobre a sustentabilidade dos mesmos nesses nos referidos moldes.

Sugere-se no entanto a realização de trabalhos futuros no campo da análise da sustentabilidade e do impacto social inerente ao desenvolvimento e o estabelecimento de novos projetos aquapónicos. Sejam estes de carácter comercial – Implementação da Aquaponia Comercial, ou na até mesmo na possibilidade do início do desenvolvimento de sistemas aquapónicos nas grandes Urbes em grandes armazéns devolutos ou zonas industriais subaproveitadas, criando assim a possibilidade da integração de sistemas agrícolas situados nas grandes metrópoles criando assim uma maior proximidade ente o local de produção e a maior parte dos consumidores.

Sugere-se também a pesquisa e desenvolvimento de projetos no âmbito da integração de sistemas alternativos de geração de energia com sistemas agrícolas alternativos.

9. Bibliografia

Abeliotis K, Detsis V, Pappia C, 2013 – “Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park”, Greece. *Journal of Cleaner Production* 41:89–96. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612005033>

Arun Mondala, Deepak Kharea, Sananda Kundu, 2017 – “Uncertainty of soil erosion modelling using open source high resolution and aggregated DEMs” *Geoscience Frontiers*. Available at: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987116300226

Basset-Mens C., van der Werf, H.M.G. , Durand, P., Leterme, P., 2006 – “Implications of uncertainty and variability in the life cycle assessment of pig production systems” Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.58.7149&rep=rep1&type=pdf>

Boulard T, Raeppl C, Brun R, Lecompte F, Hayer F, Carmassi G, & Gaillard G, 2011 - “Environmental impact of greenhouse tomato production in France”. *Agron Sustain Dev* 31(4):757–777

Breiling et al., 1999 – “Rice-related greenhouse gases in Japan, variations in scale and time and significance for the Kyoto Protocol” Available at: https://www.researchgate.net/publication/225671004_Rice-related_greenhouse_gases_in_Japan_variations_in_scale_and_time_and_significance_for_the_Kyoto_Protocol

Carneiro et al., 2015 – “Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais”. Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>

D. Boucher, P. Elias, S. Roquemore, 2011 - “the root of the problem. What’s driving tropical deforestation the today?”

FAO 2013 – “Food wastage footprint. Impacts on natural resources. Summary Report” Available at: <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>

FAO 2014 – “Small scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming” Available at: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/90bb6bfe-1ac3-4280-857e-1c5a20404b38/>

Forchino A.A. et al., 2017 - "Aquaponics and sustainability: the comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA)" Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860916301522>

Hallström et al. 2015 – "Environmental impact of dietary change: a systematic review" Journal of Cleaner Production vol 91, 1-11. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614012931>

Holderbeke, M.V., Sanjuán, N., Geerken, T., Vooght, D.D., 2003 - The history of bread production: using LCA in the past". In: Proceedings of the Fourth International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, Bygholm, Denmark

Hunt, R. G., and W. E. Franklin. 1996. — "LCA – How it Came About" – Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. || The International Journal of Life Cycle Assessment 1 (1): 4–7.

Jaap Van Rijn, 2013 – "Waste treatment in recirculating aquaculture systems". Aquacultural Engineering. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860912000945>

James W. Jones, John M. Antle b , Bruno O. Basso, 2016 – "Brief history of agricultural systems modeling". Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16301585>

Jared Diamond 2002, - "Evaluation, consequences and future of plant and animal domestication". Available at: https://www.hort.purdue.edu/newcrop/Hort_306/reading/Reading%203-2.pdf

K. Hasler et al., 2015 - "Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types" Available at: https://www.researchgate.net/publication/279200914_Life_cycle_assessment_LCA_of_differen_t_fertilizer_product_types

Love, D. C., Uhl, M. S., Genello, L., 2015 - "Energy and water use of a small-scale raft aquaponic system in Baltimore", Maryland, United States. Aquacult. Eng. 68, 19-27. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2015.07.003.

M. Mazoyer, Laurence roudart, 1997 – "Histoire des agriculture du monde, du néolithique à la crise contemporaine"

Meisterling, K., Samaras, C., Schweizer, V., 2009 - "Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat". Journal of Cleaner Production. 17 (2):222-230. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652608000966>

Muñoz I., Milà i Canals L., Fernández-Alba A. R., 2010 – "Life cycle assessment of the average Spanish diet including human excretion" Int J LCA 15:794–805. Available at: https://www.researchgate.net/publication/227325988_Life_cycle_assessment_of_the_average_Spanish_diet_including_human_excretion

Naegel, 1977 - "Combined production of fish and plants in recirculating water Aquaculture", 10, pp. 17-24. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0044848677900291>

Notarnicola et al., 2016 – "Environmental impacts of food consumption in Europe". Available at: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616307570

Nuñez, Elorza Martinez, Rentaria, 2005 – "Effect of three protein supplements over weight gain in asiatic ox calves/Swiss that feed on African grass (*Cynodon plectostachyus*)". Revista Científica UDO Agrícola, 5 (1): 103-106

O'Brien D., Shalloo L., Patton J., Buckley F., Grainger C., Wallace M., 2012 - "A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms". Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X11001752>

Portitosh Roy et al., 2008 - "A review of life cycle assessment (LCA) on some food products". Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408002793>

Portitosh Roy et al., 2011 – "Life Cycle Inventory Analysis of Leafy Vegetables Grown in Two Types of Plant Factories". Acta Horticulturae 919, 115-122

Rakocy et al., 2006 - "Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics – integrating fish and plant culture". SRAC Publication No. 454, pp 1-16.

Rita Garcia, Pedro Marques, Fausto Freire, 2014 – "Life-cycle Assesment of Electricity in Portugal" Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914008782>

Spyros Foteinisa, Efthalia Chatzisyneon 2015. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. J. Clean. Prod. 112, 2462-2472. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.075.

Tokunaga, K., Tamaru, C., Ako, H., Leung, P. S., 2015 – “Economics of small-scale commercial aquaponics in Hawaii” in *Journal World Aquaculture. Soc.* 46(1), 20-32. DOI: 10.1111/jwas.12173

Torrellas at al., 2012 - “Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios” - *J Cleaner Prod* 28:45–5. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611004471>

Williams, A.G., Audsley, E., Sandars, D.L., 2006 - “Determining the Environmental Burdens and Resource Use in the Production of Agricultural and Horticultural Commodities” (Defra Project Report IS0205). Cranfield University and Defra, Bedford, p. 97

Xie, K., Rosentrater, K. A., 2015. - “Life cycle assessment (LCA) and Techno-economic analysis (TEA) of tilapia-basil aquaponics. *Agricultural and Biosystems Engineering. Conference Proceedings and Presentations*, available at http://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_conf/446

Y. S. Sherif, W. J. Kolarik, 1981 - “Life Cycle Costing: Concept and Practice,” *OMEGA Int. JI Mgmt Sci*, vol. 9, no. 3, 287–296

Anexos

Anexo 1: Exemplos de Soluções nutritivas

Element	Ionic form absorbed by plants	Common range (ppm=mg/l)
Nitrogen	Nitrate (NO_3^-), Ammonium (NH_4^+)	100-250 ppm elemental N
Phosphorus	Dihydrogen phosphate (H_2PO_4^-) Phosphate (PO_4^{3-}) Monohydrogen phosphate (HPO_4^{2-})	30-50 ppm elemental P
Potassium	Potassium (K^+)	100-300 ppm
Calcium	Calcium (Ca^{2+})	80-140 ppm
Magnesium	Magnesium (Mg^{2+})	30-70 ppm
Sulfur	Sulfate (SO_4^{2-})	50-120 ppm elemental S
Iron	Ferrous ion (Fe^{2+}) Ferric ion (Fe^{3+})	1-5 ppm
Copper	Copper (Cu^{2+})	0.04-0.2 ppm
Manganese	Manganese (Mn^{2+})	0.5-1.0 ppm
Zinc	Zinc (Zn^{2+})	0.3-0.6 ppm
Molybdenum	Molybdate (MoO_4^{2-})	0.04-0.08 ppm
Boron	Boric acid (H_3BO_3) Borate (H_2BO_3^-)	0.2-0.5 ppm elemental B
Chloride	Chloride (Cl^-)	<75 ppm
Sodium	Sodium (Na^+)	<50 ppm TOXIC to plants

Suggested Nutrient Solutions for Various Crops

Crop	N	P	K	Ca	Mg
Concentration in mg/l (ppm)					
Tomato	190	40	310	150	45
Cucumber	200	40	280	140	40
Pepper	190	45	285	130	40
Strawberry	50	25	150	65	20
Melon	200	45	285	115	30
Roses	170	45	285	120	40

Anexo 2: Fotografias do sistema aquapónico da Quinta Aberta Nova







Anexo 3: Exemplo das de cálculo método VAL

Caso Aquapónico sem venda de peixes:

	Investimentos		Custos variáveis (por ano)			Receitas (por ano)		Produção por ano			
	Amortizáveis					Peixes	0	Alface	6288		
	Estufa	20000	MOD	12740		Vegetais	14832	Nabiça	3600		
	Equipamento aquaponia	50000	alimentação	6763,68							
	Terreno	1250	Energia	7867,136							
	Não amortizáveis		Plantas	1257,72							
	peixes	200									
					despesas	28628,54					
	nº homens em paralelo	2									
	HH	7	€/hora								
	Energia						134,76				
	Aquecimento	12	kW 4 meses por ano								
	Bombas	1960	W sempre				104,81				
	Gás propano	5120	€/ano								
	Custo electricidade	0,16	€/kWh								
	NPV										
	r	10%									
Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Invest	71450										
Custos		28628,536	28628,536	28628,536	28628,54	28628,54	28628,536	28628,54	28628,536	28628,54	28628,54
Receitas		14832	14832	14832	14832	14832	14832	14832	14832	14832	14832
VA (Valor actual)	-71450	-12542,30545	-11402,09587	-10365,542	-9423,22	-8566,56	-7787,784897	-7079,8	-6436,185865	-5851,08	-5319,16
Valor actual acumulado	-71450	-83992,30545	-95394,40132	-105759,94	-115183	-123750	-131537,511	-138617	-145053,5013	-150905	-156224

Caso Aquapónico com venda de peixes

	Investimentos		Custos variáveis (por ano)				Receitas (por ano)		Produção por ano	
	Amortizáveis						Peixes	12500	Alface	6288
	Estufa	20000	MOD	12740			Vegetais	14832	Nabiça	3600
	Equipamento aquapónico	50000	alimentação	6763,68					Peixe	1250
	Terreno	1250	Energia	7867,136						
	Não amortizáveis		Plantas	1257,72					alf	9432
	peixes	200							nab	5400
									veg	14832
									total	27332
					despesas	28628,536				
	nº homens em paralelo	2								
	HH	7	€/hora							
	Energia						134,76			
	Aquecimento	12	kW 4 meses por ano							
	Bombas	1960	W sempre				104,81			
	Gás propano	5120	€/ano							
	Custo electricidade	0,16	€/kWh							
	NPV									
	r	10,0000%								
Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Invest	71450									
Custos		28628,54	28628,54	28628,54	28628,54	28628,54	28628,54	28628,54	28628,54	28628,54
Receitas		27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
VA (Valor actual)	-71450	-1178,67	-1071,52	-974,11	-885,55	-805,05	-731,86	-665,33	-604,84	-549,86
Valor actual actual	-71450	-72628,67	-73700,19	-74674,29	-75559,84	-76364,89	-77096,75	-77762,1	-78366,92	-78916,8

Sistema Convencional:

Investimentos		Custos variáveis (por ano)		Receitas (€/ ano)		Produção por ano (kg)	
Amortizáveis						Alface	
Estufas	62500	MOD	12740	Vegetais	61425	Nabiça	31500
Maquinas	40000	adubação	4305				9450
Terreno	6250	Energia	321,2				
Não amortizáveis		Gasoleo	204				
		plantas	4590				
				inves	108750		
nº homens em pa	2			despesas	22160,2		
HH	7 €/hora						
					130910,2		
Energia							
Bombas	5500	W (1h/dia)					
Custo electricidad	0,16	€/kWh					
NPV							
r	10%						
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Invest	130910,2						
Custos		22160,2	22160,2	22160,2	22160,2	22160,2	22160,2
Receitas		61425	61425	61425	61425	61425	61425
VA (Valor actual)	-130910,2	35695,27273	32450,24793	29500,22539	26818,38672	24380,35157	22163,95597
Valor actual acumulad	-130910,2	-95214,92727	-62764,67934	-33264,45394	-6446,067222	17934,28434	40098,24031
VAL	40098,24031						

Anexo 4 – Representação gráfica indicadores MidPoint (H).

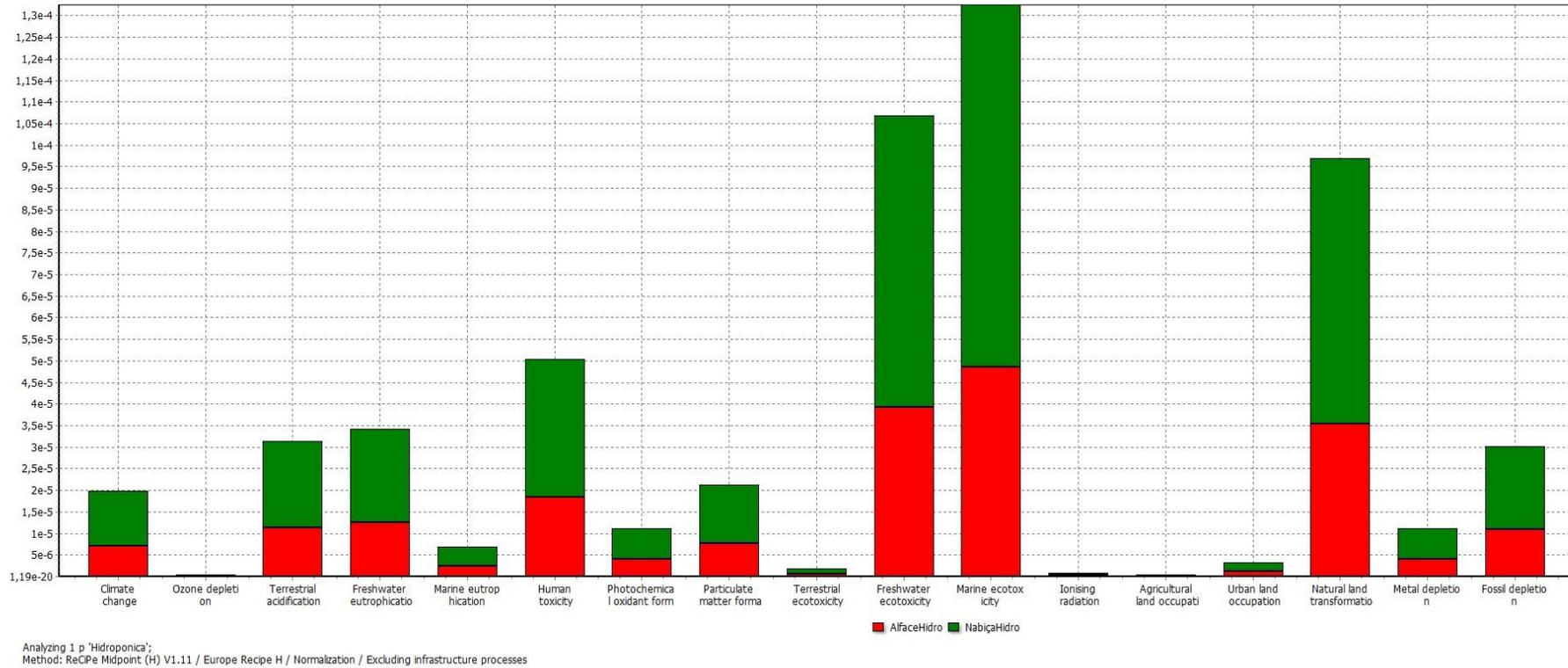
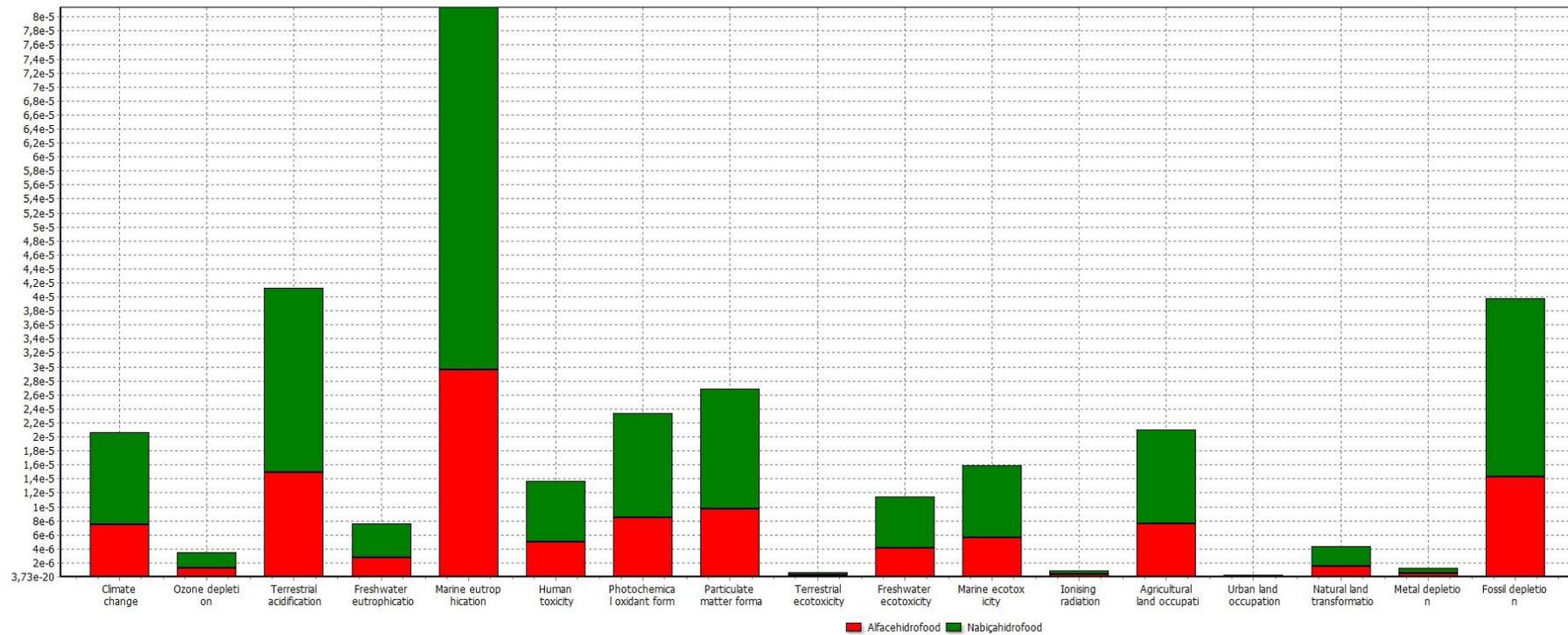
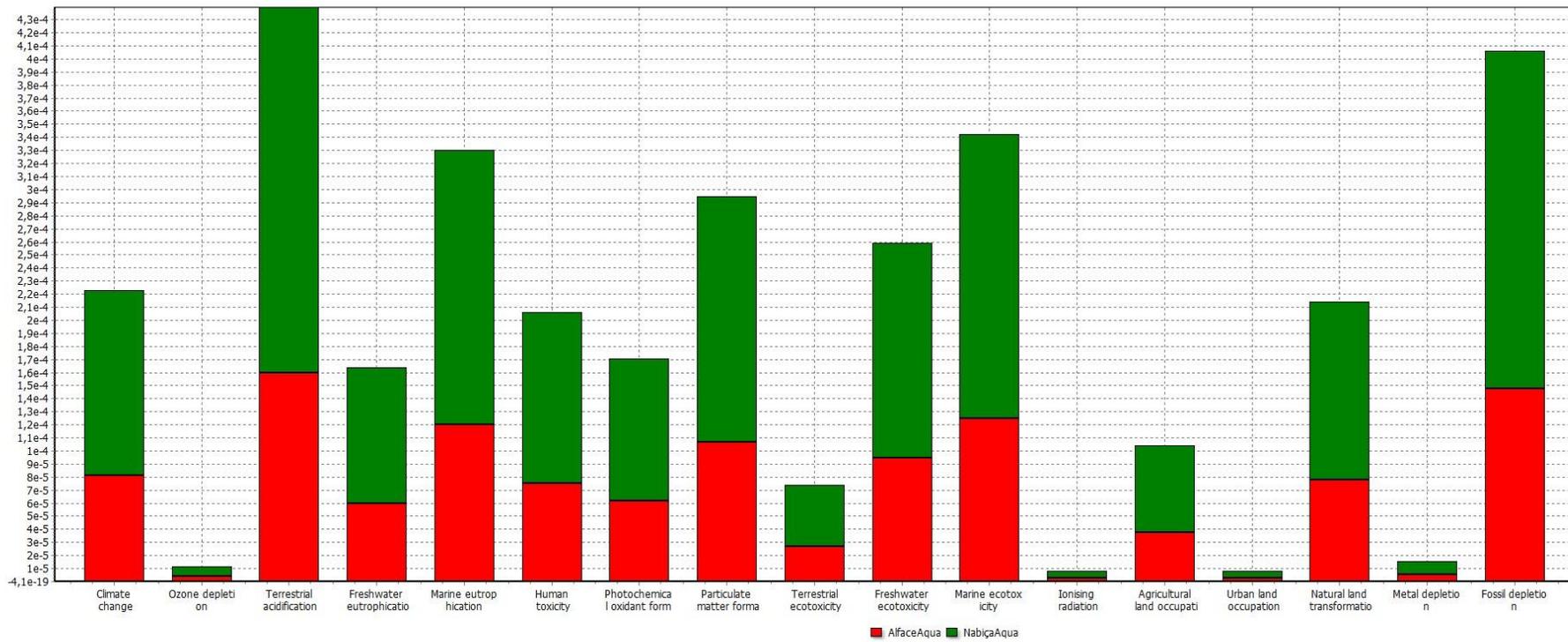


Grafico 6 – Indicadores MidPoint (H) caso de estudo hidropónico



Analyzing 1 p 'HidroFood';
 Method: ReCiPe Midpoint (H) V1.11 / Europe Recipe H / Normalization / Excluding infrastructure processes

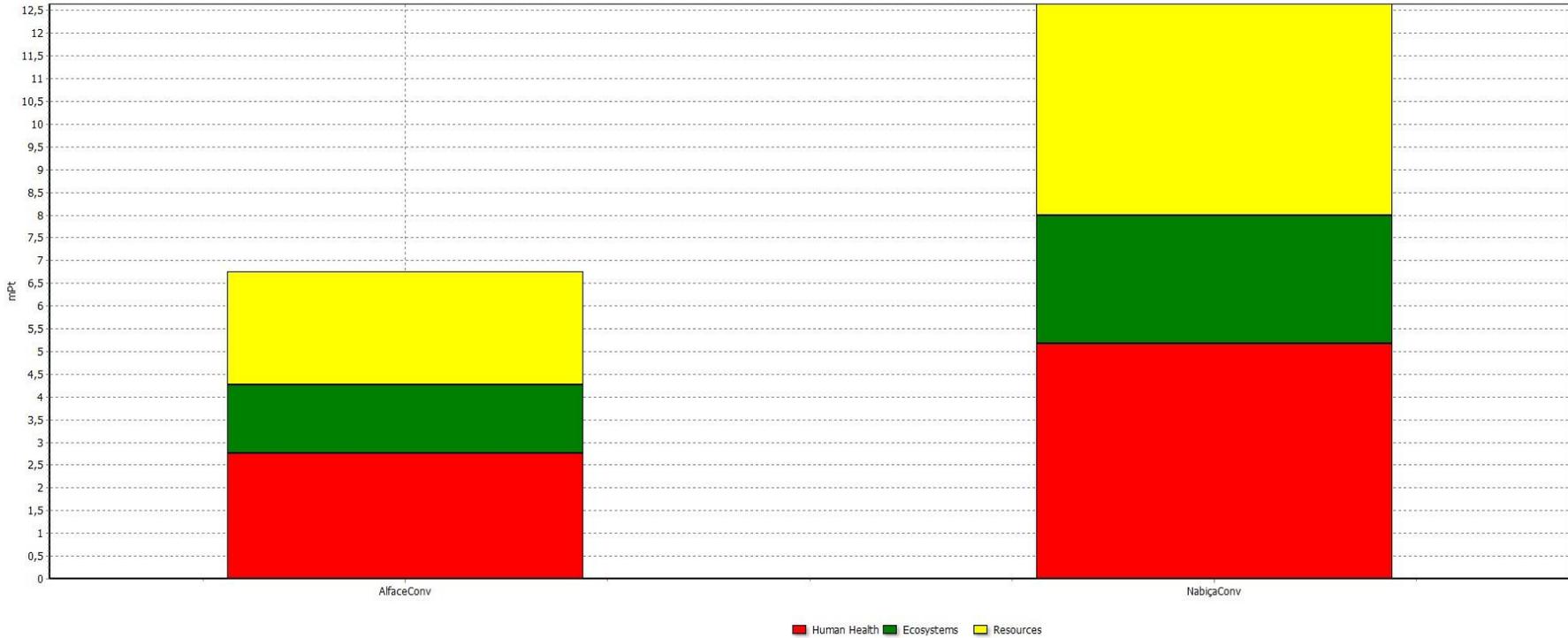
Gráfico 7 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo HidroFood



Analyzing 1 p 'Aquaponica';
 Method: ReCiPe Midpoint (H) V1.11 / Europe Recipe H / Normalization / Excluding infrastructure processes

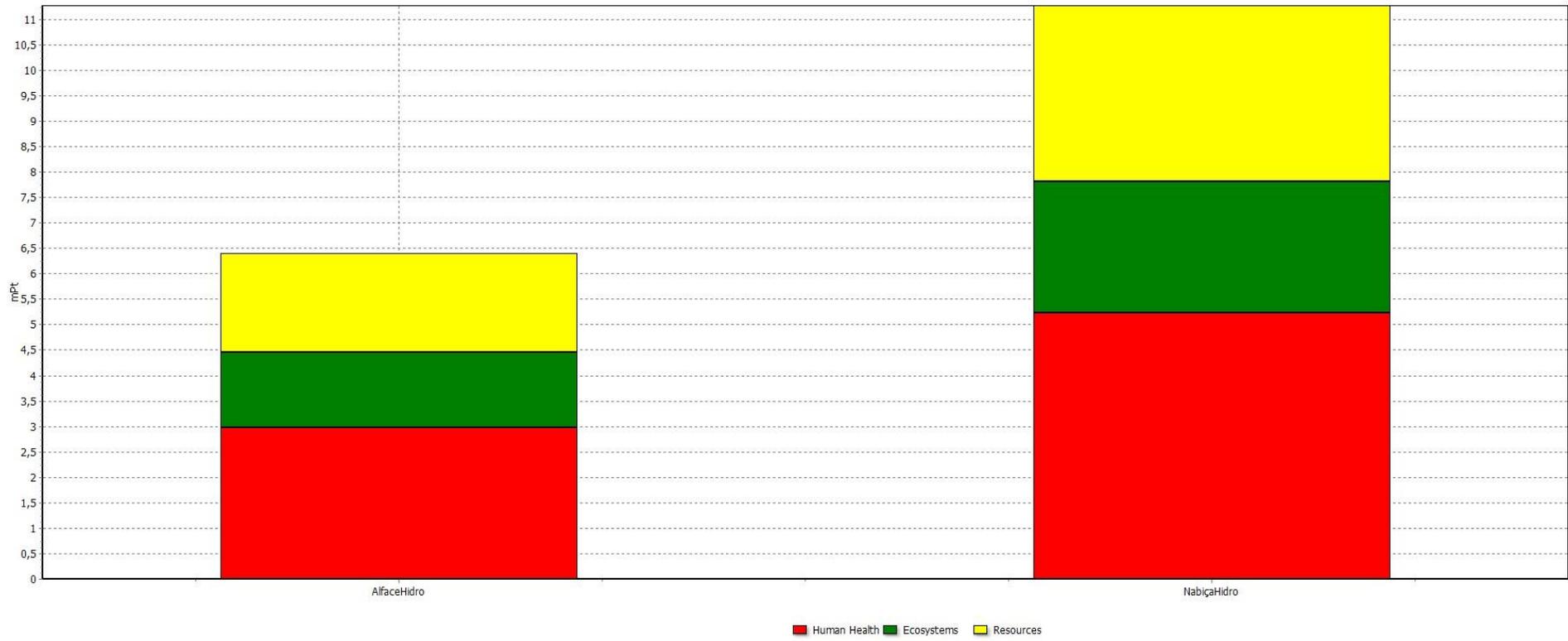
Gráfico 8 – Indicadores Midpoint (H) caso de estudo HidroFood

Anexo 5 – Representação gráfica indicadores EndPoint (H)



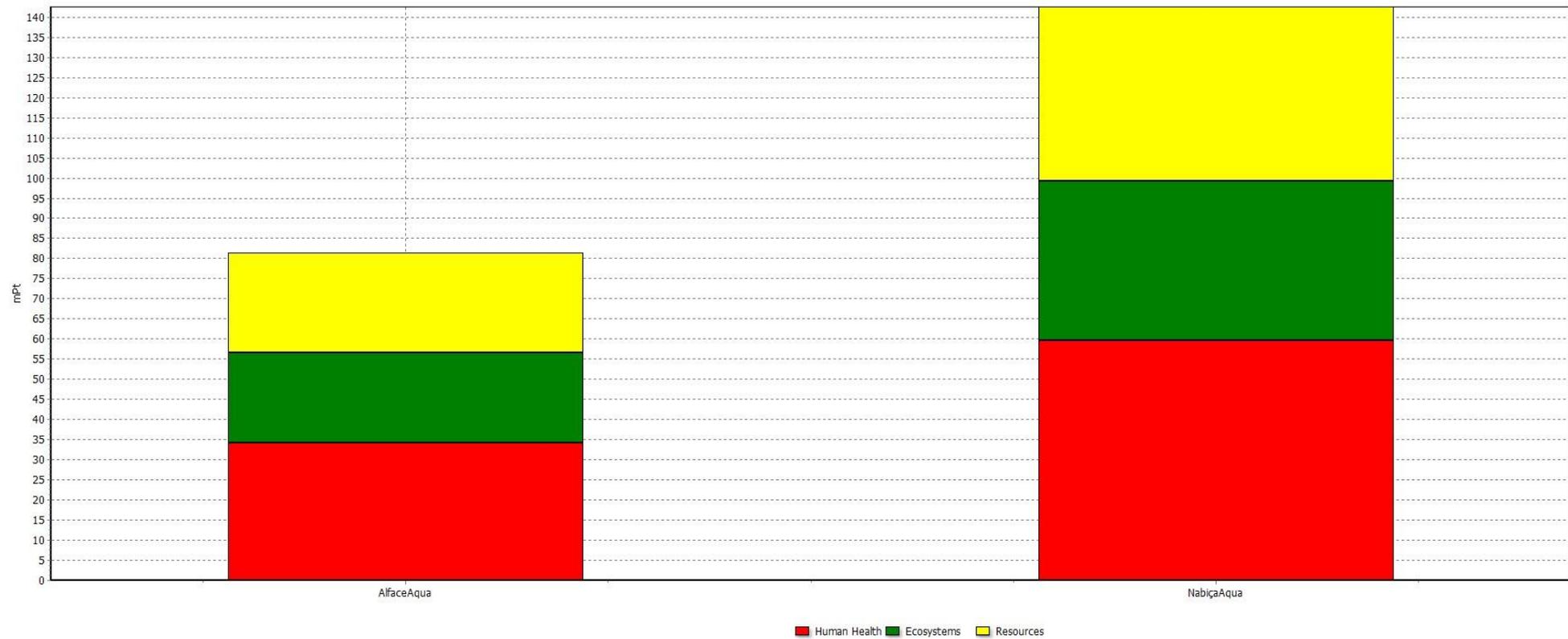
Analyzing 1 p 'Convencional';
 Method: ReCPe Endpoint (H) V1.11 / Europe ReCPe H/A / Single score / Excluding infrastructure processes

Gráfico 9 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo Conevcional



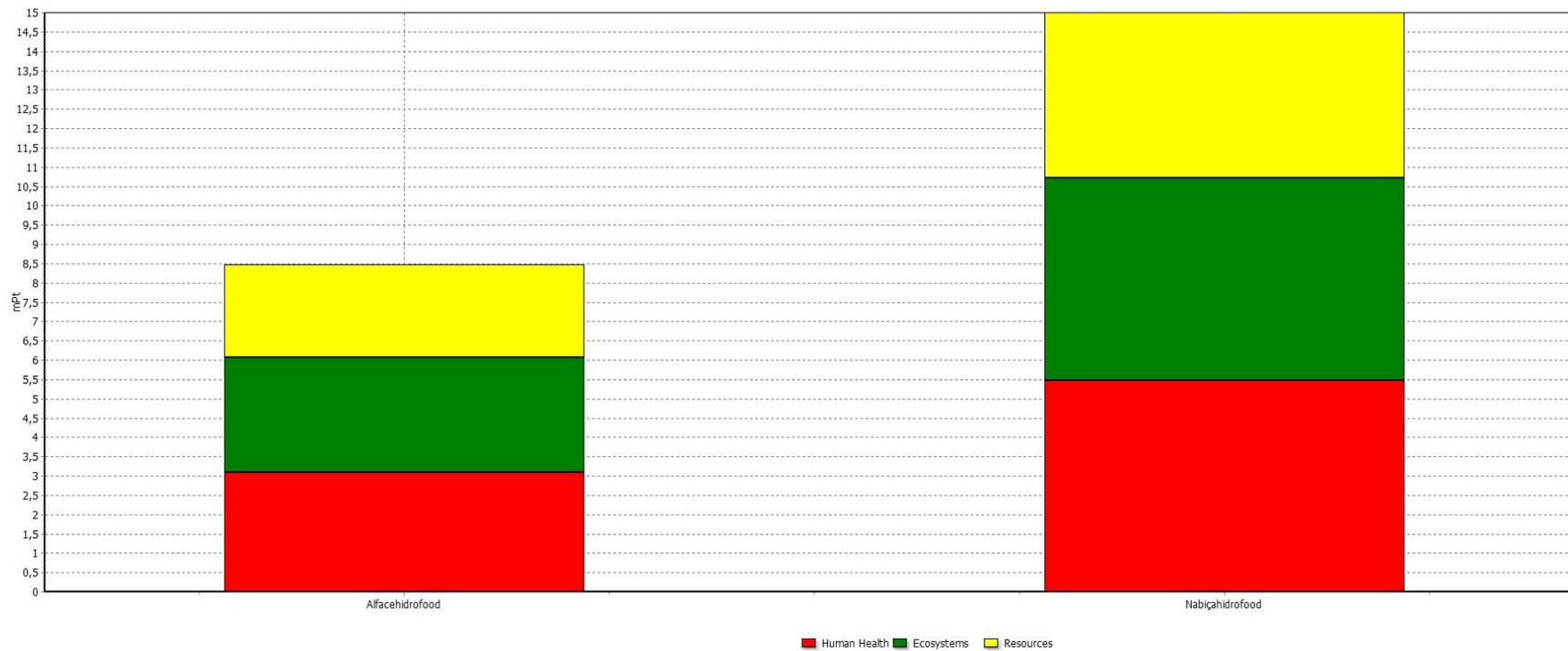
Analyzing 1 p 'Hidroponica';
 Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.11 / Europe ReCiPe H/A / Single score / Excluding infrastructure processes

Gráfico 10 – Indicadores Enddpoint (H) caso de estudo Hidropónico



Analyzing 1 p 'Aquaponica';
 Method: ReCIpe Endpoint (H) V1.11 / Europe ReCIpe H/A / Single score / Excluding infrastructure processes

Gráfico 11 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo Aquapónico



Analyzing 1 p 'HidroFood';
 Method: ReCIPe Endpoint (H) V1.11 / Europe ReCIPe H/A / Single score / Excluding infrastructure processes

Gráfico 12 – Indicadores Endpoint (H) caso de estudo HidroFood