



Universidade do Algarve / Faculdade de Ciências e Tecnologia

Tese de Dissertação de Mestrado

Efeito do nível de proteína da ração no crescimento de Tenca (*Tinca tinca*), no crescimento de manjerição (*Ocimum basilicum*) e no balanço de nutrientes num sistema de Aquaponia

Luís Negrão

Mestrado em Aquacultura e Pescas

Maio 2014



Universidade do Algarve / Faculdade de Ciências e Tecnologia

Tese de Dissertação de Mestrado

Efeito do nível de proteína da ração no crescimento de Tenca (*Tinca tinca*), no crescimento de manjeriço (*Ocimum basilicum*) e no balanço de nutrientes num sistema de Aquaponia

Luís Negrão

Mestrado em Aquacultura e Pescas

Dissertação orientada por Professora Margarida Castro

Maio 2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar, desejo agradecer à minha família, pais e irmãos, pelo apoio e ajuda ao longo de todo o mestrado e trabalho experimental, sem a vossa ajuda nada disto teria sido possível. Mãe, obrigado pelos longos telefonemas enquanto estava no Alentejo, foram de indispensável proveito.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, pelos momentos passados no Algarve. A todos os que tive a oportunidade de conhecer em Faro, colegas ou concorrentes, como o Carlos e a sua maravilhosa família, que sempre me trataram como um deles.

À Formosamar e à Lands, pela oportunidade de trabalhar e aprender enquanto estudava, pelo contacto que me permitiram com a área, os ensinamentos marítimos e pelos divertidos momentos passados, nomeadamente o Sr. Paulo e a D. Bárbara, e a todos os que trabalharam comigo.

À Aberta Nova e o seu pessoal, pela oportunidade e os meios que me forneceram para que este trabalho experimental se realizasse. Aquilo que aprendi caminhará para sempre comigo, e apesar de nem tudo ter sido bom, é imperativo admitir que este sonho nunca se teria concretizado sem o seu apoio. Uma palavra especial para aqueles que me ajudaram na construção e operação do sistema, nomeadamente o Ricardo, o Armindo, os Pedros e como não podia deixar de ser, o Vítor.

À minha orientadora, a Professora Margarida Castro, pela sua ajuda e crença no projeto.

Finalmente, um agradecimento especial à Tania, por viver comigo e me aturar a falar interminavelmente sobre a Aquaponia: ao Bruno, pela ajuda e empréstimo de experiência quando foi preciso, e ao Eva, pela amizade e companheirismo.

A todos, um sincero muito obrigado.

Resumo

A Aquaponia é uma técnica que conjuga a produção de peixes de água doce com vegetais, produzidos em Hidroponia, num sistema de recirculação. Neste sistema, os produtos de excreção dos peixes são transformados, pela ação de bactérias, em nutrientes, que são depois absorvidos pelas plantas. Trata-se de um sistema simbiótico, em que ambas as culturas são beneficiadas pela sua associação, permitindo ainda a produção de elementos de alta qualidade, sem recurso a pesticidas ou tratamentos químicos, e uma redução na área e água que seriam necessárias para estas culturas em separado.

Foram construídos e testados sistemas modulares de Aquaponia, compostos por um tanque de 400 litros para os peixes e duas camas de crescimento a este associadas, para as plantas. Para o trabalho experimental foram usadas juvenis de tenca (*Tinca tinca* L.) e manjerição (*Ocimum basilicum* L.). Foram testados os efeitos de diferentes níveis de proteína da ração dos peixes no crescimento dos animais, no crescimento das plantas e no balanço de nutrientes dos sistemas.

Foram encontradas diferenças significativas no crescimento dos peixes, com resultados superiores com a ração com nível mais alto de proteína. Os resultados da análise estatística das plantas são inconclusivos, com diferenças significativas em relação a certos parâmetros do desenvolvimento das plantas, mas sem resultados conclusivos em relação a outros.

Apesar da acumulação de nitratos em todos os sistemas, ficou estabelecido que o substrato usado para o cultivo hidropónico, LECA, funciona como biofiltro, e que a correção da densidade de peixe e/ou a taxa de alimentação e/ou a quantidade de plantas de um sistema de Aquaponia com uma razão de 1:2 de volume de água dos peixes para o volume de substrato de cultivo é fundamental para o equilíbrio correto de um sistema.

Palavras-chave: Aquaponia, recirculação, simbiose, *Tinca tinca* L., *Ocimum basilicum* L., LECA.

Abstract

Aquaponics is a technique that integrates the culture of freshwater fish and vegetables, produced in Hydroponics, in a recirculating system. In this system, excretion products of the fish are transformed, by bacterial action, into nutrients, later on absorbed by the plants. It is a symbiotic system, in which both cultures are benefited by the association, allowing the production of high quality goods, without the use of pesticides or chemical treatments, and a reduction in terms of area and water that would otherwise be necessary for the cultures, if separated.

Modular Aquaponic systems were built and tested, composed by a 400 liter tank for the fish and two grow beds associated to it, for the plants. For this experiment were juvenile tench (*Tinca tinca* L.) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). The effects of different protein levels in the fish feed were tested, in terms of the growth performance of the fish, the plants, and the nutrient balance of the systems.

Significant differences were found in the growth of the fish, with better results in the fish fed with the feed with higher protein content. The statistical analysis of the plant growth was inconclusive, with significant differences found in certain tested parameters, with inconclusive results in others.

Despite the nitrate accumulation in all tested systems, it is established that the medium used for the hydroponic cultivation, LECA, is suitable as a biofilter, and that the correction of the fish density and/or feeding rate and/or the number of plants of an Aquaponic systems with a relationship of 1:2 of volume of fish water to volume of cultivation medium is fundamental for the correct balance of a system.

Key-words: Aquaponics, recirculating, symbiosis, *Tinca tinca* L., *Ocimum basilicum* L., LECA.

Abreviaturas e Siglas

FAO – *Food and Agriculture Organization*

PUFA – ácidos gordos polinsaturados, do inglês *polyunsaturated fatty acids*

SFA – ácidos gordos saturados, do inglês *saturated fatty acids*

FCR – taxa de conversão de ração, do inglês *feed conversion ratio*

SGR – taxa de crescimento específico, do inglês *specific growth rate*

NUFAR – *Newe Ya'ar Fusarium Resistant*

RAS – sistemas de aquacultura de recirculação, do inglês *Recirculation Aquaculture Systems*

NH_4^+ - amónia ionizada

NO_3^- - nitratos

NO_2^- - nitritos

NH_3 - amónia não-ionizada

TAN - total de amónia-azoto, do inglês *Total Ammonia-nitrogen*

NH_4Cl - Cloreto de Amónia

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Hidróxido de Cálcio

KOH – Hidróxido de Potássio

DO – Oxigénio Dissolvido, do inglês *Dissolved Oxygen*

ppm – partes por milhão, do inglês *parts per million*

NFT – *Nutrient Film Technique*

LECA – *light expanded clay aggregate*

IBC – *Intermediate Bulk Container*

TDS – Total de Sólidos Dissolvidos, do inglês *Total Dissolved Solids*

EC – Eletrocondutividade

rpm - rotações por minuto

Índice de Figuras

Figura 1 - Efeito do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Retirado de Aquaponic Gardening.....	8
Figura 2 - IBC.....	15
Figura 3 - Tenca, <i>Tinca tinca</i>	21
Figura 4 - Manjerição, <i>Ocimum basilicum</i>	41
Figura 5 - Pormenor de um módulo usado no trabalho experimental, com o tanque para os peixes ao centro, posição inferior, e as duas camas de crescimento nas laterais, posição superior.....	48
Figura 6 - Sistema completo (12 módulos), com 3 filas de 4 módulos.....	48
Figura 7 - Pormenor dos furos usados para arejamento das caixas dos tanques dos peixes.	49
Figura 8 - Pormenor da montagem do passa-muros e tubo de proteção.....	49
Figura 9 - Pormenor do passa-muros.....	49
Figura 10 - Pormenor do tubo de proteção usado.....	49
Figura 11 - Gráfico de funcionamento das bombas por hora, em que cada quadrante corresponde a um intervalo de 15 minutos.....	51
Figura 12 - Sistema de sementeira usado.....	54
Figura 13 - Organização hierárquica do estudo realizado.....	60
Figura 14 - Gráficos Boxplot com os valores de comprimento (esquerda) e peso (direita) dos peixes na amostragem inicial e final de cada tanque.....	61
Figura 15 - Gráfico Boxplot com os valores do comprimento da raiz na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.....	62
Figura 16 - Gráfico Boxplot com os valores do peso da raiz na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.....	62
Figura 17 - Gráfico Boxplot com os valores do peso do caule na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.....	63
Figura 18 - Gráfico Boxplot com os valores do comprimento do caule na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.....	63
Figura 19 - Relação entre nitrates e total de sólidos dissolvidos no tanque I1.....	67
Figura 20 - Relação entre nitrates e total de sólidos dissolvidos no tanque I2.....	67
Figura 21 - Relação entre nitrates e total de sólidos dissolvidos no tanque I3.....	67
Figura 22 - Relação entre nitrates e total de sólidos dissolvidos no tanque I4.....	67

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Micro e Macro nutrientes essenciais para as plantas.....	17
Tabela 2 - Composição nutricional das rações testadas. Valores de Proteína Total, Lípidos Totais e Cinzas em percentagem, valores de Energia em MJ/kg de ração.....	52
Tabela 3 - Resultados das amostragens iniciais de peixes e plantas.	53
Tabela 4 - Valores finais de temperatura, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão....	55
Tabela 5 - Valores finais de oxigénio dissolvido, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.....	56
Tabela 6 - Valores finais de pH, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.	56
Tabela 7 - Valores finais de TDS, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.	57
Tabela 8 - Valores da amostragem final de peixes.....	60
Tabela 9 - Resultados da análise estatística do comprimento final dos peixes.	61
Tabela 10 - Resultados da análise estatística do peso final dos peixes.	61
Tabela 11 - Resultados da amostragem final das plantas.....	62
Tabela 12 - Resultados da análise estatística do peso da raiz.....	64
Tabela 13 - Resultados da análise estatística do comprimento da raiz.....	64
Tabela 14 - Resultados da análise estatística do peso do caule.....	64
Tabela 15 - Resultados da análise estatística do comprimento do caule.....	65
Tabela 16 - Resultados da análise estatística do peso das folhas.....	65
Tabela 17 - Concentração de nutrientes no tanque I1.....	66
Tabela 18 - Concentração de nutrientes no tanque I2.....	66
Tabela 19 - Concentração de nutrientes no tanque I3.....	66
Tabela 20 - Concentração de nutrientes no tanque I4.....	66
Tabela 21 - Comparação da performance das tencas com estudos previamente publicados.	68
Tabela 22 - Comparação da taxa de consumo de água obtida no estudo com outros resultados previamente publicados.....	83

Índice

I. Introdução	1
1.1 Aquaponia	1
1.1.1 <i>Design</i> e funcionamento de sistemas de Aquaponia	3
1.1.2 Biofiltração.....	5
1.1.3 pH.....	7
1.1.4 Controlo de Parâmetros	9
1.1.5 Subsistemas de Hidroponia	10
1.1.7 Comparação entre Aquaponia e Hidroponia	16
1.1.8 Peixes e Plantas	19
1.2 Tenca	21
1.2.1 Interesse Mundial	23
1.2.2 Fins	26
1.2.3 Produção de Larvas de Tenca.....	27
1.2.4 Produção de Juvenis de Tenca.....	29
1.2.5 Produção Intensiva de Tenca.....	32
1.3 Manjerição – <i>Ocimum basilicum</i> L.	41
1.3.1 Procura	42
1.3.2 Fins	42
1.3.3 Produção.....	43
II. Materiais e Métodos	46
2.1 Construção do Sistema Experimental	46
2.2 Funcionamento dos Sistemas	51
2.3 Espécies Utilizadas.....	53
2.4 Controlo de Parâmetros.....	55
2.5 Análise Estatística	58
III. Resultados	60
4.1 Performance dos Peixes	68
4.2 Performance das Plantas.....	74
4.3 Performance dos Sistemas de Aquaponia	78
4.3.1 Oxigénio	78
4.3.2 Temperatura	79

4.3.3 pH.....	79
4.3.4 Compostos Azotados.....	80
4.3.5 Balanço de outros nutrientes	85
V. Conclusões	87
VI. Bibliografia	92

I. Introdução

1.1 Aquaponia

No sector da produção animal, a Aquacultura é o que apresenta maior crescimento. A segurança dos alimentos destinados ao consumo humano está a tornar-se, cada vez mais, um tema importante a nível global (Blidariu e Grozea, 2011). Estes mesmos autores defendem ainda que a produção sustentável indoor de peixe é a produção do futuro.

Um sistema de Aquacultura de recirculação (RAS – do inglês *Recirculation Aquaculture Systems*) pode ser definido como um sistema de Aquacultura que incorpora o tratamento e reutilização da água, com trocas diárias de menos de 10% do volume total de água (Blidariu e Grozea, 2011). Os sistemas RAS estão desenvolvidos ao ponto de serem usados, hoje em dia, para investigação, produção de espécies ornamentais, produção de peixes nos seus diversos estádios de desenvolvimento, etc. (Masser et al., 1999). Sistemas de Aquacultura de recirculação são já usados há muito tempo por investigadores, com um aumento recente da aplicação deste tipo de sistemas para produção comercial.

O interesse em sistemas RAS deve-se às suas vantagens, como as reduzidas necessidades em termos de área de produção e quantidade de água, o elevado controlo das condições inerentes ao sistema, permitindo uma produção anual com taxas ótimas de crescimento, e a possibilidade de localizar as produções nas proximidades dos principais pontos de comércio (Masser et al., 1999).

Os sistemas de Aquacultura de recirculação combinam os benefícios de baixos consumos de água com a alta produção de biomassa de peixe, mas envolvem algum investimento, uma vez que eletricidade é necessária para as bombas que promovem a circulação da água, por exemplo. A Aquaponia ajuda a reduzir algumas destas despesas, acrescentando ao rendimento final um novo produto (Shete et al., 2013).

De forma a tornar o investimento e os custos de operação viáveis, os peixes são produzidos, em sistemas RAS, em método intensivo, com densidade de cerca de 1 kg por cada 10 L de água (0,5 *pounds/gallon*) (Masser et al., 1999).

Nutrientes dissolvidos acumulam em sistemas de Aquacultura de recirculação, com baixas taxas de substituição de água e altas taxas de alimentação, podendo atingir níveis de nutrientes próximos dos das soluções hidropônicas (Endut et al., 2010). A maioria dos sistemas RAS são desenhados para funcionar com trocas de águas entre 5 e 10% do volume total por dia, impedindo assim a acumulação de nitratos e matéria orgânica dissolvida (Masser et al., 1999).

Hidroponia é um termo que descreve a produção de plantas sem solo, sendo uma técnica em que as plantas crescem, com ou sem meio de suporte, graças aos nutrientes que existem na solução usada para rega (Blidariu e Grozea, 2011).

A Aquaponia é um sistema integrado, que combina sistemas RAS com Hidroponia. Sistemas integrados são sistemas que produzem elementos adicionais, utilizando subprodutos da produção da espécie principal (Rakocy et al., 2006). Em Aquaponia, a cultura secundária – plantas – recebe quase todos os nutrientes que necessita sem custos adicionais, e partilha infraestruturas e custos de operação, aumentando o potencial lucrativo do sistema (Rakocy et al., 2000; Rakocy et al., 2006).

A Aquaponia é um sistema de produção com altos rendimentos, ecologicamente seguro e responsável, em que as excreções dos peixes fornecem uma fonte de nutrientes para as bactérias nitrificantes, que por sua vez convertem os compostos tóxicos para os peixes em nutrientes para as plantas. Os resíduos sólidos mineralizados são também usados para benefício das plantas (Al-Hafedh et al., 2008; Rakocy e Bailey). A produção vegetal é então responsável pela assimilação direta de metabolitos dissolvidos na água e de produtos transformados por bactérias (Donaher et al., 2013), e a remoção destes nutrientes pelas plantas aumenta a qualidade do efluente, e pode melhorar a produção de peixe (Endut et al., 2010).

Um dos principais pontos a favor da Aquaponia é a redução da taxa de renovação de água de um sistema (Rakocy e Bailey). A redução das taxas de renovação de água reduz também os custos de operação de sistemas de Aquaponia, especialmente em locais com climas áridos (Rakocy et al., 2006). Através da criação de um mini ecossistema, a Aquaponia maximiza as produções de peixes e plantas (Al-Hafedh et al., 2008), permitindo que os nutrientes gerados pelos peixes sejam recuperados pelas plantas, reduzindo a descarga de efluentes da Aquacultura para o meio ambiente, minimizando os seus efeitos (Rakocy et al., 2000). A Aquaponia permite ainda que o consumo de

água seja menor que aquele associado a produções tradicionais, quando realizadas em separado, tanto de Aquacultura como de agricultura (Al-Hafedh et al., 2008). A redução substancial, em requerimentos de água e terra, permite que a Aquaponia seja praticada em áreas que não sejam indicadas nem para Aquacultura, nem para agricultura convencional (Rakocy et al., 2000).

Comparando com sistemas de Aquacultura que operam em regime extensivos e semi-intensivos, em que 20-25% da água é trocada diariamente para produzir 8-15 kg de peixe por m³ de água, o sistema de Aquaponia de Wolnicki et al., (2003), produziu 45kg/m³ de água, juntamente com 42 cabeças de alface por m², com um consumo de apenas 1,4% da água total do sistema por dia.

A Aquaponia pode também ser usada como método de tratamento de águas residuais (Rana et al., 2011), desde que precedida por um sistema eficiente de remoção de sólidos e matéria orgânica. A união das duas disciplinas, tratamento de águas e produção agrícola, requer uma mudança do foco de atenção da otimização da degradação, nitrificação, desnitrificação e absorção para a maximização das taxas de reciclagem de azoto e fósforo, e para garantir a qualidade dos produtos resultantes, a biomassa de plantas e a água do efluente tratado (Graber e Junge, 2009). Estes autores sugerem que o tratamento de águas usadas se deve focar em reutilizar o azoto, em vez promover a desnitrificação, que produz azoto atmosférico e se perde em forma de gás, podendo este azoto ser reaproveitado e mantido dentro do sistema.

Tanto a Hidroponia como a Aquacultura têm alguns aspetos negativos: a Hidroponia requer nutrientes para a alimentação das plantas, que normalmente são dispendiosos e requer ainda, periodicamente, a substituição total da solução nutritiva, o que pode afetar o meio envolvente. Os sistemas RAS acumulam nutrientes em demasia, e para impedir que estes atinjam valores críticos, torna-se necessário trocar uma percentagem, de água e repô-la com água “limpa”, o que poderá também levantar problemas ecológicos (Blidariu e Grozea, 2011). A Aquaponia responde a estes problemas, transformando-os em soluções, de uma forma ecológica e inteligente.

1.1.1 Design e funcionamento de sistemas de Aquaponia

A Aquaponia é, então um sistema de recirculação, que integra uma produção animal – peixes – e uma produção vegetal, geralmente hortofrutícolas. Para tal, a água circula

entre os diferentes componentes, com um mínimo de substituição de água, normalmente na ordem dos 1% do volume total por dia.

O *design* de sistemas de Aquaponia é em tudo idêntico ao de sistemas RAS, com a adição do subsistema de Hidroponia, podendo esta adição resultar na remoção do componente de biofiltração e possivelmente no de remoção de sólidos (Rakocy et al., 2006).

Os sistemas de Aquaponia têm elementos fundamentais, e outros elementos que, consoante o *design* e o tipo de produção, podem existir ou estar englobados num dos componentes fundamentais. Desta forma, é fundamental que exista um componente de Aquacultura, onde estarão os animais aquáticos, e um componente hidropónico. É também fundamental que haja movimento de água, pelo que uma bomba é sempre necessária, assim como eletricidade.

Os componentes restantes podem existir, caso o *design* do sistema assim o exija. Um componente específico para biofiltração pode ser essencial se as partes constituintes do subsistema hidropónico não formarem uma área suficiente para colonização de bactérias nitrificantes. Um componente de remoção de sólidos pode ser também essencial caso não exista substrato de cultivo no componente hidropónico, uma vez que estes sólidos têm tendência para aderir às raízes das plantas e interferir com a absorção de água, oxigénio e nutrientes (Rakocy e Bailey). As raízes das plantas, estruturas do componente hidropónico, e a absorção que realizam aumentam a qualidade da água, capturando sólidos e fornecendo área de superfície para as bactérias (Endut et al., 2010).

Em funcionamento, o efluente da Aquacultura flui pelo componente hidropónico, e os metabolitos dos peixes são transformados, por nitrificação e catabolismo bacteriano, e absorvidos pelas plantas, num processo de filtração e purificação da água, que é depois encaminhada de volta para os peixes (Rakocy e Bailey). Desta forma, cria-se um ecossistema simbiótico, em que os peixes produzem os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, e estas participam ativamente no processo de filtração da água para os peixes.

1.1.2 Biofiltração

Um passo fundamental no funcionamento de um sistema RAS, e igualmente num sistema de Aquaponia, é a filtração biológica, ou biofiltração. Este processo tem este nome por ser mediado por organismos vivos, nomeadamente bactérias dos géneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Os biofiltros são incorporados em sistemas RAS para a remoção de compostos azotados tóxicos (Rakocy e Bailey), e a sua capacidade de tratamento está relacionada com a superfície total do meio de filtração, que fornece a área para a colonização de bactérias (Graber e Junge, 2009), apesar de todos os componentes do sistema terem presentes estes grupos de bactérias (Losordo et al., 1998). As reações químicas do processo de nitrificação da amónia são:

1. $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$ (*Nitrosomonas*)
2. $2 \text{NO}_2^- + 1 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$ (*Nitrobacter*)
3. $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
4. $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Certos nutrientes, particularmente azoto, acumulam em sistemas RAS, e podem atingir concentrações prejudiciais para os peixes (Rakocy e Bailey). A quantidade de nitratos produzida num sistema RAS é diretamente proporcional a dois fatores: a densidade de peixes do sistema e o conteúdo proteico da ração (Endut et al., 2010).

O total de amónia-azoto (TAN, do inglês *Total Ammonia-nitrogen*), constituído pela amónia não-ionizada (NH_3) e amónia ionizada (NH_4^+) é um subproduto da metabolização da proteína, por parte dos peixes, presente na ração. O TAN é excretado pelas brânquias aquando da assimilação de alimento e é produzida pela decomposição de matéria orgânica sólida do sistema, realizada por bactérias. A forma não-ionizada da amónia é altamente tóxica para os peixes, e a sua fração na amónia total é determinada pela temperatura e pH da água. A um pH de 7.0, a maioria da amónia encontra-se na sua forma ionizada, enquanto que a um pH de 8.75 até 30% da amónia encontra-se na forma não-ionizada (Losordo et al., 1998). A amónia pode ter diversos efeitos nos peixes, como danos em tecidos, especialmente o fígado e as brânquias, taxas de crescimento reduzidas, perda de resistência a doenças e até a morte (Blidariu e Grozea, 2011).

Os nitritos (NO_2^-) são produto da oxidação da amónia. Bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas*) utilizam amónia como fonte de energia, produzindo nitritos. Apesar de os nitritos não serem tao tóxicos quanto a amónia, provocam danos a espécies aquáticas, e a sua concentração deve ser controlada. Os nitritos unem-se à hemoglobina presente no sangue para produzir meta-hemoglobina. Esta molécula não tem a capacidade de se ligar e transportar oxigénio, sendo este fenómeno mais relevante em certas espécies, podendo levar à morte do animal por falta de oxigénio (Losordo et al., 1998).

As bactérias pertencentes ao género *Nitrobacter*, também presentes em biofiltros, utilizam nitritos para o seu metabolismo, produzindo nitratos (NO_3^-) como subproduto (Losordo et al., 1998). Apesar de os nitratos serem muito menos tóxicos, para os peixes, do que a amónia e os nitritos, acumulam rapidamente em sistemas fechados e podem atingir valores ($> 500\text{mg/L}$) que prejudicam a sua performance. Por esta razão, os sistemas RAS são geralmente desenhados para trocar 5-10% da sua água diariamente, com conseqüências ambientais e económicas negativas (Rakocy e Bailey). Outras diminuições na concentração de nitratos podem ser resultado trocas de águas por processos de limpeza de filtros e outros componentes, ou por desnitrificação (Losordo et al., 1998).

A desnitrificação é um processo anaeróbio, realizando-se apenas na ausência de oxigénio. É um processo em que nitratos são convertidos em azoto atmosférico, perdendo-se pelo ar, sendo usado em sistemas RAS, de forma a controlar os níveis de nitratos. Também em Aquaponia pode ocorrer este processo, em biofiltros usados simultaneamente para converter amónia e como filtro mecânico. O uso de substratos como gravilha para biofiltro, assim como meio de cultura para as plantas, pode eliminar a necessidade de um biofiltro externo, mas estes componentes têm tendência para acumular sólidos e formar agregados. Se estes agregados forem de grandes dimensões, podem alterar o fluxo da água, afetando as plantas, e podem produzir amónia, com a degradação da matéria orgânica que albergam, exigindo uma limpeza regular (Rakocy et al., 2006). Podem também formar zonas anaeróbias, onde ocorre desnitrificação.

O aumento da taxa de remoção de amónia deve-se a um aumento da taxa de nitrificação. A acumulação de nitratos num sistema RAS indica que depois da oxidação da amónia em nitratos, a desnitrificação está limitada. Fatores que podem explicar esta situação são períodos de retenção insuficientes no componente específico para a desnitrificação,

presença de oxigénio dissolvido ou falta de carbono disponível no sistema (Endut et al., 2010). Em Aquaponia, a redução do nível de nitratos ocorre graças à absorção destes por parte das plantas, podendo também ser usada a desnitrificação.

Num sistema com um biofiltro estabelecido, a concentração de amónia na sua forma não-ionizada não deve exceder a concentração de 0.5 ppm, e os nitritos devem permanecer a uma concentração inferior a 1 ppm (Losordo et al., 1998).

Os níveis de amónia devem ser controlados diariamente. Se se registar uma acumulação de amónia no sistema, isto significa que o biofiltro não está a funcionar corretamente, ou que a taxa de alimentação não está estabelecida de acordo com as dimensões e/ou a capacidade de remoção do biofiltro. Os biofiltros podem falhar se as bactérias morrerem ou forem inibidas pela idade, toxicidade causada por químicos, como certos tratamentos, falta de oxigénio, pH muito baixo, entre outros fatores (Masser et al., 1999).

Uma técnica comum em Aquacultura é a pré-ativação do biofiltro, de maneira a evitar picos na concentração de amónia e nitritos no arranque da produção. No trabalho de Lennard e Leonard, (2004), os biofiltros foram pré-ativados 3 semanas antes do início da experiência, com adições diárias de Cloreto de Amónia (NH_4Cl), e os níveis de amónia e nitritos controlados diariamente, de forma a medir o grau de oxidação da amónia em nitritos, aferindo assim o funcionamento do biofiltro, pelo menos na sua fase inicial.

Em Aquaponia, é comum a agregação do componente hidropónico com a função de filtração biológica. Nesse caso, as plantas funcionam como biofiltro, purificando os efluentes, permitindo o reuso da água e eliminando a necessidade de um biofiltro externo (Al-Hafedh et al., 2008).

1.1.3 pH

O pH é determinado pela medição da concentração de iões H^+ , e indica se uma solução é ácida ($\text{pH}<7,0$), básica ($\text{pH}>7,0$) ou neutra ($\text{pH}=7,0$). O pH afeta muitos outros parâmetros de qualidade da água, e a evolução de muitos processos biológicos e químicos. Desta forma, o pH é considerado um importante parâmetro, que deve ser monitorizado e controlado em sistemas RAS e de Aquaponia (Losordo et al., 1998).

Os sistemas RAS e de Aquaponia têm uma taxa de renovação de água baixa e uma taxa

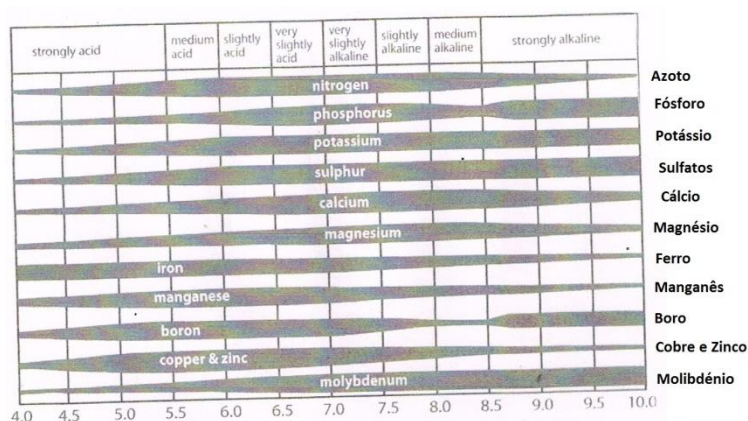


Figura 1 - Efeito do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas.
Retirado de Aquaponic Gardening.

de nitrificação alta, o que leva a uma diminuição do pH (Rakocy e Bailey). O processo de nitrificação produz ácidos, e dióxido de carbono – que reage com a água, formando ácido carbônico – é produzido pelos peixes, (Masser et al., 1999),

pelo que o pH destes sistemas tem tendência para diminuir (Losordo et al., 1998).

Assim, é necessário manipular o pH, de forma a manter este parâmetro dentro dos valores ideais. O pH é mantido no intervalo ótimo através do uso de soluções básicas, como Bicarbonato de Sódio, Carbonato de Cálcio, Hidróxido de Cálcio e Hidróxido de Sódio (Masser et al., 1999). Para Aquaponia, o ideal é usar Hidróxido de Cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – e/ou Hidróxido de Potássio – KOH – suplementando assim o sistema com Cálcio e Potássio (Rakocy e Bailey).

A Aquaponia, como sistema integrado, tem de ter em atenção as necessidades de todos os seus organismos vivos, os peixes, as plantas e as bactérias. Os peixes, de forma geral, toleram pH num intervalo de 6 a 9,5. Mudanças bruscas, de mais de duas unidades, são prejudiciais (Masser et al., 1999). Valores de pH inferiores a 4,5 são perigosos para os peixes (Losordo et al., 1998).

Se por um lado a nitrificação afeta o pH, através da formação de iões H^+ , por outro este processo é também afetado pelo pH. O pH ótimo para o metabolismo de bactérias nitrificantes encontra-se entre 7,0 e 8,0, segundo Masser et al., (1999), enquanto que Rakocy et al., (2006), reconhecem um intervalo mais abrangente, entre 7,0 e 9,0. Valores de pH superiores a 7,0 reduzem a atividade de bactérias nitrificantes (Losordo et al., 1998), e com um pH inferior a 6,0, a ação das bactérias nitrificantes é inibida (Masser et al., 1999).

A maioria das plantas tem um crescimento ótimo com pH entre 5,8 e 6,2, sendo um intervalo aceitável para Hidroponia o de [5,5-6,5] (Tyson et al., 2004). O pH de uma

solução afeta a solubilidade de nutrientes, especialmente de metais vestigiais (em inglês *trace metals*) (Rakocy et al., 2006), como se pode observar na Figura 1. No entanto, valores extremos devem ser evitados quando se procura conciliar peixes, plantas e bactérias, uma vez que condições alcalinas reduzem a solubilidade de certos nutrientes importantes para as plantas, e aumentam a concentração de amónia na sua forma mais tóxica para os peixes, a forma não ionizada (Tyson et al., 2004).

O compromisso entre o bem-estar dos peixes, a eficiência necessária na nitrificação e a disponibilidade de nutrientes para as plantas é alcançado num sistema mantido a um pH próximo de 7,0, de acordo com Rakocy et al., (2006), e entre 6,5 e 7,0, segundo Tyson et al., (2004), que acrescenta ainda que estes valores levam a uma boa absorção de nutrientes pelas plantas, sem que haja acumulação de amónia no seu estado mais nocivo para os peixes. Para tal, devem existir plantas em número suficiente para garantir a absorção dos nutrientes que são constantemente gerados, e um bom fluxo de água nas raízes.

1.1.4 Controlo de Parâmetros

Para um funcionamento correto de um sistema de Aquaponia, é necessário controlar certos parâmetros da água, de forma a garantir uma produção viável nos diferentes componentes do sistema.

Todos os componentes vivos de um sistema de Aquaponia exigem, para sobreviver, oxigénio dissolvido (DO – do inglês *Dissolved Oxygen*) na água. Isto verifica-se para os peixes (ou outros animais), para as plantas e para as bactérias. Desta forma, é necessário um fornecimento contínuo de oxigénio dissolvido para o funcionamento ótimo de um sistema de recirculação. A concentração de oxigénio dissolvido deve ser mantido acima dos 60% de saturação, ou 5 ppm (do inglês *parts per million*), para um crescimento ótimo dos peixes. A concentração de oxigénio dissolvido é também importante para garantir a remoção de amónia e nitritos, uma vez que as bactérias nitrificantes se tornam ineficientes com concentrações de DO inferiores a 2 ppm (Masser et al., 1999).

Sistemas que trabalhem a baixas densidades de peixes podem não necessitar de um fornecimento contínuo de ar comprimido, normalmente administrado através de pedras difusoras, especialmente se existirem plantas aquáticas no sistema que, durante o dia e através da fotossíntese, produzem oxigénio. O funcionamento de um sistema RAS, com

uma densidade de 1 kg por cada 10 Litros de água, geralmente não requer o uso de Oxigénio líquido, reduzindo assim drasticamente os custos de produção (Rakocy et al., 2006).

Por outro lado, a forma como o sistema é conceptualizado e montado tem também influência nestes parâmetros. No trabalho de Lennard e Leonard, (2004), o regime de fluxo contínuo teve também um efeito na concentração de oxigénio dissolvido, uma vez que uma cascata de água estava sempre a correr para dentro dos tanques dos peixes, provocando movimento e arejamento da mesma. Isto sugere que o *design* do sistema de devolução de água para o tanque dos peixes pode ser usado para benefício do sistema.

A temperatura é também um importante fator a ter em consideração, tanto para a produção animal como a produção vegetal. Para a Aquacultura, o controlo da temperatura é fundamental para o crescimento ótimo das espécies, controlando o seu ritmo metabólico. Para a produção vegetal hidropónica, a temperatura da água é mais importante que a temperatura do ar. A melhor temperatura para a produção em Hidroponia é de cerca de 24°C (75°F) (Rakocy et al., 2006).

O controlo da temperatura de um sistema de Aquaponia deve sempre ter em conta os efeitos que esta pode ter nos outros componentes, produção de peixe e biofiltração, especialmente. O metabolismo das bactérias nitrificantes é afetado pela temperatura, assim como a performance dos peixes, pelo que a escolha da espécie de peixe a produzir é um passo fulcral.

1.1.5 Subsistemas de Hidroponia

Uma vez que a Aquaponia engloba duas diferentes técnicas, a Aquacultura e a Hidroponia, torna-se necessário entender as diferentes técnicas de produção usadas em Hidroponia, que podem depois ser integradas em sistemas de Aquaponia. A escolha do subsistema de Hidroponia, para além de ter consequências na necessidade de certos componentes, tem também efeito no rendimento geral de um sistema de Aquaponia (Lennard e Leonard, 2006).

Geralmente, são usadas três técnicas em Hidroponia: com jangada flutuante – também chamada de RAFT, palavra inglesa para jangada – que geralmente usa um material flutuante, como esferovite, NFT – do inglês *Nutrient Film Technique* – em que as raízes

são banhadas por um pequeno filme de água, ou sistemas com substrato de cultura, em regime recíproco (em inglês *ebb-and-flow* ou *flood-and-drain*), retratando o movimento de água que estes sistemas implicam.

A Hidroponia em RAFT, ou jangada flutuante, é uma técnica que consiste em canais de água, normalmente com 30 centímetros de profundidade, na qual flutuam placas de esferovite. Estas placas são furadas, onde se colocam as plantas, cujas raízes se encontram submersas na água. As bactérias nitrificantes que colonizam o fundo e as paredes dos canais, e na face da placa que está em contacto com a água ajudam à nitrificação de compostos azotados, mas os sólidos devem ser removidos eficazmente antes de a água entrar neste sistema hidropónico. Neste sistema, as raízes crescem dentro da solução, e a parte aérea da planta no topo da placa flutuante (Rakocy et al., 2006).

A técnica NFT utiliza tubos de plástico com furos, em que são colocadas as plantas. Uma bomba faz passar, periodicamente, um fino filme de água pelas raízes, permitindo a absorção dos componentes necessários ao crescimento das plantas (Rakocy et al., 2006).

As camas com gravilha, operadas em sistema recíproco, são periodicamente inundadas até ao limite, sendo depois esvaziadas gradualmente, e normalmente por gravidade. São normalmente usadas em sistemas de Aquaponia de menores dimensões, e o movimento recíproco da água garante um arejamento adequado das raízes (Rakocy et al., 2006). Estes sistemas utilizam um substrato de cultivo, que pode ser LECA – do inglês *light expanded clay aggregate* - também comumente usado em Hidroponia (Graber e Junge, 2009), areia – sendo necessário o uso de areia com granulometria elevada, para reduzir o risco de formação de agregados (Rakocy et al., 2006), gravilha, anéis, tubos e esferas de plástico (Losordo et al., 1998) (Losordo et al., 1999), etc..

Apesar de todos estes subsistemas de Hidroponia serem usados com sucesso em produções comerciais, existem diferenças entre eles, e alguns apresentam vantagens que poderão funcionar em benefício de um sistema de Aquaponia. O funcionamento de certos subsistemas pode reduzir ou até mesmo anular a necessidade de componentes extras, como por exemplo para remoção de sólidos ou mesmo biofiltração.

Assim é o caso do subsistema com substrato de cultivo. Este substrato tem potencial para remoção de sólidos, biofiltração e zona de crescimento das raízes das plantas (Tyson et al., 2004), eliminando a necessidade de um biofiltro ou um sistema de remoção de sólidos, com os seus custos aquisição e operação. Num estudo de (Graber e Junge, 2009), a capacidade de nitrificação do filtro, usando LECA como substrato, foi calculada, sendo de 0,26 kg de ração/m³ LECA/ dia, provando ser eficaz, acrescentando um produto de valor ao sistema de recirculação já operacional. No entanto, estes sistemas podem levar à acumulação excessiva de matéria orgânica, formando-se agregados que podem prejudicar o sistema.

Os sistemas RAFT e NFT têm em comum o facto de as raízes estarem em contacto direto com a água. Esta realidade obriga à presença de um componente de remoção de sólidos, uma vez que estes podem aderir às raízes e impedir a absorção por parte das plantas (Rakocy et al., 2006). No entanto, a colonização, por parte de bactérias nitrificantes, do fundo e das paredes dos canais dos tanques RAFT pode permitir que não se use um biofiltro externo. Na técnica NFT, o volume de água e a área de superfície destes sistemas são muito inferiores ao de um sistema RAFT, e a área de colonização é também menor, pelo que estes sistemas requerem, normalmente, a presença de um componente extra para biofiltração (Rakocy et al., 2006).

Os sistemas RAFT são, normalmente, sistemas mais estáveis. Albergam uma grande quantidade de água, permitem uma exposição máxima das raízes à água, e evitam a formação de agregados. As placas flutuantes protegem a água da luz solar e mantêm a sua temperatura estável. No entanto, as raízes estão expostas a organismos que consigam invadir os canais de cultivo, como pequenos peixes que podem depois alimentar-se das raízes, ou *blooms* de zooplâncton, como ostracodes, ou mesmo moluscos, como caracóis aquáticos (Rakocy et al., 2006).

Uma falha no fluxo de água de um sistema NFT pode levar à morte rápida das plantas por falta de água (Rakocy et al., 2006), uma vez que este sistema não tem a capacidade de albergar água. Este problema não se verifica num sistema RAFT, sempre cheio de água, e o substrato usado no outro tipo de sistema é, normalmente, capaz de acumular água, mantendo as raízes húmidas em caso de uma falha no sistema de bombeamento de água.

Em termos de resultados, os subsistemas de Hidroponia podem ser comparados em termos de crescimento dos peixes, crescimento das plantas e níveis de nutrientes do sistema (Lennard e Leonard, 2004). Num estudo de Lennard e Leonard, (2006), foram comparados os três subsistemas hidropónicos acima mencionados. Neste estudo, a produção de alface seguiu a relação (Gravilha > RAFT > NFT). Em termos de remoção de nutrientes foi mais eficaz no subsistema com RAFT, seguindo a relação (RAFT < Gravilha < NFT < Controlo), o subsistema de controlo não tinha plantas. Estes resultados devem-se, provavelmente, à área de contacto entre as raízes e a água do sistema, permitindo que as plantas produzidas em RAFT, sempre em contacto com a água, fossem mais eficazes na remoção de nitratos e fósforo. Neste trabalho, nenhum dos sistemas teve consequências negativas no crescimento ou sobrevivência do peixe. No entanto, os autores referem que este estudo foi realizado em apenas 21 dias, pelo que, para uma produção em que se procura obter peixes de tamanho comercial, estudos de longo curso seriam necessários. No entanto, os autores acreditam que estes resultados são uma indicação da reação dos peixes, que foi claramente positiva, e que o uso de gravilha ou outro meio sólido como substrato de cultivo é mais eficaz na remoção de nitratos.

Num outro trabalho experimental, de Wolnicki e Górný, (1995), foram testados, no componente hidropónico de um sistema de Aquaponia, dois tipos de irrigação: fluxo contínuo – em que o componente hidropónico se encontra sempre cheio de água, ou ciclo *flood-and-drain* – em que o componente hidropónico é enchido de água, e depois esvazia, por gravidade, para o tanque dos peixes, sendo este ciclo repetido ao longo do dia. A alface cresceu mais no subsistema com altura de água constante, que obteve ainda menores valores de nitratos, devido a uma maior absorção por parte das plantas. Isto pode dever-se ao maior tempo de contacto das raízes com a água do sistema.

Para realizar, em Aquaponia, testes ao componente hidropónico, os sistemas devem ser alimentados com a mesma quantidade de ração. Desta forma, em princípio e pelo menos ao início, os tanques devem ter a mesma densidade, exibir Taxas de Conversão de Alimento semelhantes, garantindo que a produção de nutrientes (nitratos e fosfatos) em cada tratamento seja igual (Lennard e Leonard, 2006). Fazendo apenas variar as condições no componente hidropónico, é possível aferir quais os efeitos do seu *design* na produtividade do sistema.

1.1.6 Vantagens e Desvantagens da Aquaponia

Como todos os sistemas de produção animal ou vegetal, a Aquaponia apresenta vantagens e desvantagens. Os autores Celada et al., (2009), relatam, no seu artigo, uma compilação destes pontos a favor e contra esta técnica:

Vantagens:

- Recuperação de nutrientes que seriam, de outra forma, libertados para o meio ambiente, com consequências negativas, como por exemplo a nitrificação de corpos de água naturais, devido ao alto nível de nutrientes do efluente;
- Redução da taxa de renovação de água, reduzindo custos e trabalho;
- Produção de um segundo produto, que recebe a maioria dos nutrientes que necessita sem custos adicionais, aumentando o potencial de rendimentos do sistema;
- O dióxido de carbono libertado da água dos peixes pode aumentar a produção das espécies vegetais, aumentando a taxa de fotossíntese, caso a produção seja num local fechado, como por exemplo uma estufa;
- As plantas participam ativamente na filtração da água e podem, num sistema corretamente dimensionado, eliminar a necessidade de um biofiltro externo, normalmente dispendiosos;
- Num sistema equilibrado, a capacidade máxima de filtração não é nunca atingida, o que reduz os custos de monitorização da qualidade da água, em tempo e em equipamento;
- Os diversos componentes partilham infraestruturas e custos de operação;
- Os nutrientes são constantemente gerados, eliminando o uso de soluções nutritivas comuns em Hidroponia, geralmente dispendiosas.

Desvantagens:

- Necessidade de alto investimento inicial;
- Gastos energéticos;
- Necessidade de mão-de-obra qualificada, devido à sensibilidade do sistema;
- Necessidade de uma área de subsistema hidropónico muito superior à área do subsistema de aquacultura, para obtenção de níveis de nutrientes estáveis. A

relação entre o volume de água para peixes e o volume de substrato de cultivo pode ir de ½ até 1/10, dando um ênfase superior à produção vegetal em relação à aquicultura.

Certas desvantagens podem ser ultrapassadas, ou pelo menos atenuadas. A necessidade de um alto investimento inicial pode ser reduzida caso se usem materiais reciclados, desde madeira a banheiras, piscinas e outros compartimentos que possam ser cheios com água, podendo ser usados como subsistema de aquicultura ou de Hidroponia. O material usado na elaboração do sistema de investigação testado (IBC's – *Intermediate Bulk Container*, Figura 2) é também uma boa solução, e pouco dispendiosa.



Figura 2 - IBC.

Também os gastos energéticos podem ser reduzidos, através do uso de energias renováveis, como painéis solares.

Existem ainda fatores intrinsecamente ligados à Aquaponia que não podem ser vistos como vantagem ou desvantagem, como por exemplo o controlo de pragas e doenças nas plantas. Devido à íntima relação entre os diferentes componentes do sistema, criada pela água circulante, este controlo pode apenas ser feito através de métodos biológicos, e nunca recorrendo ao uso de pesticidas, uma vez que estes podem afetar os peixes. Devem então ser usados métodos integrados de controlo de pragas, recorrendo a organismos auxiliares, como joaninhas, vespas, etc., assim como barreiras físicas, armadilhas com feromonas, armadilhas cromotrópicas, etc. (Rakocy et al., 2006). Se por um lado obriga a um maior conhecimento de técnicas de controlo biológico de pragas, e o desuso de compostos químicos que são conhecidos e eficazes, por outro o produto final é de superior qualidade, e pode ser comercializado como *pesticide-free*. Da mesma forma, muitos químicos usados para tratamento de doenças e parasitas de peixes devem ser evitados, pois podem afetar as bactérias que compõem o biofiltro, e podem ainda ser absorvidas e acumular nas plantas. Desta forma, e apesar de por vezes tornar o controlo de doenças e pragas mais difícil, os produtos de Aquaponia podem ser considerados mais naturais e menos expostos a compostos químicos aplicados sem consideração por muitos produtores, tanto de peixe como de vegetais.

Uma outra vantagem é referida no trabalho de Rakocy et al., (2006), que explica que os produtos vegetais de Aquaponia são muito menos susceptíveis a doenças que provêm do solo, além de que as plantas produzidas em Aquaponia são normalmente mais resistentes do que as produzidas em Hidroponia convencional. Esta resistência acrescida pode ser conferida pela presença de matéria orgânica no sistema, que alberga um largo espectro de microrganismos, alguns deles antagonistas a patogénicos das plantas.

1.1.7 Comparação entre Aquaponia e Hidroponia

A Aquaponia, como técnica que integra a produção de peixes e plantas, alberga o método hidropónico de produção vegetal. No entanto, existem algumas diferenças entre a Hidroponia entendida como método de produção, e a Hidroponia aplicada em Aquaponia, especialmente na proveniência dos nutrientes.

Em Hidroponia, os nutrientes são fornecidos através da dissolução de sais na água, formando uma solução cuja força vai diminuindo ao longo do tempo, até serem dissolvidos mais sais ou a solução substituída. Em contraste, os nutrientes são constantemente gerados num sistema de Aquaponia, através da transformação dos metabolitos dos peixes (Al-Hafedh et al., 2008). Desta forma, o fornecimento de ração, diariamente, aos peixes gera nutrientes a níveis suficientes para o crescimento das plantas (Rakocy et al., 2006).

Como os nutrientes são inseridos no sistema sob a forma de ração para peixes, o seu perfil pode não ser ideal. Quando analisados com maior profundidade, existem certos compostos que se encontram a valores inferiores aos recomendados para Hidroponia. As plantas requerem 13 nutrientes para o seu crescimento normal.

Em sistemas de Aquaponia, os peixes são capazes de gerar 10 destes nutrientes em quantidades suficientes. Todavia, suplementação do sistema com Cálcio, Potássio e Ferro pode ser necessária (Rakocy e Bailey).

Tabela 1 - Micro e Macro nutrientes essenciais para as plantas.

Macro	Micro
N - Azoto	Fe - Ferro
P - Fósforo	Mn - Manganês
K - Potássio	Cu - Cobre
S - Enxofre	Zn - Zinco
Ca - Cálcio	B - Boro
Mg - Magnésio	Cl - Cloreto
	Mo - Molibdénio

A disponibilidade de Fósforo e Potássio num sistema de Aquaponia encontra-se a níveis inferiores àqueles usados em Hidroponia (Al-Hafedh et al., 2008), ainda que as plantas necessitem, para crescimento e produção normais, de mais azoto do que fósforo (Rana et al., 2011).

Num estudo de Graber e Junge, (2009), diferentes espécies de tomate foram comparadas, e obtiveram melhores produções em Aquaponia do que em Hidroponia. No entanto, a falta de potássio levou a uma inferior qualidade do fruto. Uma vez que este composto não faz falta ao peixe, não é normalmente incluído na formulação de rações para peixe, pelo que o sistema se ressentia da sua falta. Potássio pode ser acrescentado ao sistema através do uso de Hidróxido de Potássio, usado para controlo do pH.

Outro componente que geralmente existe em falta em sistemas de Aquaponia é o Ferro. O Ferro proveniente da ração dos peixes é insuficiente para uma produção vegetal saudável, e os sistemas de Aquaponia devem ser suplementados com Ferro quelatado, de forma a que a sua concentração esteja próxima de 2 ppm. O Ferro quelatado possui um composto orgânico – agente quelatante – associado ao ião metálico, que impede que este precipite em solução e se torne acessível para as plantas. O agente quelatante ideal para sistemas de Aquaponia é o DTPA, formando Fe-DTPA, pois é o mais estável com um pH próximo de 7,0 (Rakocy et al., 2006).

Apesar de as plantas removerem grandes quantidades de nitratos, o azoto é um dos principais constituintes da ração, sob a forma de proteínas, e tem tendência a acumular em sistemas de Aquaponia. Níveis altos de nitratos promovem o crescimento vegetativo nas plantas, e beneficiam a produção de plantas com folhas, como alfaces ou manjeriço (Rakocy e Bailey). No entanto, níveis altos de nitratos no sistema prejudicam a formação de frutos (Rakocy et al., 2006). Quando o objetivo é a produção de frutos,

deve-se reduzir o nível de nitratos, através da promoção da desnitrificação. A desnitrificação ocorre em zonas anaeróbias, normalmente formadas por acumulação de sólidos na zona de filtração mecânica, e pode ser regulada frequência da sua limpeza, permitindo a manipulação dos níveis de nitratos de um sistema de Aquaponia (Rakocy e Bailey).

Os nutrientes gerados pelos peixes podem acumular no sistema, mas a sua disponibilidade para as plantas é variável. Assim acontece com diferentes valores de pH na água do sistema. Elementos essenciais, como Boro, Zinco, Cobre, Manganês e Ferro tornam-se menos disponíveis para as plantas com um pH superior a 7,0, ao passo que a solubilidade de compostos como o Cálcio, Molibdénio, Fósforo e Magnésio reduz drasticamente quando numa solução de pH inferior a 6,0. O efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes pode ser observado na Figura 1 (Rakocy et al., 2006).

Os níveis de nutrientes num sistema de Aquaponia devem ser acompanhados regularmente. Uma técnica usada em Hidroponia é a análise da quantidade de iões – os nutrientes têm uma carga – que existem na água, através do Total de Sólidos Dissolvidos. Assim, os nutrientes dissolvidos são medidos coletivamente como Total de Sólidos Dissolvidos (TDS, do inglês *Total Dissolved Solids*) em ppm, ou pela capacidade da solução de conduzir uma corrente elétrica (EC – Eletrocondutividade), expressa em millimhos/cm (mmho/cm). Uma solução hidropónica deve encontrar-se, em termos de TDS, entre os 1000 e os 1500 ppm (1,5-3,5 mmho/cm). Contudo, e uma vez que os nutrientes de um sistema de Aquaponia estão constantemente a ser gerados, resultados de produção aceitáveis poderão ser obtidos com TDS de 200 a 400 ppm, ou 0,3 a 0,6 mmho/cm (Rakocy et al., 2006).

Apesar de existir falta de alguns nutrientes em sistemas de Aquaponia, existem formas de contrariar esta situação. O uso de minhocas produtoras de composto no sistema é benéfico, uma vez que consomem matéria orgânica e restos de raízes mortas, produzindo um vermicomposto com um perfil nutricional mais completo. Outra forma de suplementação, já abordada, é o uso de bases com o nutriente em falta, juntando a suplementação ao controlo do pH. Ferro e outros nutrientes podem ainda ser adicionados ao sistema através de aplicação direta, com um pulverizador, nas folhas (Rakocy et al., 2006).

Uma preocupação com sistemas de Aquaponia é a acumulação excessiva de nutrientes. Altas taxas de alimentação, baixas taxas de renovação de água e plantas em número e/ou área insuficiente podem levar à acumulação de nutrientes a níveis próximos da fitotoxicidade, com TDS superior a 2000 ppm, ou EC superior a 3,5 mmho/cm (Rakocy et al., 2006).

1.1.8 Peixes e Plantas

A escolha das espécies de peixes e plantas a usar num sistema de Aquaponia é importante, e terá efeitos óbvios no rendimento final de um sistema.

Muitos tipos de plantas podem ser cultivados em Aquaponia. O objetivo passa, contudo, por produzir espécies que obtenham altos rendimentos, por unidade de área e por unidade de tempo. Seguindo este critério, ervas para culinária são as mais indicadas, uma vez que têm um crescimento rápido e altos preços no mercado. O lucro apresentado por manjeriço, salsa, coentros, hortelã, etc., é mais alto que o rendimento de espécies de fruto, como tomate. Além disso, com ervas aromáticas é usada praticamente a planta toda, sendo mais normal o contrário com espécies de fruto (Nowosad et al., 2013). A Aquaponia pode ainda ser usada para produção de espécies ornamentais, como flores.

Em termos de investigação, no entanto, a hortícola mais usada é a alface (Lennard e Leonard, 2004; Al-Hadefh et al., 2008; Lennard e Leonard, 2006; Castellani et al., 2009; Rakocy et al., 2000; Rakocy e Bailey), provavelmente por ser uma espécie simples de produzir, com necessidades nutricionais reduzidas e de crescimento rápido. Em investigação foram também já usados o tomate (Graber e Junge, 2009; Rana et al., 2011), o pepino (Graber e Junge, 2009), o espinafre (Donaher et al., 2013; Endut et al., 2010; Shete et al., 2013) e o agrião (Castellani et al., 2009).

Também a escolha de peixe é importante. Se o objetivo é produzir para vender, deve-se previamente estudar o mercado e entender que tipo de produto terá maior probabilidade de ser facilmente escoado. Aqui existe, em semelhança ao que acontece com as plantas, a possibilidade do produtor optar por espécies ornamentais, como a carpa Koi.

A tilápia é a espécie de peixe mais usada em Aquaponia, apesar de alguns sistemas usarem peixe-gato, truta e diferentes espécies de ciprinídeos, como a carpa. No entanto, todas as espécies de água doce que possam ser produzidas semi-intensivamente e/ou

intensivamente têm potencial para serem usadas em Aquaponia (Nowosad et al., 2013). A escolha deverá recair, todavia, em espécies cujo crescimento ótimo se verifique com temperaturas de água altas, de forma a evitar a necessidade de aquecer a água antes de esta entrar no componente hidropônico (as plantas têm um crescimento ótimo por volta dos 24°C) ou de arrefecer a água antes de esta ir para o tanque dos peixes, com uma espécie como a truta, que prefere águas mais frias.

Em publicações relacionadas com Aquaponia, a maioria dos estudos optaram pela produção de tilápia (Al-Hadefh et al., 2008; Donaher et al., 2013; Rakocy et al., 2000; Rakocy e Bailey). Existem, todavia, trabalhos publicados com perca (Graber e Junge, 2009), peixe-gato africano (Endut et al., 2010), pimpão (Shete et al., 2013) e bacalhau-de-murray (*Murray Cod*) alface (Lennard e Leonard, 2004; Lennard e Leonard, 2006).

A Aquaponia pode ainda ser usada para produzir espécies aquáticas que não peixes, como é exemplo o estudo de Castellani et al., (2009), em que conseguiram integrar a produção do camarão-da-amazónia com o cultivo hidropônico de hortaliças, obtendo bons resultados, especialmente na produção de agrião.

Seja qual for a escolha, e de forma a rentabilizar o elevado valor de investimento inicial, os subsistemas de Aquacultura e de Hidroponia de um sistema de Aquaponia devem trabalhar continuamente perto da sua capacidade máxima, sem nunca pôr em causa o bem-estar animal nem a capacidade do sistema de converter os compostos tóxicos em nutrientes para as plantas (Nowosad et al., 2013).

Em conclusão, o conceito da Aquaponia é muito apelativo como um método de produção sustentável, numa altura em que existe uma clara redução dos recursos naturais (Rakocy e Bailey). Atualmente, os sistemas RAS continuam a ter altos custos no que toca a investimento inicial, e custos moderados de operação (Masser et al., 1999). A Hidroponia está dependente do uso de sais como fonte de nutrientes (Blidariu e Grozea, 2011), que são caros e o seu processo de extração danoso ao meio ambiente. Estes dois tipos de produções, se em separado, requerem mais espaço que a produção integrada, em Aquaponia (Rakocy et al., 2006).

Os peixes, as plantas e as bactérias nitrificantes estão dependentes da mesma água para atingirem o seu crescimento ótimo, pelo que os parâmetros de qualidade desta devem

ser favoráveis a estes três tipos de organismos (Tyson et al., 2004), numa simbiose replicada do que acontece em condições naturais.

Comercialmente, a Aquaponia está ainda na sua infância, mas com o crescente desenvolvimento da tecnologia e a otimização dos métodos, tem o potencial para ser uma forma mais eficiente e inteligente, em termos de ocupação de espaços e uso de água, de produzir peixes e plantas (Al-Hafedh et al., 2008).

1.2 Tenca

A tenca (*Tinca tinca* L.) é uma espécie de peixe de água doce, pertencente à ordem Cipriniformes, e à família dos Ciprinídeos. Possuem um pedúnculo caudal profundo, com a barbatana caudal com uma forma mais quadrada, ao invés de todas as outras, mais arredondadas. Possuem geralmente uma coloração verde, sendo mais



Figura 3 - Tenca, *Tinca tinca*.

escuras no dorso e mais douradas no ventre (Figura 3). A forma da cabeça é triangular, com olhos vermelho-laranja e um focinho longo. A sua boca é oblíqua e possui um par de barbelos (Spillman, 1961). Normalmente, a tenca cresce até um tamanho que não excede os 2 kg de peso, e distingue-se de outros ciprinídeos pela sua coloração e pelas pequenas escamas que possui, embebidas na derme. Apresenta também dimorfismo sexual, visível nas barbatanas ventrais (Kocour et al., 2010).

Trata-se de um peixe endémico do Centro e Sul da Europa, tradicionalmente produzido em regime extensivo ou semi-intensivo (Rodriguez et al., 2008; Carral et al., 2003). No entanto, e graças à sua enorme facilidade de adaptação a diversas condições ambientais, a tenca foi aclimatizada em muitas outras partes do Mundo, ocorrendo hoje em águas interiores de todos os continentes, vivendo em lagos, albufeiras e rios, normalmente com baixa profundidade e caudal (Skrzypczak e Mamcarz, 2006). A tenca é uma espécie euritérmica, com uma resistência a variações de temperatura superiores à da carpa comum. Assim, existe a 1600 metros acima do nível do mar, podendo também resistir a temperaturas superiores a 35°C, sendo a sua temperatura aconselhada de produção de 27,5°C, segundo um conjunto de produtores europeus de tenca (Pantazis e

Hatziniholaou, 2011). Em termos de qualidade da água, as suas necessidades são baixas: o pH deve estar entre 6,5 e 8, mas valores letais surgem apenas abaixo de 4,5-5 e acima de 10,8. É ainda uma espécie resistente a baixos níveis de oxigénio dissolvido (FAO).

A tenca é conhecida por ser uma espécie delicada e tímida, com uma elevada tendência para se esconder (Arlinghaus et al., 2003). Num trabalho de Skrzypczak e Mamcarz, (2006), lagos de diferentes dimensões da Polónia e os seus *stocks* de tenca foram analisados. Neste estudo, os lagos mais pequenos, caracterizados por terem menores profundidades médias, foram os que apresentaram maiores populações de tencas. Os autores acreditam que estes lagos são os que melhor representam o habitat de eleição desta espécie. Estes lagos, por serem de baixa profundidade, podem por vezes atingir temperaturas de 30°C, reduzindo muito a concentração de oxigénio na água, situação facilmente tolerável pela tenca (Collazos et al., 1995b).

Nestes lagos, geralmente eutrofizados, as tencas alimentam-se principalmente de plantas aquáticas e macroinvertebrados bênticos (Erdugen e Goksu, 2010). Outros autores defendem que a tenca, no seu estado adulto, é um peixe omnívoro, alimentando-se de pequenos crustáceos, moluscos, larvas aquáticas de insetos e plantas aquáticas. No seu estado juvenil, alimenta-se também de algas (Pantazis e Hatziniholaou, 2011). Um estudo, em que os conteúdos do sistema digestivo de tencas produzidas em policultura foram analisados, indica que os esforços de alimentação destas se concentraram em animais planctónicos de maiores dimensões, como *Daphnia* e *Corixa affinis*. Apresentaram também grandes quantidades de briozoários – animais coloniais de fundo – detritos e restos de plantas indicam que as tencas procuraram intensivamente comida no fundo dos tanques (Adamek et al., 2003).

De forma geral, as fêmeas de tenca só atingem a maturação sexual aos 3-4 anos de idade, por vezes aos 2 anos de idade, ao passo que os machos atingem a maturidade sexual aos 2-3 anos (Steffens, 1995). No entanto, a idade de maturação sexual das tencas depende das características das massas de água em que habitam, considerações ecológicas a estas associadas, e localização geográfica. Num estudo de Rodriguez et al., (2004), numa tentativa de melhor compreensão da idade em que se verifica o primeiro ciclo reprodutivo, a reprodução artificial foi induzida em tencas com um ano de idade, e os seus parâmetros reprodutivos avaliados. Apesar de bem-sucedido, os autores acreditam que esta técnica deve ser rejeitada, devido à baixa produção de ovos por

indivíduo e dificuldades de manuseamento, devido às pequenas dimensões dos animais testados.

1.2.1 Interesse Mundial

Na Europa, a produção de tenca em tanques exteriores existe já desde a Idade Média (Garcia et al., 2011). Nos dias de hoje, a produção de tenca é feita geralmente em policultura, usada complementarmente à carpa comum, *Cyprinus carpio* (Gela et al., 2006). Apesar de em Portugal não existir tradição no consumo de tenca, tal não se aplica a outros países, principalmente europeus. São várias as publicações vindas de países como a Espanha, Polónia e República Checa. No entanto, a globalização da distribuição da tenca levou a uma intensificação da sua produção.

Em Espanha, a tenca é vista como uma espécie de interesse em aquacultura, e é vista como um possível candidato para complementar a produção de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) em produções comerciais (Quirós e Alvariño, 2000). Trata-se de uma espécie amplamente distribuída pelo território espanhol, com alta procura nos mercados locais. Aqui, são aplicadas na produção uma variedade de rações, nomeadamente rações específicas para carpa, salmonídeos, e até espécies de água salgada, como robalo e dourada (Quirós et al., 2003).

Também na República Checa a tenca é considerada uma espécie de interesse económico, sendo as produções e os programas de reprodução controlados e monitorizados por organismos governamentais (Gela et al., 2006), tendo sido iniciado na década de 80 um programa de seleção genética, no *Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology*, ao contrário da maioria das produções, que não usa programas de seleção genética (Kocour et al., 2010). Aqui, a tenca é produzida em regime semi-intensivo ou extensivo, como espécie complementar em policultura, geralmente com outros ciprinídeos, principalmente para exportação para mercados europeus (Gela et al., 2006). A espécie mais usada com a produção de tenca é a carpa comum (*Cyprinus carpio*), com a qual tem uma forte competição por alimento (Pantazis e Hatziniholaou, 2011). De facto, num estudo de Adamek et al., (2003), na República Checa, os autores concluem que os resultados da produção de tenca estão altamente dependentes da densidade de carpas, e pode verificar-se o desaparecimento das tencas em tanques em que as carpas são produzidas em regime intensivo.

Neste mesmo estudo, Adamek et al., (2003), os conteúdos ingeridos por três espécies, produzidas em policultura, foram analisados, de forma a encontrar a verdadeira competição por alimento que existe entre a carpa comum, a tenca e o *Bigmouth buffalo* (*Ictiobus cyprinellus*), todos representantes da família *Cyprinidae*. Os resultados foram que as tencas partilham 60,8% da composição alimentar das carpas e 47,4% da do *Bigmouth buffalo*. No entanto, valores inferiores de comprimento do intestino da tenca em relação às duas outras espécies podem justificar a sua inferior performance.

Apesar de existirem vários exemplos de produções europeias de tenca, em muitas outras regiões do Mundo esta espécie é apreciada, sendo avaliada pelos consumidores como um peixe saboroso (Kamler et al., 2006). Em Israel, na década de 30, foram construídos em grande número tanques de terra exteriores para a produção de carpa. Apenas 10 anos mais tarde, a procura de uma espécie exótica, que pudesse complementar a produção de carpas, levou à introdução da tenca, com testes de policultura realizados entre 1947 e 1949, com o objetivo de aumentar a produção da até então monocultura de carpa comum (Rothbard et al., 2010).

Também na China, o maior produtor de peixes no Mundo, a produção de tencas sofreu grandes evoluções no início do século XXI. Wang et al., (2006), reporta que a tenca foi introduzida na China no ano de 1998, tendo conseguido a primeira propagação artificial em 2000. O número de larvas de tenca produzidas aumentou de 5 milhões no ano 2001, para 20 milhões no ano 2002 e 200 milhões no ano 2003. O número de juvenis com mais de 5 centímetros de comprimento atingiu os 12 milhões em 2002 e 120 milhões em 2003. Uma vez que a pesca desportiva é um *hobby* em crescimento na China, e sendo a tenca é uma espécie facilmente capturável com anzol, os autores deste estudo acreditam que a produção de tencas em lagos, onde depois se poderá pescar deverá ser uma aposta no futuro, assim como a exportação de tencas para países europeus, os Estados Unidos, Austrália e Coreia, onde acreditam existir um enorme potencial para o mercado da tenca. Os autores referem ainda a realização de estudos preliminares, nas províncias de Sichuan, Guangdong e Hubei, que indicam que a tenca pode ser produzida em regime intensivo em jangadas flutuantes.

Os peixes, tanto marinhos como de água doce, são uma importante fonte de ácidos gordos polinsaturados (PUFA – do inglês *polyunsaturated fatty acids*) para a alimentação humana. Apesar de ainda não se conhecerem os efeitos da alimentação no

armazenamento de energia na tenca (De Pedro et al., 2001), sabe-se que regime de alimentação usado na produção terá consequências no perfil de ácidos gordos do produto final, pelo que é possível produzir peixe de aquacultura com altos conteúdos lipídicos no seu músculo (Steffens e Wirth, 2007). Por outro lado, o aumento do preço da farinha e óleo de peixe, e a controvérsia gerada à volta da sustentabilidade do seu uso para a produção de rações está a levar a que muitos produtores se aventurem na produção de espécies de posição inferior na cadeia trófica, como ciprinídeos, que utilizam mais eficazmente a farinha e óleo de peixe presentes na ração (Lovell, 1998). A inclusão de farinhas de origem vegetal, como a soja e linhaça, permitirão melhorar a sustentabilidade da produção, assim como a redução dos custos (Tomás-Vidal et al., 2011).

Neste estudo de Tomás-Vidal et al., (2011), os autores realizaram a substituição de diferentes níveis de proteína de uma ração base, com 40% de proteína, chegando à conclusão de que a inclusão máxima de farinha de soja sem afetar o crescimento foi de 37,5% de substituição da proteína inicial da ração. Num estudo de Turchini et al., (2007), a inclusão de óleo de linhaça e de soja como fonte alternativa de lípidos obteve bons resultados. Neste mesmo estudo, os autores concluíram que, não obstante da dieta usada, os filetes de tenca continham elevados teores de PUFA da série n-3, e uma baixa razão entre ácidos gordos saturados (SFA – do inglês *saturated fatty acids*) e ácidos gordos polinsaturados (ASF/PUFA), pelo que a tenca pode ser considerada um alimento de alta qualidade para alimentação humana.

Se por um lado o crescimento do peixe sempre foi o principal critério em produção de peixe, devido à sua importância económica, certos ramos da aquacultura, mais desenvolvidos, como a produção de salmonídeos, têm já rigorosos *standards* em relação à qualidade e composição corporal do peixe (Wedekind et al., 2003). É aqui que se encontra a possibilidade de uma intensificação da produção de tenca, pois apesar de ser um peixe com um crescimento lento, mesmo com uma alimentação correta e à temperatura ótima (Wolnicki et al., 2003), a sua carne é de elevada qualidade, altamente atrativa para pescadores desportivos e mercados internacionais (Wolnicki et al., 2006).

1.2.2 Fins

Os usos dados a esta espécie não se limitam, no entanto, à alimentação, apesar da elevada qualidade da sua carne. As tenca são compradas, nos mercados, para alimentação, mas também para programas de repovoamento de águas naturais, principalmente para pesca desportiva, e até como peixe ornamental (Arlinghaus et al., 2003). É ainda usada como espécie complementar em sistemas de policultura procurando, com a introdução de uma nova espécie, aumentar o rendimento final de uma produção (Wolnicki et al., 2006; Gela et al., 2010). Autores referem que a tenca é usada para a limpeza de tanques exteriores usados para produção de carpa, e para ajudar à mineralização de sistemas aquáticos de policultura (Erdugan e Goksu, 2011). A tenca é também considerada um bom modelo para o estudo do sistema imunitário de peixes, uma vez que é considerada uma das espécies de ciprinídeos europeus mais primitiva, sem nenhuma estirpe diretamente relacionada entre as espécies modernas de ciprinídeos (Collazos et al., 1995a). Em Espanha, uma estação de aquacultura produtora de ciprinídeos utiliza a tenca como ferramenta educacional para crianças de escolas da região. As instalações são usadas para explicar a estrutura e função dos ecossistemas de água doce, assim como a sua fragilidade. Os resultados dos testes elaborados a crianças, antes e depois da visita, mostram diferenças significativas no conhecimento das crianças, premiando o esforço educativo da instituição “Vegas do Guadiana” (Lo Faso et al., 2006).

A importância global da produção de tenca é baixo, mas é uma espécie vista como promissora para a diversificação da produção em aquacultura e para mercados regionais (Kocour et al., 2010), existindo um interesse em crescimento no controlo do ciclo reprodutivo, de forma a intensificar a sua produção em monocultura (Rodriguez et al., 2008; Carral et al., 2003), desde em regime extensivo a regime intensivo e em sistemas de recirculação (Wedekind et al., 2003).

Com o objetivo de aumentar a produção, técnicas de reprodução artificial têm sido investigadas e, no presente, o objetivo principal passa pela otimização dos sistemas de produção de larvas, até que os peixes atinjam o tamanho suficiente para serem depois transportados para tanques de engorda, geralmente de terra e exteriores, ou para

repopoamento. No entanto, as condições ideais para o início da alimentação exógena não estão ainda estabelecidos, sendo que um dos obstáculos a ultrapassar é a produção de alimento com tamanho adequado às pequenas dimensões da boa, que responda também às necessidades nutricionais dos animais, também ainda muito pouco estudadas (Celada et al., 2008).

A produção de animais com tamanho e resistência suficiente para a passagem para tanques exteriores de terra torna-se, então fundamental. Este tipo de tanque é o preferencial para a fase final de crescimento da tenca uma vez que se trata de uma espécie tão sensível. Esta sensibilidade explica, em parte, a baixa taxa de crescimento em tanques *indoor*, devido a uma maior necessidade de intervenção antropogénica do que em tanque exterior, aumentando o *stress* nos animais. Num estudo de Rennert et al., (2003), os autores referiram que a falta de locais para as tencas se esconderem, nos tanques de produção, levou a um comportamento anormal dos animais. Neste trabalho, formaram-se grupos com alta densidade no fundo dos tanques, as tencas não reagiam no momento de alimentação, ao contrário das carpas, e inclusivamente chegavam a fugir, assustadas, no momento de introdução da ração nos tanques.

Devido ao manuseamento necessário e às condições que se impõem num regime de produção *indoor*, o reduzido número de ensaios relativos à nutrição de tencas não é fora do comum (Arlinghaus et al., 2003), limitando o conhecimento necessário para a formulação de rações específicas para esta espécie (De Pedro et al., 2001).

1.2.3 Produção de Larvas de Tenca

A produção de larvas e juvenis, para transporte e *stock* de tanques exteriores, onde a intervenção humana é menor, torna-se então fundamental. Estes tanques, nos quais é promovido o desenvolvimento de alimento natural, reduzem em grande escala o *stress* a que os peixes estão sujeitos, aumentando os seus índices de performance.

Torna-se, então, essencial o estudo da fase larvar e juvenil da tenca, de maneira a aumentar o número e a qualidade de indivíduos de cada desova. Apesar de não se conhecerem ainda as necessidades nutricionais específicas das larvas de tenca, desde muito cedo se começaram a usar rações comerciais, com granulados de pequenas dimensões, geralmente específicos para outras espécies. As altas mortalidades

observadas e o surgimento de deformações levaram ao início de estudos com suplementação com alimento vivo.

No trabalho de Wolnicki e Górný, (1995), duas rações comerciais foram testadas para a produção de larvas de tenca. Estas duas rações foram fornecidas desde o início do estudo a dois grupos de estudo, outros dois grupos receberam as rações comerciais após 5 dias de alimentação com *nauplii* de Artémia e finalmente dois grupos receberam as rações comerciais após 10 dias de alimentação com *nauplii* de Artémia. Os resultados obtidos demonstram que a alimentação exclusiva com rações comerciais levou a uma mortalidade superior, e que quanto mais longo o período inicial de alimentação com alimento vivo, melhor o crescimento e sobrevivência das larvas.

Num outro estudo, testou-se a influência do período de alimentação das larvas, podendo este ser de 12, 18 ou 24 horas por dia (Wolnicki et al., 2003). Aqui, os resultados foram que a prolongação do período de alimentação deve ser superior a 12 horas por dia, normalmente usado pela facilidade da presença de trabalhadoras na estação. Os autores aconselham o uso de um período de alimentação de 24 horas, e defendem que o aumento do período de alimentação não só melhorou a taxa de crescimento e a sobrevivência, como também provocou uma melhoria significativa no fator de condição das larvas. Espera-se que peixes com valores superiores de fator de condição tenham melhores performances em lagos e tanques exteriores do que indivíduos mais pequenos e mais magros, com menores valores de fator de condição.

Também o período de desmame de alimento vivo para alimento inerte foi testado para larvas de tenca, por Celada et al., (2008). Neste caso, as larvas alimentadas com *nauplii* em excesso, grupo controlo, tiveram um crescimento superior ao das larvas com dois períodos de desmame, mas foram também expostas a uma quantidade de comida 6 vezes superior aos outros dois grupos, que obtiveram também altas taxas de sobrevivência, sem diferenças significativas em relação ao grupo controlo. Numa perspectiva de aquacultura, escolhas devem ser feitas através de considerações que visam o equilíbrio, de um lado encontra-se a dieta, a gestão da alimentação e o crescimento dos peixes, do outro o trabalho e os custos associados.

Uma forma de reduzir o trabalho e os custos seria oferecer cistos de Artémia descapsulados, em vez de *nauplii*. Desta forma, apenas se torna necessário fazer a descapsulação química dos cistos. Num artigo de Garcia et al., (2011), testou-se o efeito

de alimentação de larvas de tenca com cistos de *Artémia*, comparando com o efeito de alimentação com *nauplii*. As conclusões dos autores foram que estes cistos, depois de descapsulados, são uma boa ração de iniciação, permitindo melhores taxas de crescimento que a alimentação com alimento vivo, neste caso *nauplii* de *Artémia*. Estes cistos podem ser usados frescos (sem tratamento) ou depois de um tratamento de salmoura desde o primeiro dia de alimentação exógena, enquanto que cistos previamente desidratados, como forma de os conservar por períodos mais longos de tempo após descapsulação, podem ser usados após 7 dias de alimentação com *nauplii*.

Celada et al., (2013), realizou ainda um estudo em que foram comparados dois tipos de cistos de *Artémia*, um com alta taxa de eclosão, mais caro, e outro com baixa taxa de eclosão, e com um preço de mercado mais baixo. A análise dos resultados indica que os cistos da marca com alta taxa de eclosão podem ser usados desde o primeiro dia de alimentação exógena, depois de descapsulados. Os cistos da marca com baixa taxa de eclosão podem também ser usados, depois da descapsulação, mas apenas após 2-7 dias de alimentação com *nauplii*.

Este tipo de estudos permitem, hoje, a poupança de custos e ao mesmo tempo aumentar o número e a qualidade de larvas de tencas produzidas, um passo essencial para o desenvolvimento da aquacultura desta espécie. A análise dos artigos expostos indica que uma situação ideal passaria pelo uso de alimento vivo, pelo menos numa primeira fase de alimentação exógena, mas que estes podem depois ser substituídos por cistos descapsulados, poupando trabalho e tempo aos responsáveis. Celada et al., (2007a), concluíram no seu estudo que uma vez que as larvas conseguiram perseguir e ingerir *nauplii* de *Artémia* desde o primeiro dia de alimentação exógena, este alimento vivo é adequado. Uma situação em que não vale a pena poupar será nas horas de alimentação, uma vez que os resultados indicam que o período de alimentação se deve estender às 24 horas do dia, optando por um sistema automático de oferta de comida às larvas durante as horas em que não se encontrem responsáveis nas instalações.

1.2.4 Produção de Juvenis de Tenca

O fator limitante mais expressivo na produção das fases pós-larva de tenca é a falta de uma ração de iniciação que vá de encontro às necessidades nutricionais da tenca em fase

juvenil (Wolnicki et al., 2006). De fato, Quirós et al., (2003) relata a inexistência de rações formuladas especificamente para a tenca.

No estudo de Wolnicki et al., (2006), quatro rações de iniciação comerciais foram testadas, para produção de juvenis de tenca. Todas as rações testadas obtiveram altas taxas de sobrevivência (99-100%), o que nem sempre se verifica para esta espécie. No entanto, a conclusão mais importante sublinhar, na opinião dos autores, é a ocorrência de um elevado número de deformações corporais, visíveis exteriormente, verificadas nos grupos com três destas rações. A escala da ocorrência deste fenómeno, altamente indesejável para produtores, na produção de juvenis de tenca alimentados exclusivamente ou quase com rações comerciais parece subestimado. A razão para o aumento de número destes casos continua incerto, apesar da informação existente apontar para os lípidos da ração, a sua origem e qualidade, como fatores chave. Finalmente, a ração que não apresentou qualquer caso de deformações (Asta) é a única cuja composição química se adequa às necessidades nutricionais da tenca no estado juvenil. Esta ração pode então ser usada, de forma segura e eficaz, para a obtenção de peixes com fator de condição e/ou composição corporal semelhantes às de uma tenca selvagem.

Em semelhança a estudos realizados com o estado larvar da tenca, já reportados neste documento, também a suplementação de rações comerciais com alimento vivo foi testada com juvenis. No estudo de Celada et al., (2009), as conclusões foram de que algumas desvantagens (alta mortalidade, crescimento muito lento, deformações corporais) de alimentar de juvenis de tenca estritamente com rações comerciais, originalmente formuladas para outras espécies, podem ser ultrapassadas através da suplementação com *nauplii* de Artémia. No entanto, os autores referem que os juvenis estavam, à data de experiência, já habituados a rações comerciais, além de que apresentavam uma idade na qual provavelmente já não necessitam de alimento vivo. Parece então que os maiores problemas da produção de juvenis se encontram nas fases iniciais do crescimento, em que a disponibilidade de alimento vivo pode ser crítica para o desenvolvimento normal dos peixes.

Num outro estudo sobre a suplementação de rações comerciais com cistos ou *nauplii* de Artémia, realizado por Garcia et al., (2010), o grupo de peixes com menor taxa de suplementação (300 cistos por grama de biomassa de peixe, ao invés de 1800 cistos ou

1800 *nauplii* por grama de biomassa de peixe) teve taxas de crescimento e fator de condição significativamente inferiores aos outros dois grupos, confirmando que, tal como no desenvolvimento larvar, os cistos de *Artémia* podem servir como suplemento para uma ração comercial, com melhores taxas de crescimento que o uso de *nauplii*, permitindo assim reduzir custos e trabalho.

Finalmente, e num outro ensaio com suplementação de rações comerciais, a quantidade de lípidos da ração foi também analisada, por Wolnicki et al., (2003). As conclusões foram que rações de iniciação com altos níveis de gorduras (neste caso foram de 10%), quando usadas como alimento único e com temperaturas da água elevadas, produzem indivíduos mais arredondados e pesados, com valores de fator de condição significativamente mais elevados que peixes alimentados exclusivamente alimento natural ou com suplementos naturais. O grupo que apresentou maior valor de fator de condição foi o grupo alimentado exclusivamente ração comercial, com valores significativamente superiores aos restantes grupos. Este fato levou os autores a sugerir que a suplementação com alimento natural pode melhorar a utilização da gordura presente na ração, sendo provavelmente este efeito mais pronunciado quanto menor for o teor de gordura do alimento natural e maior a quantidade de alimento natural colocado à disposição dos peixes.

Uma vez que não existem rações específicas para a produção de tenca, os produtos recorrem naturalmente a rações formuladas para outras espécies. Num estudo de comparação entre 4 rações, de Quirós et al., (2003), duas rações para truta (*trout starter* e *trout first feeding*), uma ração para enguia e uma ração para robalo foram testadas. Os seus resultados indicam que as rações para enguia e robalo podem ser usadas como alimento único para a engorda de juvenis, ao passo que as rações para salmonídeos produziram baixas taxas de crescimento e elevadas taxas de mortalidade. Os autores referem ainda que as rações de salmonídeos foram menos bem aceites que as restantes, resultando em menores taxas de ingestão e maior desperdício, pelo que a palatabilidade da ração é também importante.

A taxa de alimentação ideal para juvenis foi abordada por Kamler et al., (2006), concluindo que quantidades excessivas de ração comercial resultaram em crescimento retardado, aumento de deformações corporais desfavoráveis ao comércio, índices energéticos e bioquímicos abaixo do ideal e elevados custos na ração, fatos que

argumentam contra a alimentação de juvenis de tenca em excesso. Desta forma, doses diárias de ração comercial não superiores a 2,5% da biomassa do peixe são recomendados, para juvenis entre 130 e 200 dias após eclosão.

A existência de poucos estudos de digestibilidade com juvenis de tenca deve-se à sensibilidade conhecida desta espécie, muito afetada pela intervenção humana. Num ensaio de digestibilidade de Arlinghaus et al., (2003), os autores referem que apesar de se ter mantido as perturbações exógenas a um mínimo indispensável, as tencas demonstraram, durante o período experimental, baixas taxas de ingestão de alimento e performance, sendo que alguns peixes não cresceram, e outros chegaram inclusivamente a perder peso. Os autores aconselham, de forma a melhorar o trabalho experimental:

- As tencas usadas para investigação devem ser aclimatizadas às instalações e dieta experimental, por um período de várias semanas ou meses;
- As tencas não devem ser manipuladas algum tempo antes e durante o trabalho experimental;
- A taxa de ingestão poderá provavelmente ser melhorada se forem usadas densidades superiores a 6 kg/m³.

1.2.5 Produção Intensiva de Tenca

O baixo crescimento da espécie em lagos e tanques exteriores parece ser a razão da existência de inúmeros trabalhos que visam a aceleração do crescimento de larvas e juvenis em sistemas com condições controladas (Wolnicki et al., 2003). Os objetivos destes trabalhos são determinar as condições ideais para o crescimento e sobrevivência da espécie, assim como definir métodos indicados de produção em sistemas *indoor* e/ou de recirculação (Zakes et al., 2006).

A produção de peixe nestes sistemas, devido ao custo e trabalho associados, é apenas economicamente lucrativa se a densidade for alta, e o regime de produção intensivo (Zakes et al., 2006), sendo esta técnica vista, para a produção de juvenis, como uma alternativa viável à produção tradicional em tanques exteriores (Wolnicki et al., 2003). Nestes sistemas, torna-se essencial o controlo de todas as variáveis relativas à produção, como a temperatura, tipo e regime de alimentação, concentração de oxigénio dissolvido, acumulação de produtos de excreção, densidade, substrato e luz, entre outras.

Num estudo de Pantazis e Hatziniholaou, (2011), o nível ótimo de alimentação foi averiguado, a uma temperatura constante de 27,5°C. Este valor de temperatura foi escolhido após discussões com produtores europeus de tenca, tendo sido considerada a temperatura ótima para produção de tencas sub-adultas. Dos níveis de alimentação testados (0.5, 1 ou 2 % da biomassa de peixe por dia), aquele que obteve melhores resultados foi o de 2 % da biomassa de peixe por dia, com melhores resultados finais em termos de crescimento, assim como melhores índices de performance durante os primeiros 32 dias de experiência. Num segundo teste, a taxa de 1% atingiu melhores índices de performance, assim como níveis superiores de proteína e lípidos na carcaça. Estes resultados vão de encontro aos de Kamler et al., (2006), e indicam que a alimentação de 1% da biomassa de peixe por dia será a taxa indicada para tencas sub-adultas.

Num teste referente à quantidade de lípidos ideal presente na ração de Zakes et al., (2010), as dietas usadas tinham uma suplementação de 42% com óleo vegetais, neste estudo de colza, linhaça e amendoim. A importância deste estudo torna-se evidente com o comentário dos autores, que diz que a quantidade e qualidade de lípidos na dieta de tencas não tinham ainda sido estudadas. Os seus resultados foram que as diferentes dietas não afetaram significativamente a taxa de crescimento, fator de condição ou taxa de conversão de ração (FCR – do inglês *feed conversion ratio*), tendo sido semelhantes aos da ração controlo, sem suplementação com óleos vegetais.

Os resultados indicam assim que não houve qualquer influência da substituição parcial de óleo de peixe por óleo vegetal, em termos de índices de performance, nem na retenção de nutrientes ou na composição do corpo dos animais testados. Os autores referem ainda que é importante salientar que a origem de ácidos gordos não afetou o perfil de ácidos gordos nos filetes analisados (incluindo o *ratio* n-3/n-6). A ração inicial, que foi depois suplementada com óleos vegetais, continha já um conteúdo de ácidos gordos, provenientes do óleo de peixe usado na sua formulação original, e os resultados sugerem que os ácidos gordos polinsaturados já existentes na ração inicial corresponderam às necessidades nutricionais da espécie. Desta forma, o potencial efeito dos óleos vegetais poderá estar mascarado, e estudos em que estes são a fonte única de lípidos da ração deverão ser realizados.

Também a capacidade de metabolização de compostos presentes na ração foi testada, de forma a entender qual o componente mais indicado como fonte de energia. Num estudo de De Pedro et al., (2001), as melhores taxas de crescimento foram obtidas pelos grupos alimentados com a ração controlo (35% proteína, 10% lípidos, 35% hidratos de carbono) e a ração rica em proteína (50% proteína, 10% lípidos, 17,9% hidratos de carbono). A dieta rica em hidratos de carbono (17,5% proteína, 10% lípidos, 55% hidratos de carbono) foi a que produziu piores resultados em termos de performance, nos parâmetros SGR – taxa de crescimento específico, do inglês *specific growth rate*, ganho de peso corporal, índice nutricional e índice hepatossomático.

Os resultados negativos obtidos nos grupos alimentados com a ração rica em hidratos de carbono indicam que a tenca não tolera níveis altos deste componente, o que pode ser justificado pelo fato de a alimentação natural da espécie não possuir muitos hidratos de carbono, pelo que a dificuldade na sua digestão e metabolização é aceitável. Os resultados sugerem ainda que, para esta espécie, níveis de proteína na dieta inferiores a 35% não são recomendáveis, e que um aumento do teor proteico de 35 para 50% não produziu melhores taxas de crescimento.

Ao estudar o mecanismo de excreção de amónia no peixe-gato Africano, Pruszyński, (2003), concluiu que a taxa de excreção de amónia está mais intimamente relacionada com a magnitude de ingestão de proteína diária do que exatamente com o nível de proteína da ração em si, testando diferentes rações e diferentes taxas de alimentação. A digestão proteica produz compostos azotados, assim como dióxido de carbono e água. Em teleósteos, estes metabolitos azotados surgem normalmente sob a forma de amónia, pelo que os teleósteos são chamados de amoniotélicos (Moyle e Cech, 2004). Como foi já referido, uma produção intensiva terá sempre de controlar os parâmetros do sistema, para que neste não se excedam os valores críticos de acumulação de amónia e depleção de oxigénio dissolvido na água. Nowosad et al., (2013), referem que existe uma necessidade de maior informação em relação à quantidade de amónia excretada consoante os níveis de proteína na ração, de maneira a atingir uma relação verdadeira entre a quantidade de ração oferecida, a densidade de produção e a capacidade de filtração biológica, de forma a atingir a eficácia e produtividade máximas de um sistema de recirculação.

Zakes et al., (2006), realizaram um estudo para encontrar a relação entre a quantidade de ração oferecida, o consumo de oxigénio e a amónia excretada pela tenca, concluindo que o consumo de oxigénio e a excreção de amónia aumentaram com o aumento da quantidade de ração oferecida.

Numa outra parte do mesmo trabalho experimental, o consumo de oxigénio e a excreção de amónia foram comparados, entre peixes alimentados e não alimentados. Aqui, ficou confirmado o impacto significativo que a alimentação tem na taxa metabólica das tencas. Tencas alimentadas consumiram quase o dobro de oxigénio e excretaram mais do que 9 vezes a quantidade de amónia que os peixes privados de alimento. Desta forma, a privação de alimentação tem um efeito superior na excreção de amónia que no consumo de oxigénio, uma vez que os peixes, sendo amoniotélicos, excretam amónia proveniente do catabolismo de proteínas endógenas e exógenas. Um peixe privado de comida excretará apenas proteínas endógenas, em muito menor quantidade que um peixe com alimentação normal.

Neste mesmo trabalho, a frequência de alimentação (uma vez por dia, três vezes por dia ou alimentação contínua) não teve um impacto significativo no consumo médio de oxigénio. Teve, no entanto, um impacto significativo nos valores médios diários de produção de amónia, que aumentou com o aumento da frequência de refeições. Desta forma, aumentar a frequência da alimentação permite que os valores de excreção de amónia não tenham uma grande flutuação, ao contrário do que acontece com apenas uma alimentação diária, que é seguida por um pico na excreção de amónia, permitindo uma estabilização tanto no consumo de oxigénio como na excreção de amónia, minimizando o risco de qualquer um dos fatores atingir concentrações críticas. Estes resultados são antagónicos, todavia, aos obtidos por Nowosad et al., (2013), num trabalho semelhante realizado com juvenis de tenca, em que não se obtiveram resultados significativamente diferentes entre grupos de peixes alimentados até à saciação e grupos de peixes privados de alimento. Estes autores concluíram ainda que, durante o período de experiência, a quantidade de amónia excretada por unidade de peso não dependeu do tamanho do peixe, e que a biomassa da produção foi o único fator que afetou a concentração de amónia na água.

Em 2006, Ostaszewska et al., (2006), publicaram um artigo em que analisaram cortes histológicos de estruturas do sistema digestivo de tencas privadas de alimento, que

mostram que até uma privação de alimento de apenas dois dias é suficiente para provocar mudanças histopatológicas no epitélio intestinal, fígado e estrutura do pâncreas, indicando que este fator deve ser tido em consideração quando se realizam privações de comida de curtos espaços de tempo, geralmente consideradas seguras, referindo ainda que este efeito parece ser menos pronunciado em animais alimentados com alimento natural.

Em relação às condições de produção intensiva de tenca, a densidade usada é um fator fundamental, influenciando diretamente a produtividade (Celada et al., 2007b). No entanto, estes mesmos autores referem que estudos comparativos dos efeitos da densidade em juvenis de tenca não estão ainda disponíveis. No seu estudo de 2007, a densidade de juvenis de tenca aumentou de 4 para 16,53 g/L, valores dentro do intervalo recomendado para outras espécies, sem efeitos nocivos na sobrevivência nem no crescimento. Isto significa que a densidade crítica, que resulta em mortalidades e/ou redução drástica no crescimento, não foi atingida. Os resultados sugerem ainda que a produção intensiva de juvenis de tenca pode ser realizada a densidades ainda superiores, se certos obstáculos forem ultrapassados, como a falta de oxigênio, alta concentração de compostos tóxicos e microrganismos, acumulação de excrementos e comida não ingerida.

O substrato é também fundamental para a vida desta espécie. Segundo Moreno Rondón et al., (2003), a influência do substrato tem três facetas especialmente importantes: reprodução, refúgio e alimentação. O substrato afeta a existência de alimento natural para as tencas, como animais planctônicos e plantas que se encontram no fundo, onde o esforço de alimentação da tenca se concentra (Adamek et al., 2003). O tipo de substrato permitirá também a presença de vegetação, que funciona como refúgio (Moreno Rondón et al., 2003), mas que é também importante para que as tencas desovem, uma vez que estas colam os seus ovos às plantas, pelo que a sua presença é recomendada, seja natural ou artificial, em tanques de desova (Steffens, 1995).

Os resultados do estudo de Moreno Rondón et al., (2003), mostram que as tencas têm uma clara preferência por substratos de lama e vegetação, em oposição a substratos de areia ou cimento, o que é consistente com o seu habitat natural.

O substrato de lama, preferido pelas tencas perante as outras escolhas, traz duas vantagens que explicam a sua preferência, até perante um substrato com vegetação:

- Fundos lamacentos significam uma maior turbidez da água, com menor penetração de luz;
- Uma grande parte da sua dieta é formada por comunidades zoobentônicas, que normalmente habitam este tipo de fundos.

A luz é também um fator de grande influência, uma vez que se trata de uma espécie de hábitos noturnos. Num trabalho experimental de Celada et al., (2007a), luzes de diferentes comprimentos de onda, e por isso de diferentes cores, foram testadas, de maneira a aferir a resposta comportamental da tenca.

Quando expostos a luz vermelha, esta provoca padrões de comportamento semelhantes ao tratamento “preto” – sem luz – com os peixes a apresentar atividade locomotora durante todo o ciclo de 24h. Os autores acreditam que isto significa que os peixes podem não ser capazes de ver a luz vermelha, ou que a luz incidente que atinge a água pode não ser de intensidade suficiente, o que produz padrões de comportamento semelhantes aos causados pela escuridão. Outros autores depararam-se com resultados semelhantes, classificando a tenca como uma espécie estritamente noturna (Herrero et al., 2005; Steffens, 1995).

Owen et al., (2010), referem, num estudo também referente ao efeito da luz nesta espécie, que o cortisol é o principal glucocorticoide nos peixes, razão pela qual é usado para analisar a resposta fisiológica ao *stress*, dando uso à sua fácil deteção no plasma sanguíneo. Desta forma, os peixes mantidos no tratamento “preto” – total escuridão, em semelhança ao artigo de Celada et al., (2007a), tinham concentrações inferiores de cortisol no sangue que peixes expostos ao tratamento “branco”, com uma luz de aquário normal. Assim, será possível que as tencas sejam sujeitas a um maior *stress* se a luz normal de uma produção for usada. Estes dados vão de acordo ao substrato preferencialmente escolhido pelas tencas, de fundo lamacento, onde a turbidez da água é maior e a penetração de luz menor. Os autores Owen et al., (2010), concluem ainda que a manipulação da cor da luz e do fotoperíodo pode aumentar a actividade em juvenis de tenca, e ao mesmo tempo reduzir os níveis de *stress*, informação que pode ser importante para produtores desta espécie, uma vez que menor *stress* pode resultar em melhor performance dos peixes.

A luz e o substrato representam, então, dois fatores de elevada importância para a tenca. Na tentativa de averiguar qual dos dois fatores tem maior influência para esta espécie,

Gallardo et al., (2006), realizaram um estudo em que expuseram grupos de tencas a diferentes combinações de substrato e intensidade de luz. O objetivo será o de mais tarde reproduzir, em condições controladas, o habitat preferido das tencas, de forma a aumentar os seus índices de produtividade.

As conclusões foram que a luz tem uma maior influência na escolha o habitat que o tipo de substrato. A luz, na verdade, tem um efeito tão forte sobre esta espécie que intensidades baixas, como 40 lux (o mínimo para se poder observar os animais) levam à concentração dos peixes no substrato menos preferido, sendo esta intensidade luminosa suficiente para inibir a actividade exploratória dos peixes. Estes resultados sugerem que:

- As tencas preferem zonas litorais com baixas intensidades luminosas, protegidas pela sombra de plantas nas margens e/ou a turbidez da água no fundo de lama;
- Existe a possibilidade de migrações diárias nesta espécie: durante a noite, os peixes movem-se para as margens, com vegetação litoral, durante o dia, movem-se para zonas mais fundas, onde a intensidade de luz é baixa.

O conhecimento dos ritmos biológicos da tenca é fundamental. Num estudo de 2005, Herrero et al., procuraram estudar os mecanismos que estimulam o comportamento da tenca. Os autores referem que apesar de os ritmos de alimentação da tenca não terem sido ainda descritos, o seu comportamento noturno pode levar à ideia que esta espécie prefere alimentar-se durante a noite. Todavia, as refeições oferecidas a tencas produzidas em condições controladas coincidem normalmente com o horário de trabalho dos operadores, durante o dia.

O estudo de Herrero et al., (2005), explora os ritmos diários de alimentação nas tencas, em resposta a diferentes horários de alimentação, durante o dia e/ou noite, e o papel da presença de alimento na sincronização do seu ritmo circadiano, de forma a elucidar o comportamento de alimentação e os mecanismos endógenos que regem o ritmo biológico numa espécie com comportamento estritamente noturno, tendo sido replicado em condições controladas – *indoor* – e em tanques de terra exteriores.

Uma das técnicas usadas foi o recurso a alimentadores automáticos, ativados pelas tencas. Estas ativaram os alimentadores para obterem uma dose diária equivalente a 3,63% do seu peso corporal. O grupo *outdoor*, ao contrário do grupo *indoor*, obteve um padrão estritamente noturno, sem picos no pôr e nascer do sol.

Numa outra fase do trabalho, os autores procuraram diferenças na capacidade de antecipação da refeição, entre peixes alimentados durante o dia ou durante a noite. As conclusões foram:

- Os ritmos de actividade locomotora e alimentação estavam sincronizados;
- Peixes que foram alimentados apenas durante o dia reagiram à apresentação de comida, saindo do seu abrigo para comer um pouco e retornando depois ao seu abrigo, sem mais actividade locomotora até à escuridão. No entanto, estes peixes não demonstraram ação de antecipação à refeição, que terá sido inibida pela luz;
- Peixes alimentados durante a noite foram capazes de antecipar a refeição, apesar de no escuro;
- Não existiram diferenças significativas nem na taxa de ingestão, nem no crescimento de peixes alimentados durante o dia e durante a noite.

Assim, os peixes que foram alimentados durante o dia tinham uma primeira reação à apresentação de comida, mas esperavam pelo escuro para se alimentarem. Isto significa que a comida ficou na água durante este tempo, perdendo características nutricionais importantes, e contribuindo para uma diminuição da qualidade da água. O fato de os peixes, com alimentadores automáticos, apenas se alimentarem à noite indica duas coisas:

1. De forma a reduzir o *stress* nos animais, e a evitar uma desregulação dos ritmos biológicos naturais e inerentes a esta espécie, tencas produzidas em condições intensivas devem ser apenas alimentadas durante a noite;
2. O uso de alimentadores automáticos é viável nesta espécie, apesar do fato de que a ração que os peixes requisitaram ser superior à taxa de alimentação recomendada (Pantazis e Hatziniholaou, 2011), e pode ser uma solução para evitar desperdícios de alimento.

Outros estudos realizados com tenca podem ser importantes para a produção intensiva desta espécie em condições controladas. Em 2003, Myszkowski et al., referem que o 2-fenoxietanol pode ser usado como anestético, segura e eficazmente, com um vasto leque de aplicações, desde anestesia leve para transferência entre tanques, dentro de uma instalação, até anestesia mais profunda, para transporte de longa duração. A concentração de anestesia recomendada para anestesia leve para tencas entre 40 e 171 dias a uma temperatura de 25°C é de 0,5 g/dm³.

Com o avançar da tecnologia genética, e o aumento de conhecimento da sua potencial aplicação em aquacultura, também o estudo da performance de indivíduos triploides foi estudada (Butchova et al., 2003; Gela et al., 2010; Flajshans et al., 2010), todos com resultados semelhantes, de que indivíduos triploides apresentam melhores taxas de crescimento.

Butchova et al., (2003), referem que estas melhorias na taxa de crescimento de indivíduos triploides se podem explicar pelo baixo grau de desenvolvimento das gónadas que os triploides exibem. Desta forma, nutrientes e energia da alimentação, acumuladas em tecidos somáticos, manifestam-se num crescimento acelerado de indivíduos triploides durante o período adulto de indivíduos diploides.

Gela et al., (2010), demonstraram as vantagens na performance de tencas triploides na mesma idade que tencas diploides com tamanho comercial (250-300 g de peso corporal, 4 anos de idade) com as gónadas totalmente desenvolvidas. Os autores referem ainda que a alta taxa de mortalidade de ovos durante a incubação (até 90%) após o choque frio usado para induzir a triploidia é um sério obstáculo ao uso a larga escala desta técnica para a tenca.

Flajshans et al., (2010), explicam que, em semelhança ao exemplo anterior, o choque frio é a melhor técnica para indução de triploidia em tenca, usando-se uma temperatura de 0-4°C, seguindo-se uma temperatura de 20°C na incubação, iniciada 5 minutos após a ativação dos gâmetas. Estes autores referem ainda que triploides espontâneos podem ocorrer devido a um desenvolvimento continuado do oócito após a ovulação (*post-ovulatory ageing*) *in vitro*. No entanto, o potencial do seu uso em aquacultura é também baixo, uma vez que este fenómeno está associado a um declínio na taxa de fertilização.

Em termos de performance, estes mesmo autores retratam a tenca triploide como tendo melhores taxas de crescimento, melhores valores de composição nutricional, valores inferiores de índice gonado somático e melhor qualidade da carne, com mais matéria seca e mais gordura na carne do que animais diploides, quando produzidos até depois da maturação sexual. Por outro lado, triploides aparentam ter maior quantidade de gordura abdominal, reduzindo o seu valor final, e uma menor quantidade de PUFA's n-3 e n-6 na sua carne.

1.3 Manjericão – *Ocimum basilicum* L.

Há mais de dois milénios Hipócrates, considerado o “Pai da Medicina”, mencionou cerca de 400 plantas medicinais e proferiu: “Que a comida seja o vosso remédio, e que o vosso remédio seja a comida” – traduzido do inglês “*Let food be your medicine, and let your medicine be food*”. As plantas, para além de alimento, roupa e refúgio, proporcionaram ao ser humano os medicamentos necessários desde o início da civilização (Malik et al., 2011).

O manjericão doce (*Ocimum basilicum* L.) (Figura 4) está incluído na família



Figura 4 - Manjericão, *Ocimum basilicum*.

Laminaceae, que tem cerca de 3500 espécies, distribuídas por 210 géneros, sendo que a maioria são herbáceas, menos comumente arbustos, e raramente árvores (May et al., 2008). Diferentes espécies e formas de *Ocimum spp.* variam no seu habitat, cor e composição aromática, tornando a sua identificação difícil. Devido à grande popularidade da planta, é

muitas vezes referida como a “Rainha das Ervas”, e o nome *basil* é provavelmente derivado das palavras gregas *basileus* – rei – ou *basilikon* – real (Makri e Kintzios, 2005).

O manjericão é considerado uma espécie medicinal (Maia et al., 2009), com compostos fitoquímicos com propriedades bioativas já provadas (Malik et al., 2011). É considerada também uma erva aromática, ocupando a maior área de produção no estado da Flórida, nos Estados Unidos (Maia et al., 2009). Também no Brasil o manjericão possui importância económica, entre as espécies de plantas aromáticas, sendo consumido tanto *in natura* como processado industrialmente, para obtenção de óleo essencial.

A produção de plantas aromáticas não pode apenas apontar a uma produtividade máxima, umas também ter em conta a qualidade do produto final, pois o seu potencial

medicinal reside na qualidade e não na quantidade (Malik et al., 2011). Este é, hoje em dia, o grande desafio dos produtores de ervas aromáticas e medicinais. O uso de estufas permite a produção fora da época, e apesar de isto significar, geralmente, um maior lucro para o produtor, a qualidade do produto final é prejudicada. Gruda (2005) e Stefanelli et al., (2010), referem mesmo que é evidente que a produção olhando apenas à quantidade, desvalorizando a qualidade, tem graves consequências para o ambiente.

1.3.1 Procura

Nos últimos anos, medicamentos provenientes de ervas têm vindo a ganhar popularidade, e as plantas medicinais ocupam agora uma posição estável na medicina moderna, desde que a indústria farmacêutica demonstrou interesse no uso ou sintetização de substâncias naturais extraídas de plantas (Malik et al., 2011). O manjeriço é uma escolha normal em produção de estufa, devido ao seu alto valor, popularidade e procura (Succop e Newman, 2004). O aumento da sua procura no mercado levou a uma intensificação nos estudos relativos às formas de cultivo de espécies medicinais (Maia et al., 2009). O crescimento do interesse global e dos mercados de ervas tradicionais levou à introdução destas espécies em sistemas de produção mais elaborados, de forma a ir ao encontro às necessidades do mercado, mas procurando manter um preço acessível (Malik et al., 2011). No entanto, não foi apenas a procura de ervas frescas que aumentou, também a procura de ervas de produção orgânica tem vindo a crescer, sendo que a produção orgânica tem aumentado cerca de 20% anualmente, nos últimos anos (Hochmuth et al., 2003).

Para que possa haver uma intensificação na produção de manjeriço e de outras ervas medicinais, torna-se necessário o estudo das melhores metodologias de cultivo, mas também a produção de mudas de qualidade, de baixo custo, homogêneas e vigorosas para o cultivo comercial destas espécies (Paiva et al., 2011).

1.3.2 Fins

O manjeriço é uma erva anual, amplamente usada para alimentação e produtos de higiene oral (Sajjadi, 2006). Esta planta pode ser usada fresca para culinária (May et al., 2008), e as folhas secas desta planta fazem parte da composição de temperos, especialmente de massas (Paiva et al., 2011). Para o mercado de plantas frescas, o

manjeriço deve ter um sabor doce e folhas verde-escuras, com um aroma forte e característico, não comparável com qualquer outra especiaria, apesar de ter normalmente um travo a cravinho (Makri e Kintzios, 2005). O manjeriço pode também ser produzido para extração de ácido rosmarínico, que tem propriedades medicinais e antioxidantes (Kiferle et al., 2013; Hussain et al., 2008). Finalmente, existe também interesse na produção de manjeriço para extração de óleo essencial, que pode ser usado para fins medicinais e de cosmética, nomeadamente perfumes (May et al., 2008). Hussain et al., (2008), acrescenta ainda que a produção de óleos essenciais e o seu uso como potenciais agentes conservantes de comida pode ter relevância económica no futuro. É ainda usada como espécie ornamental, pela beleza das suas flores e as suas cores atrativas. O manjeriço de folhas roxas – variedade *Dark Opal* – é muito apreciada nos mercados de plantas ornamentais (Makri e Kintzios, 2005).

A produção de óleo essencial de manjeriço aumentou a sua procura, especialmente para destilarias especializadas, aumentando a necessidade de produção de plantas frescas. O interesse económico de algumas espécies vegetais, para extração de óleos essenciais, trouxe a necessidade de estudar a sua capacidade de suportar uma exploração intensiva, quando submetidas a múltiplas colheitas, procurando atingir a máxima longevidade da planta (May et al., 2008). Os óleos essenciais (menos de 1%) são de composição variável e complexa, e o solo e altura de colheita, assim como outras condições de cultivo, têm influência (Makri e Kintzios, 2005). Os autores May et al., (2008), testaram a capacidade da planta de manjeriço sofrer vários cortes, ou colheitas, permitindo depois que esta continue a desenvolver mais folhagem. As suas conclusões foram que, após o 5º corte, houve uma redução na produção de partes aéreas da planta e no crescimento, assim como uma aceleração da senescência da planta, o que sugere que em produções comerciais, em que o objetivo é atingir a produção máxima de óleo por área, pode ser necessária uma substituição periódica de plantas.

1.3.3 Produção

Em manjeriço, existem já alguns estudos relativos à produção. O principal fator que controla o crescimento e desenvolvimento de plantas é a luz, e as plantas são afetadas de forma complexa, em todas as fases da sua vida (Chang et al., 2008).

No uso de palhagem agrícola, técnica conhecida em inglês como *mulshing*, aplica-se, em redor do tronco da planta, algo que permita a manutenção da humidade e que impeça o crescimento de ervas daninhas, Davis, (1994), obteve resultados que indicam que a maior produtividade e o melhor controlo de ervas indesejadas foi obtido com o uso de polietileno preto como palhagem, apesar de os resultados do uso de palha normal não terem sido significativamente diferentes. Aliás, todos os materiais testados garantiram um controlo aceitável do crescimento de ervas daninhas.

Também o plantio de diferentes espécies em consórcio foi testado, por Maia et al., (2009). Os autores indicam que, no seu estudo do benefício de associação de diferentes espécies de plantas, as espécies escolhidas devem ser aquelas que melhor se adaptem entre si, que no caso deste estudo foi o manjeriço e a alface, onde se observaram tendências de maiores valores de massa fresca, seca e altura das plantas.

A nutrição das plantas é também um aspeto fundamental na produção de espécies hortícolas. Vários estudos foram já realizados acerca da proveniência dos nutrientes, sejam estes orgânicos ou não orgânicos. Em muitos casos, o custo elevado de nutrientes orgânicos e a dificuldade na administração de nutrientes na dose necessária fazem das técnicas de produção tradicional a melhor estratégia para produzir manjeriço, defendem Matsumoto et al., (2013). Num teste de Templeton e Kok, (2003), diferentes concentrações de nutrientes foram testadas, resultando em menor taxa de crescimento radicular perante altas concentrações de nutrientes, mas sem efeitos significativos no crescimento foliar. Malik et al., (2011), indicam que a aplicação de fontes orgânicas de nutrientes, não usando ou usando apenas reduzidas quantidades de fertilizantes inorgânicos, está a ganhar a preferência do consumidor. A produção orgânica está a tornar-se cada vez mais popular, e a procura de produtos orgânicos está a aumentar por todo o mundo.

Succop e Newman, (2004), defendem que a produção de manjeriço em estufa e em regime de Hidroponia podem satisfazer a procura local de produtos orgânicos durante os meses de inverno, em que as condições ambientais são de menor relevância. Os resultados do seu estudo, em que compararam três diferentes meios de cultura hidropónicos – perlite, lã-de-rocha e uma combinação de turfa, perlite e composto – foram que os dois últimos, lã-de-rocha e a combinação de perlite, turfa e composto demonstraram ser os mais indicados para a produção hidropónica de manjeriço.

Num outro estudo referente ao uso de Hidroponia em ambiente protegido, Fernandes et al., (2004), explicaram que este sistema protegido tem permitido um grande aumento na produção de hortaliças, por permitir a produção em períodos de entressafra, não estando tão dependentes das condições ambientais, conclusões partilhadas com Sgherri et al., (2010). Neste trabalho de Fernandes et al., (2004), as plantas produzidas em Hidroponia apresentaram maior massa verde total, seguidas pelo tratamento onde se realizou o cultivo em substrato comercial, e finalmente em substrato preparado. A acumulação média de massa seca, independentemente da espécie estudada, foi maior para plantas de cultivo hidropónico, resultados que vão de encontro aos de outras publicações, como Hochmuth et al., (2003), e Kiferle et al., (2013). Contudo, o rendimento e a composição química dos óleos essenciais de plantas cultivadas em Hidroponia não diferiram significativamente dos obtidos de plantas cultivadas em substrato comercial ou em substrato preparado, pelo que os autores concluem que o uso do sistema hidropónico é adequado à produção de manjeriço para comércio da planta fresca, sem prejudicar a característica aromática conferida pelos óleos essenciais.

Kiferle et al., (2013), concluem ainda que o cultivo de manjeriço em Hidroponia tem potencial para produção industrial de ácido rosmarínico, uma vez que uma grande quantidade de biomassa com alta concentração deste composto (até 10% do peso seco de folhas apicais) foi produzida em poucas semanas. Podem ainda ser usadas culturas suspensas de manjeriço para extração de ácido rosmarínico (Kintzios et al., 2003). Em 2011, Kiferle et al., (2011), referem no seu estudo que a colheita da massa radicular, que correspondeu, no seu caso, a 10% da massa total seca, tinha concentrações de ácido rosmarínico significativamente mais altas do que os caules e ramos das plantas de manjeriço. A composição e concentração de óleos essenciais de plantas produzidas em Hidroponia estão de acordo com os resultados já publicados para plantas da espécie, cultivadas em solo e planta selvagens (Hassanpouraghdam et al., 2010).

Num estudo de Kiferle et al., (2011), manjeriço foi produzido em Hidroponia, usando sistemas flutuantes. Os autores concluíram que as plantas, neste sistema, cresceram abundantemente, e entraram em floração um mês após serem colocadas no sistema. A acumulação de matéria seca nos ramos, folhas e raízes das plantas de Hidroponia foi muito superior na fase de floração do que na fase de crescimento vegetativo. A produção de manjeriço ocupa grandes áreas de terreno, especialmente nos arredores de

centros urbanos. A produção em Hidroponia é uma alternativa competente para responder às necessidades do mercado (Hassanpouraghdam et al., 2010).

As condições de transporte de plantas frescas são também importantes para a sua qualidade. Comercialmente, as ervas frescas são vendidas ainda em vaso ou apenas cortes de ramos e folhas. O manjeriço é especialmente sensível a danos provocados pelo frio, que causa escurecimento das folhas e perda de água. No entanto, e uma vez que o manjeriço é uma cultura de importância secundária, é transportada em compartimentos que se encontram à temperatura ideal para a conservação das culturas principais, como o tomate, o que acaba por prejudicar a qualidade do manjeriço vendido fresco (Lange e Cameron, 1997).

A murcha provocada por *Fusarium oxysporum f. sp. basilicum* é o maior fator limitante na produção mundial de manjeriço. Num estudo de Reuveni et al., (1998), relata-se o desenvolvimento de um tipo de manjeriço com alta resistência a este fenómeno, chamado NUFAR – (*Newe Ya'ar Fusarium Resistant*). Esta estirpe, já disponível no mercado, foi a solução encontrada para combater a murcha, uma vez que o *Fusarium* não pode ser controlado quimicamente. No entanto, Hassan e Abo-Elyousr, (2013), demonstraram que a correção das características do solo através do uso de composto orgânico, produzido com folhas de diferentes árvores, reduz os danos causados por *Fusarium* nas plantas de manjeriço, especialmente de produção orgânica.

II. Materiais e Métodos

2.1 Construção do Sistema Experimental

Neste trabalho experimental, foram usados 4 sistemas independentes de Aquaponia, todos idênticos. No entanto, e aquando do desenho e construção dos sistemas, optou-se pela construção de 12 sistemas, para investigações futuras. Desta forma, a secção de Materiais e Métodos que se refere à construção dos sistemas irá retratar a construção de todos os tanques, e não de apenas os 4 tanques usados no decorrer deste trabalho.

O sistema foi construído e operado numa estufa de 500 m², com orientação Este-Oeste, que alberga também um sistema de Aquaponia de maiores dimensões, e com o qual partilha a ligação elétrica e o ar comprimido, fornecido pelo mesmo compressor, da

marca Atlas Copco®, *Oil-free Air* LF-10, com uma pressão máxima de 10 psi e 1500 rpm (rotações por minuto).

Para a construção destes sistemas, optou-se pelo uso de IBC's (Figura 2). Estes depósitos, cujo nome provem de *Intermediate Bulk Container*, são depósitos industriais usados para transportar e guardar líquidos. Apesar de existirem em diversos tamanhos, os mais comuns albergam um volume de 1000 litros.

A construção básica de um IBC consiste numa base de plástico, metal ou madeira, que suporta a armação metálica exterior. Uma vez que esta armação metálica ajuda a manter a forma do IBC, quando este está cheio, as paredes do IBC, feitas de plástico, não costumam ser muito grossas, o que permite que sejam cortadas facilmente. O depósito tem, num dos seus lados e no fundo, uma válvula, que permite o esvaziamento do depósito. Podem ser de variadas cores, mas os mais normais e fáceis de encontrar são de cor branca (IBC of Aquaponics).

A reutilização de IBC's para Aquaponia é viável, mas deve-se procurar saber algo da história do IBC, especialmente se for comprado em segunda mão. Isto porque estes depósitos são usados para transportar líquidos de todo o género, e o depósito pode conter resíduos prejudiciais para a saúde humana.

No documento "*IBC of Aquaponics*", é explicado como se pode construir um sistema de Aquaponia, em alguns aspetos similar aos sistemas montados para este trabalho, com recurso a IBC's. Os autores referem algumas vantagens e desvantagens destes depósitos: como vantagens, indicam que são baratos, facilmente encontrados em todas as partes do mundo, modulares e empilháveis. Veem como desvantagens o facto de serem cúbicos, a maioria não ser estável perante raios UV nem desenhados para ter uma longa vida, terem um aspeto muito industrial e o seu plástico ser muito fino.

Para a construção dos 12 módulos do sistema de investigação foram então usados 18 IBC's. Os depósitos foram cortados, para que cada metade pudesse ser usada ou como tanque para os peixes ou como cama de crescimento, onde se colocou o substrato de cultivo. A armação metálica, que confere a capacidade de albergar grandes volumes de água, foi também cortada e usada. Doze metades do fundo dos depósitos foram usadas como tanques dos peixes, as partes restantes foram usadas como camas de crescimento para plantas. As metades usadas como tanques dos peixes foram cortadas de maneira a

que um volume de 500 litros possa ser usado, as metades usadas como camas de crescimento de maneira a conterem 400 litros de substrato de cultivo.

Cada módulo é composto, então, por um tanque para peixes, em posição inferior, e duas



Figura 5 - Pormenor de um módulo usado no trabalho experimental, com o tanque para os peixes ao centro, posição inferior, e as duas camas de crescimento nas laterais, posição superior.

camas de crescimento associadas, como pode ser visto na Figura 5. O sistema completo tem doze módulos, divididos em 3 filas de 4 módulos cada (Figura 6). De forma a evitar grandes variações de temperatura na água do sistema, e uma vez que esta se encontra a maioria do tempo dentro do tanque dos peixes, optou-se pela

construção de caixas de contraplacado marítimo, dentro das quais se fixaram os tanques dos peixes.

Estas caixas, com uma largura de 114,5 cm e um comprimento de 134,5 cm foram construídas com contraplacado marítimo, de 1,8 cm de espessura. De forma a promover a circulação de ar, e perspetivando temperaturas altas no verão, estas placas foram furadas nas suas quatro faces, usando uma serra craniana de 13 cm (Figura 9). As metades inferiores dos IBC's foram fixadas no interior das caixas. Os furos nas faces das caixas foram cobertos com rede mosquiteira, usando agrafos de 1,5 cm, e o espaço entre a caixa de madeira e as paredes do IBC foi preenchido por 30 L de LECA, para isolamento térmico.

A cada tanque de peixes estavam associadas duas camas de crescimento, completando um módulo. Cada cama de crescimento foi assente em cima de uma placa de contraplacado marítimo de 1,8 cm de espessura, com 119 cm de largura e 125 cm de



Figura 6 - Sistema completo (12 módulos), com 3 filas de 4 módulos

comprimento. Quatro rodas de 10 cm de diâmetro, alinhadas, foram fixadas à face inferior destas placas, permitindo o seu deslizamento sobre a viga de ferro. Os quatro módulos que compõem cada fila partilham as mesmas vigas de ferro, com as duas rodas da frente apoiadas numa, e as rodas de trás apoiadas noutra. Isto permite que as camas deslizem, e que o operador chegue ao tanque dos peixes. As vigas de ferro usadas tinham a forma de H, com 12 cm de largura e 11,17 m de comprimento. O apoio no chão foi feito através de tubos de ferro circulares, com 8,5 cm de diâmetro, e a estrutura foi reforçada usando barras transversais, que uniam as duas vigas de ferro, ao longo do seu comprimento, que compunham cada fila de 4 módulos.

O sistema foi desenhado de forma a rentabilizar ao máximo o espaço disponível. Desta forma, as camas de crescimento foram construídas a uma distância que permite que apenas as duas camas de um tanque em cada

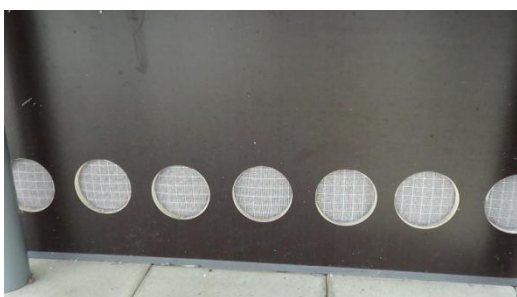


Figura 9 - Pormenor dos furos usados para arejamento das caixas dos tanques dos peixes.

estejam fechadas. Cada tanque possuía duas bombas no seu interior, cada uma ligada a uma cama de crescimento. Esta ligação foi feita usando 2 metros de mangueira de 19 mm, da Gardena®. A mangueira passava por um furo feito na placa de contraplacado da cama e entrava na cama, através de um passa-muros curvo. Para a entrada

de água nas camas foram realizados, em cada uma, um furo lateral de 1,9 cm, onde se colocou o passa-muros curvo. Do lado interior, outro passa-muros curvo foi colocado, apontado para cima, e um tubo de proteção foi aplicado, com diversos cortes para passagem da água, com 45 cm de comprimento. Foi colocada ainda uma rede no fundo, para impedir a passagem de LECA para esta zona, de forma a nunca entupir a entrada de água nas camas de crescimento. Pormenores dos tubos usado, da sua montagem e dos passa-muros e tubos usados podem ser vistos nas Figuras 7, 8 e 10, respetivamente.



Figura 10 - Pormenor do passa-muros.

fila estejam abertas, e que para tal as camas dos tanques ao lado



Figura 7 - Pormenor do tubo de proteção usado.



Figura 8 - Pormenor da montagem do passa-muros e tubo de proteção.

A saída de água das camas de crescimento usava também um tubo de proteção de 45 cm de comprimento, com cortes para a passagem da água, que protegia a zona com um furo de 2,54 cm, no fundo do IBC e na placa de contraplacado, que continha um passa-muros da marca Jintem®, material comumente usado para casas de banho. No topo deste passa-muros foi colocado um tubo – *stand-pipe* – que marcava a altura máxima de água na cama. Este tubo tinha 7 furos de 0,5 cm, que permitiam o esvaziamento da cama quando a bomba terminava o seu ciclo de funcionamento. O retorno da água para o tanque dos peixes era feito por uma tubagem flexível, do mesmo *kit* do passa-muros da Jintem®, que foi fixada para que a água faça uma espécie de cascata, participando na dissolução de oxigénio da água, no seu retorno por gravidade.

Cada fila, composta por 4 módulos, não partilhava apenas as vigas de ferro que suportavam as camas. Também o sistema elétrico e de fornecimento de ar comprimido foram divididos em 3. Assim, um cabo elétrico foi preso numa das vigas de cada fila, servindo para transmitir a energia necessária ao funcionamento das bombas. Desta forma, cada fila tinha o seu próprio quadro elétrico, composto por um transformador Weidmuller®, uma caixa hager® e um temporizador finder®. As bombas, do tipo solar, usadas neste trabalho eram da marca Teichpumpe®, modelo Marino 12-24 V, tendo sido ligadas a 12 V, com uma capacidade de bombear 1000L/h.

O sistema de fornecimento de ar comprimido estava ligado ao compressor que trabalhava para toda a estufa. O ar era transportado por tubagem de PVC de 2,54 cm. Perto do sistema de investigação, três tomadas de carga com válvula foram aplicadas a este tubo, das quais saíam três mangueiras transparente Helliflex® de 1,5 cm de diâmetro, e cada uma foi presa a uma das vigas de cada fila de módulos. No centro de cada tanque de peixes, foi presa a esta mangueira novas mangueiras verdes de 4 mm de diâmetro, às quais se juntou um T, duas válvulas e duas difusoras, como pode ser visto na Figura 5.

No dia 21 de Setembro, devido às altas temperaturas no interior da estufa, optou-se por colocar um novo compressor, de menores dimensões, a trabalhar no sistema de investigação, permitindo colocar mais uma difusora dentro de cada tanque. O compressor usado foi da marca Elemental®, com capacidade de compressão de mais de 4000L/h, e as difusoras usadas pertenciam à marca Aquatic Eco-Systems®.

2.2 Funcionamento dos Sistemas

Os sistemas de Aquaponia montados para esta investigação são do tipo recíproco, em que existe um movimento de água, através do funcionamento de bombas, que é depois replicado no sentido inverso por força da gravidade.

Desta forma, cada sistema, com duas bombas e um temporizador, tinha o seguinte ciclo por hora: nos primeiros 15 minutos, a bomba A bombeia água do sistema para a cama A. Quando esta atinge o seu volume máximo, a água começa a descer de volta ao tanque dos peixes pelo topo do *stand-pipe*. No fim dos 15 minutos, o temporizador desliga a bomba A, e a cama A é esvaziada, por gravidade, pelos 7 furos que existem no *stand-pipe*. Ao fim de 15 minutos de esvaziamento da cama A, o temporizador aciona a bomba B, que começa a encher a cama B, durante 15 minutos, que terá depois 15 minutos de esvaziamento. O processo pode ser observado no gráfico da Figura 11.

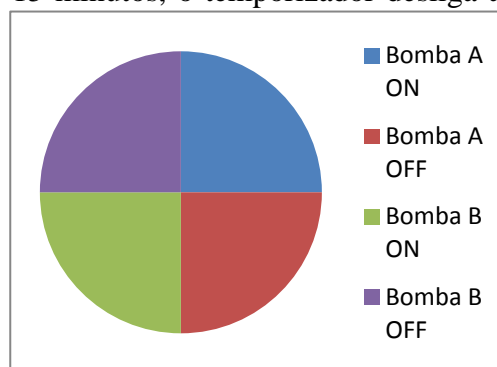


Figura 11 - Gráfico de funcionamento das bombas por hora, em que cada quadrante corresponde a um intervalo de 15 minutos.

O tanque com peixes foi operado a um volume máximo de 400 Litros. Uma vez que as bombas, ligadas a uma corrente de 12 V, têm a capacidade de transportar 1000 L/h, em cada ciclo de 15 minutos cada bomba transportou cerca de 250 L, o que significa que em cada hora toda a água do sistema passou pela cama de crescimento que, usando LECA, funcionou como filtro mecânico e biológico, simultaneamente.

O tanque dos peixes continha 400 L de água, e cada cama de crescimento cerca de 400 L de LECA, perfazendo assim uma relação de 2/1 em termos de volume de substrato de cultivo/volume de água para peixes.

Os sistemas de Aquaponia têm um consumo reduzido de água. Este consumo está relacionado com perdas por evapotranspiração e consumo pelas plantas. De forma a minimizar perdas de água por evaporação, foi usado, em cada cama, um volume de LECA que permitisse a camada superior de substrato, com cerca de 1,5 cm, nunca ficasse molhada, evitando o contacto da água com luz direta. O uso desta camada seca permitiu ainda evitar a formação de algas, que iriam competir com as plantas a ser

produzidas por nutrientes. Para evitar a formação de algas nas camas de crescimento, as suas paredes foram forradas com rede sombra 100%, impedindo a passagem de luz para a parede das camas.

Durante o trabalho experimental, as bombas e temporizadores foram testados duas vezes por semana. Este teste foi feito através do corte de energia em todas as bombas, no temporizador, e um tempo de espera de 5 minutos. Este tempo era suficiente para que, caso alguma bomba estivesse no seu ciclo de funcionamento, a cama que estava a ser cheia esvaziasse, e o nível de água fosse analisado sem água nas camas. Depois da verificação do volume, foi acionado no temporizador o funcionamento das bombas A de cada tanque, e a sua operação verificada. De seguida repetiu-se o processo para as bombas B e, caso tudo estivesse normal, o temporizador era de novo ativado no seu ciclo normal.

Na mesma altura, foram repostos os níveis de água do sistema, e calculado o volume acrescentado. Para tal foi usada uma marca nos 400 L no tanque dos peixes (os tanques IBC têm uma régua no lado exterior, com as marcações de volume), e a distância entre a linha de água e a marca medida. Com este valor, e sabendo a distância na régua do tanque que equivale a 100 L, foi calculado o consumo diário de água dos sistemas. A relação de consumo de água seguiu a ordem I4 (0,80 %) < I2 (0,90 %) < I3 (0,98 %) < I1 (1,12 %).

Os tanques foram limpos uma vez por semana, com recurso a uma bomba externa. Esta bomba, funcionando como um aspirador, retirava os resíduos sólidos do tanque dos peixes, bombeando a água para dentro de uma das camas do sistema, evitando o desperdício de água. Numa semana este efluente com dejetos e restos de ração era encaminhado do tanque dos peixes para a cama A do sistema, na semana seguinte para a cama B do mesmo sistema.

Tabela 2 - Composição nutricional das rações testadas. Valores de Proteína Total, Lípidos Totais e Cinzas em percentagem, valores de Energia em MJ/kg de ração.

	Aller Primo (AP)	Efico Início Plus (EP)
Proteína Total	37,0	50,0
Lípidos Totais	12,0	18,0
Cinzas	6,4	8,0
Energia	19,9	22,0

As rações foram atribuídas aos tanques aleatoriamente. As duas rações testadas, com diferentes níveis de proteína, foram a Aller

Primo (AP), da empresa Aller Aqua®, e a Efico Inicio Plus (EP), da Biomar®. As características das duas rações podem ser observadas nas Tabela 2, e as fichas informativas das mesmas no Anexo I e II. Os tanques foram alimentados a uma taxa de 1,5% da biomassa por tanque no primeiro dia, contabilizando um total diário de 96 g e um total de 2976 g em cada tanque, ao fim de 31 dias.

Tabela 3 - Resultados das amostragens iniciais de peixes e plantas.

Peixes	Peso Inicial (G)	7,236
	Comp Inicial (cm)	8,416
Plantas	Comp Caule Inicial (cm)	2,527
	Peso Caule Inicial (g)	0,107
	Comp Raiz Inicial (cm)	7,860
	Peso Raiz Inicial (g)	0,087
	Peso Total (g)	0,194
	Comp Total (cm)	10,387

O trabalho experimental decorreu entre os dias 4 de Setembro de 2013 e 4 de Outubro de 2013, num total de 31 dias. Ao longo deste período, destacam-se o dia 16 de Setembro, em que houve um corte de energia, e o dia 21

de Setembro, em que se optou pela instalação de um novo compressor de ar, mais pequeno, para aumentar a concentração de oxigénio dissolvido na água dos tanques de investigação, devido às altas temperaturas que se faziam sentir no interior da estufa nesta altura.

2.3 Espécies Utilizadas

Este trabalho experimental testou o funcionamento de um sistema de Aquaponia, usando duas rações com níveis de proteína distintos, testando, como espécie animal, a tenca – *Tinca tinca* L. – e como espécie vegetal o manjericão – *Ocimum basilicum* L..

Os peixes usados no decorrer desta experiência foram adquiridos a uma empresa espanhola, de nome Tencazuaga, localizada na cidade de Azuaga (Anexo III). Os indivíduos eram juvenis, com cerca de um ano de idade, com peso médio inicial de 7,236 g e um comprimento inicial de 8,416 cm, valores obtidos através de uma amostragem inicial de 180 indivíduos (Tabela 3).

Após a amostragem inicial dos peixes, foram contabilizados 663 indivíduos para cada tanque, de forma a iniciar o estudo com uma densidade igual em cada tanque, de 12 g/L,

ou 12 kg/m³, densidade aceitável para sistemas RAS e comumente usada em Aquaponia.

Para obtenção das plântulas usadas, foi realizada uma sementeira num sistema independente, em que as sementes foram colocadas para germinação. Este sistema, observável na Figura 12, era normalmente usado para fazer sementeiras, contendo LECA e funcionando com uma bomba solar, ligada a um painel fotovoltaico. A sementeira realizou as sementes de apenas um saco, da marca Rocalba®, de maneira a garantir as mesmas condições iniciais para a análise do seu crescimento. Desta sementeira, 30 plântulas foram amostradas, e o peso médio das raízes (0,087 g), comprimento médio das raízes (7,860 cm), peso médio do caule (0,107 g) e comprimento médio do caule (2,527 cm) foram aferidos (Tabela 3). Da mesma sementeira, 14 plantas foram colocadas nas camas de crescimento de cada tanque, com espaçamentos idênticos. Foram plantadas 14 plantas em cada cama de crescimento, com uma distância de 20-25 cm entre cada planta, o que corresponde a uma densidade de 11,67 plantas por m².



Figura 12 - Sistema de sementeira usado.

Um período de aclimação dos peixes e das plantas foi realizado, de duas semanas, durante as quais as plantas que não foram capazes de enraizar e morreram foram substituídas por outras plantas da

mesma sementeira. Este processo visou garantir que o número de

plantas durante o trabalho experimental em cada tanque era o mesmo. No fim deste período de aclimação, $\frac{3}{4}$ da água de cada tanque foi substituída, tendo sido usada como água do sistema do outro sistema de Aquaponia da estufa, com um volume de água muito maior. Neste dia, os parâmetros da água usada eram: pH 6,9; temperatura 25,4°C; amónia 0,0 ppm; nitritos 0,1 ppm; nitratos 87 ppm; fosfatos 0,2 ppm.

No dia final do trabalho experimental, 4 de Outubro de 2013, 50 indivíduos de cada tanque foram recolhidos aleatoriamente. Após leve anestesia, com recurso a

Etilenoglicol monofenílico de éter, com uma concentração de 0,3 ml/L, os pesos e comprimentos dos peixes foram determinados.

No mesmo dia, as plantas de cada cama foram, uma a uma e gentilmente, puxadas para fora da LECA, de forma a evitar o corte das raízes. Pequenos fragmentos de LECA que se encontravam englobados pelas raízes foram retirados, de forma a não interferirem com a determinação do peso destas. As raízes foram depois cortadas, e o seu peso e comprimento determinados. De seguida, as folhas foram retiradas, e o comprimento e peso do caule determinados. Finalmente, as folhas foram todas reunidas, e o seu peso determinado, como um conjunto total por planta, e não o peso individual de cada folha.

2.4 Controlo de Parâmetros

Para monitorização e controlo de parâmetros da água dos sistemas foram usadas diversas ferramentas. Para monitorização dos níveis de oxigénio e temperatura, foi usado o oxímetro Lutron® DO-5510, com sensibilidade até aos 0,1 ppm de O₂ e 0,1°C de temperatura. Estas medições foram feitas todos os 31 dias de experiência. Não houve, ao longo do trabalho experimental, nenhuma manipulação da temperatura. A temperatura média, assim como o mínimo, máximo, desvio padrão, moda e mediana de cada tanque podem ser observados na Tabela 4, para os tanques I1, I2, I3 e I4.

Tabela 4 - Valores finais de temperatura, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.

	Média	Mínimo	Máximo	Des.Pad.	Moda	Mediana
I1	23,9	22,2	25,7	1,05	22,4	23,8
I2	24,0	22,5	25,7	1,01	24,0	24,0
I3	23,9	22,3	25,6	0,97	22,8	24,0
I4	23,9	22,6	25,5	0,90	22,9	23,9

Os valores médios de oxigénio dissolvido, assim como o mínimo, máximo, desvio padrão, moda e mediana de cada tanque podem ser observados na Tabela 5, para os tanques I1, I2, I3 e I4.

Tabela 5 - Valores finais de oxigênio dissolvido, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.

	Média	Mínimo	Máximo	Des.Pad.	Moda	Mediana
I1	6,58	5,5	7,1	0,35	6,8	6,6
I2	6,28	5	6,9	0,45	6,1	6,4
I3	6,41	5,2	7,2	0,44	6,5	6,5
I4	6,40	5,2	7,1	0,43	6,6	6,4

O pH foi medido com um aparelho PH-03 da marca EZ®, com sensibilidade de 0,1 e compensação automática de temperatura, com medições realizadas diariamente. O pH médio, assim como o mínimo, máximo, desvio padrão, moda e mediana de cada tanque podem ser observados na Tabela 6, para os tanques I1, I2, I3 e I4.

Tabela 6 - Valores finais de pH, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.

	Média	Mínimo	Máximo	Des.Pad.	Moda	Mediana
I1	6,7	6,3	7,1	0,180	6,8	6,8
I2	6,8	6,3	7,1	0,182	6,9	6,8
I3	6,8	6,3	7	0,179	6,8	6,8
I4	6,8	6,4	7,1	0,195	6,8	6,8

Como os sistemas de Aquaponia têm uma taxa de renovação de água baixa, e uma taxa de nitrificação alta, o pH tem tendência para diminuir. Este fato torna essencial a monitorização diária do valor do pH dos sistemas. Ao longo deste trabalho experimental, o pH foi determinado diariamente.

Com o objetivo de contrariar a normal descida de pH, foi usado o composto “pH UP”, da marca General Hydroponics®. Trata-se de uma solução composta por diversas bases, normalmente usada em Hidroponia (Anexo IV). Na sua formulação encontra-se Carbonato de Potássio, Hidróxido de Potássio e Sílica. A composição deste composto é importante, pois foi uma forma de suplementar os sistemas com Potássio, elemento normalmente em falta em sistemas de Aquaponia. Ao longo do trabalho, sempre que o pH se encontrava a níveis inferiores a 6,5, pH UP foi adicionado, num volume decidido pelo operador, consoante o pH na altura. No final, e ao longo dos 31 dias de trabalho

experimental, os tanques receberam a mesma quantidade de pH UP, nomeadamente 700 ml. O pH médio, assim como o mínimo, máximo, desvio padrão, moda e mediana de cada tanque podem ser observados na Tabela 6, para os tanques I1, I2, I3 e I4.

A manipulação do pH, sempre no sentido de fazer aumentar os seus valores, foi ainda conseguida através da reposição de água perdida por evapotranspiração. A água usada para estas reposições de volume provinha de um reservatório usado na herdade, no qual a água se encontrava em condições básica (pH médio observado ao longo dos 31 dias foi de 7,4), pelo que estas reposições ajudaram ainda ao controlo do pH.

O nível de TDS foi observado, diariamente, com recurso ao medidor HM® Digital TDS-3, com sensibilidade até aos 1 ppm. O nível de TDS médio, assim como o mínimo, máximo, desvio padrão, moda e mediana de cada tanque podem ser observados na Tabela 7, para os tanques I1, I2, I3 e I4.

Tabela 7 - Valores finais de TDS, por tanque. Des. Pad. representa o Desvio Padrão.

	Média	Mínimo	Máximo	Des.Pad.	Moda	Mediana
I1	794	7,5	977	178,63	804	813
I2	805	623	945	102,11	746	816
I3	813	619	975	104,27	790	809
I4	697	506	858	96,62	711	691

Diariamente os sistemas foram também observados, na procura de anomalias de funcionamento ou comportamentos estranhos, tanto por parte dos peixes como no subsistema hidropónico, no qual se procuraram pragas. Nenhuma praga foi encontrada nas plantas produzidas. No subsistema de Aquacultura, a mortalidade foi observada diariamente, tendo ocorrido a morte de apenas um indivíduo, no tanque I3, no dia 22 de Setembro.

O fotómetro, usado para aferir as concentrações de nutrientes na água, foi o PF-12 – *Reagent Case for Environmental Analysis*, da Macherey-Nagel®, usado para determinar as concentrações de amónia, nitritos, nitratos, fosfatos e ferro. A concentração destes nutrientes foi determinada duas vezes por semana, com exceção da primeira semana, em que houve apenas uma determinação, no dia 4 de Setembro. As determinações realizadas em cada tanque podem ser observadas nas Tabelas 17-20, para os tanques I1, I2, I3 e I4, na secção de Resultados deste relatório.

O fotómetro usado tinha, para certos nutrientes, um limite mínimo na concentração, de forma a conseguir fazer a determinação da mesma. No teste à concentração do ferro, este limite mínimo era de 0,04 ppm, e se a concentração fosse inferior a este valor, o resultado lido na máquina seria de <0,04 ppm. Uma vez que este valor não é aceite por programas estatísticos, foi substituído por 0,02, valor intermédio entre 0,04 e 0.

Para pesar os peixes e as plantas foi usada uma balança de precisão Kern®, com um máximo de 200g e uma sensibilidade de 0,001 g. Para pesar a ração oferecida diariamente foi usada uma balança ADE®, modelo KWE, com um máximo de 6000g e sensibilidade de 1g.

A ração foi oferecida aos peixes em três refeições, durante a semana, e duas refeições, durante o fim-de-semana. A ração diária era pesada no dia anterior e guardada em recipientes próprios de cada tanque.

A medição de peixes foi realizada com um ictiómetro, cuja marca não foi possível aferir. Fotografias e filmagens foram realizadas com uma *handicam* Sony® HD AVCHD, e foram ainda usadas *Time Lapse Cameras*, da marca Brinno® *Garden Watch Cam*. A anestesia de peixes, para fins de amostragem, foi realizada com Etilenoglicol monofenílico de éter, da marca Aldrich®, a uma concentração de 0,3 ml/L. Para controlo do pH foi usado o composto “pH UP”, da General Hydroponics®.

Foi ainda utilizado o material:

- Pipeta 10 ml (0,10 ml) - Hirschman EM®
- Gobelé PP 3 L (0,050 ml) - Vitrilab®
- Camaroeiro 10 cm - Laguna®
- Proveta 500ml (5ml) - Brand®
- Lã de vidro - Fluvial®

2.5 Análise Estatística

As tabelas e gráficos apresentados foram elaborados com recurso ao programa Microsoft Office Excel, da Microsoft®. Os testes estatísticos foram realizados através

do programa SAS®. Os gráficos *Boxplot* foram elaborados através do programa estatístico SPSS.

Na análise estatística, foram usados os valores obtidos na amostragem final. Procuraram-se diferenças significativas, através de uma análise de variância, entre os dados finais dos peixes amostrados, em termos de comprimento e peso, e os dados finais das plantas, nas variáveis peso da raiz, comprimento da raiz, peso do caule, comprimento do caule e peso das folhas, por planta.

Para o estudo do crescimento das plantas, foi aplicada a correção de Bonferroni, devido ao grande número de comparações realizadas com o mesmo conjunto de dados. Quanto maior o número de testes que realizamos a um conjunto de dados, maior é a probabilidade de, em certa altura, a hipótese nula ser rejeitada quando está certa. Esta é uma consequência da lógica do teste de hipóteses, em que a hipótese nula é rejeitada perante um evento raro. No entanto, quanto maior for o número de testes, maior é a probabilidade de se encontrar um evento raro, e como tal é também maior a probabilidade de cometer o erro de se identificar um efeito que, na verdade, não existe. A este problema chama-se a “inflação do nível alfa”, que deve ser contrariado quando se realizam testes múltiplos no mesmo conjunto de dados (Hervé Abdi). Na análise do crescimento das plantas, foram testadas cinco variáveis, em quatro tanques, num total de 20 testes. Assim, e de forma a evitar cometer este erro do tipo I, o nível de significância inicial, de 0,05, foi dividido pelo número de testes, sendo o valor de final de α 0,0025.

Na análise dos peixes, os dados foram comparados em termos de ração oferecida e tanque, enquanto que nas plantas foram comparados ainda os resultados de cada cama de crescimento, dentro de cada tanque. Uma vez que foram apenas testadas duas variáveis – peso e comprimento – e existiam duas rações e apenas dois replicados por cada ração, não se recorreu à Correção de Bonferroni no estudo estatístico da performance dos peixes.

A organização hierárquica do estudo pode ser observada no gráfico da Figura 13.

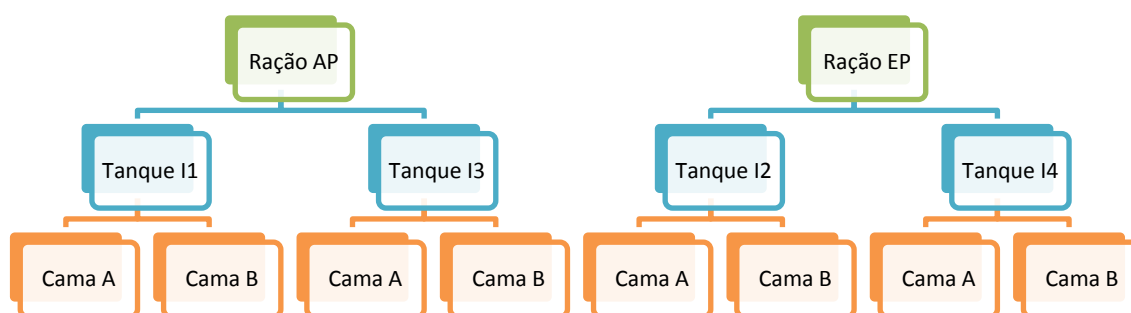


Figura 13 - Organização hierárquica do estudo realizado.

III. Resultados

A Tabela 8 apresenta os valores da amostragem final dos peixes, assim como os valores de taxa de conversão de alimento (FCR), taxa de crescimento específico (SGR) e do fator de condição.

Tabela 8 - Valores da amostragem final de peixes.

Tanque	Ração	Nº ind	Mort.	Biomassa	Comp Médio	Peso Médio	Densidade	FCR	SGR	Fator Cond
I1	AP	663	0	5,566	8,71	8,39	13,91	3,87	0,48	1,27
I2	EP	663	0	6,166	8,92	9,30	15,42	2,17	0,81	1,31
I3	AP	662	1	5,923	8,69	8,95	14,81	2,63	0,68	1,36
I4	EP	663	0	6,648	9,13	10,03	16,62	1,61	1,05	1,32

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados na análise estatística realizada com os valores de comprimento e peso finais apresentados pelos indivíduos.

Tabela 9 - Resultados da análise estatística do comprimento final dos peixes.

Variável dependente: Comprimento					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	3	6,26	2,09	3,32	0,0208
RAÇÃO	1	5,18	5,18	8,26	0,0045
TANQUE(RAÇÃO)	2	1,07	0,54	0,85	0,4269
Erro	196	123,01	0,63		
Total corrigido	199	129,27			

Tabela 10 - Resultados da análise estatística do peso final dos peixes.

Variável dependente: Peso					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	3	70,15	23,38	3,75	0,0118
RAÇÃO	1	49,32	49,32	7,92	0,0054
TANQUE(RAÇÃO)	2	20,83	10,42	1,67	0,1905
Erro	196	1220,93	6,23		
Total corrigido	199	199,00	1291,08		

No estudo do comprimento, encontraram-se diferenças significativas em relação ao tipo de ração ($p=0,0045$), mas não se verificaram diferenças significativas em relação aos tanques ($p=0,4269$).

No estudo do peso, existiram diferenças significativas em relação à ração ($p=0,0054$), mas não se verificaram diferenças significativas em relação aos tanques ($p=0,1905$).

Os gráficos *Boxplot* da Figura 14 comparam os valores obtidos na amostragem inicial de tencas com os resultados finais, permitindo a avaliação de que em todos os tanques se deu um crescimento dos peixes, tanto em termos de comprimento como de peso.

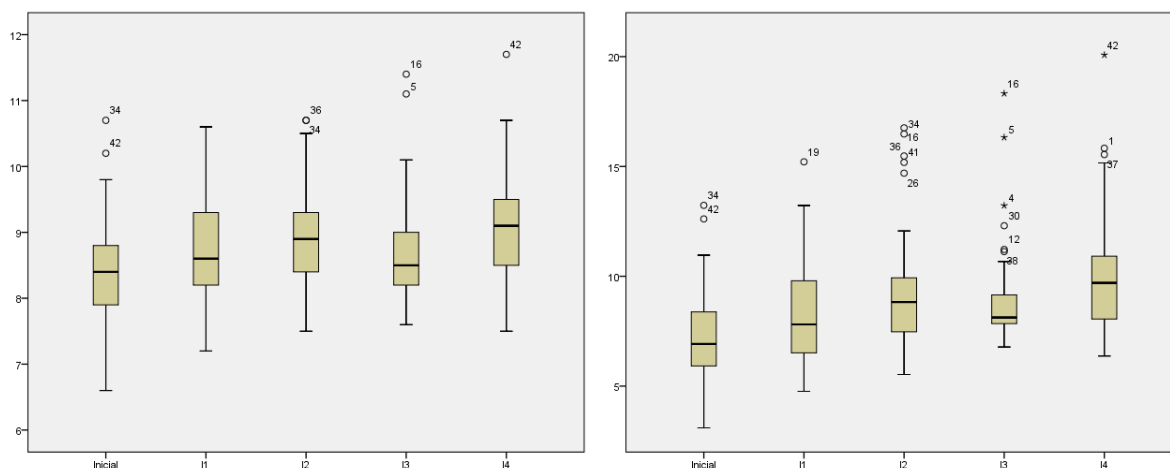


Figura 14 - Gráficos Boxplot com os valores de comprimento (esquerda) e peso (direita) dos peixes na amostragem inicial e final de cada tanque.

A Tabela 11 apresenta os resultados da amostragem das plantas, assim como os valores de produtividade conseguidos pelos sistemas de Aquaponia. Os resultados de produtividade referem-se apenas à produção de folhas, uma vez que esta é a parte da planta usada.

Tabela 11 - Resultados da amostragem final das plantas.

Tanque	Ração	Comp Caule	Peso Caule	Comp Raiz	Peso Raiz	Peso Folhas	Prod 1	Prod 2
I1	AP	27,729	18,119	11,979	6,718	287,070	10,253	239,225
I2	EP	27,818	20,060	16,975	7,472	294,580	10,521	245,483
I3	AP	16,136	9,816	11,371	4,386	192,620	6,879	160,517
I4	EP	24,254	12,217	14,354	9,429	221,950	7,927	184,958

Os gráficos *Boxplot* das Figuras 15, 16, 17 e 18 comparam os valores obtidos na amostragem inicial de plantas com os resultados finais, permitindo a avaliação de que em todos os tanques se deu um crescimento e desenvolvimento das plantas, com o crescimento dos seus caules e raízes.

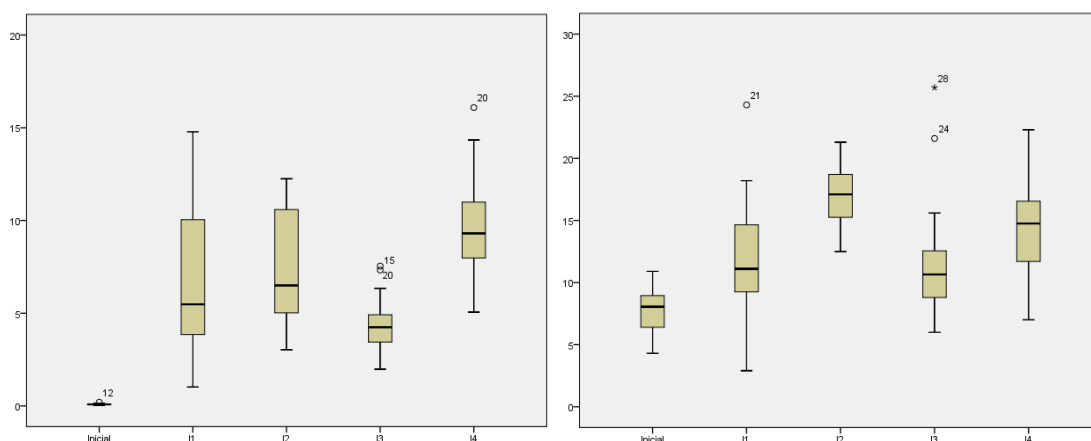


Figura 15 - Gráfico Boxplot com os valores do comprimento da raiz na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.

Figura 16 - Gráfico Boxplot com os valores do peso da raiz na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.

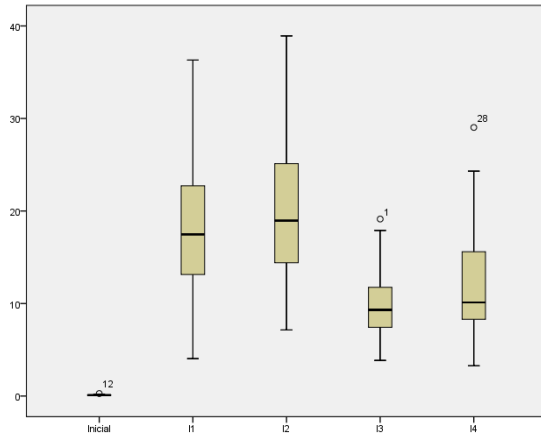


Figura 17 - Gráfico Boxplot com os valores do peso do caule na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.

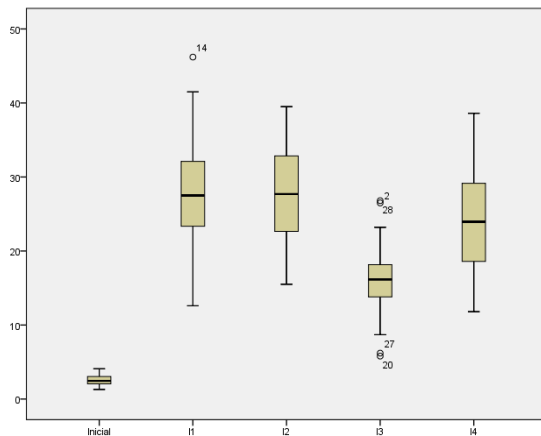


Figura 18 - Gráfico Boxplot com os valores do comprimento do caule na amostragem inicial (esquerda), e final de cada tanque.

Os resultados da análise de variância realizada para aferir diferenças significativas no crescimento das plantas encontram-se nas Tabelas 12, 13, 14 e 15, para as variáveis Peso da Raiz, Comprimento da Raiz, Peso do Caule, Comprimento do Caule e Peso das Folhas, respetivamente. Os testes foram realizados com um nível de significância de 0,0025, e foram testadas as rações, dentro das duas rações os tanques, e dentro dos tanques a cama de crescimento.

Tabela 12 - Resultados da análise estatística do peso da raiz.

Variável dependente: Peso da raiz					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	7	479,96	68,57	9,64	0,0001
RAÇÃO	1	235,25	235,25	33,08	0,0001
TANQUE(RAÇÃO)	2	129,72	64,86	9,12	0,0002
CAMA(RAÇÃO*TANQUE)	4	114,99	28,75	4,04	0,0044
Erro	104	739,54	7,11		
Total corrigido	111	1219,50			

Para o Peso da Raiz, Tabela 12, foram encontradas diferenças significativas entre as rações ($p=0,0001$) e entre os tanques que partilharam a mesma ração ($p=0,0002$). Não foram encontradas diferenças significativas entre as camas de cada tanque ($p=0,0044$).

Tabela 13 - Resultados da análise estatística do comprimento da raiz.

Variável dependente: Comprimento da raiz					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	7	660,43	94,35	6,91	0,0001
RAÇÃO	1	445,60	445,60	32,62	0,0001
TANQUE(RAÇÃO)	2	101,37	50,68	3,71	0,0278
CAMA(RAÇÃO*TANQUE)	4	113,46	28,37	2,08	0,0892
Erro	104	1420,64	13,66		
Total corrigido	111	2081,08			

Para o Comprimento da Raiz, Tabela 13, existiram diferenças significativas entre as rações ($p=0,0001$), mas não entre os tanques ($p=0,0278$) nem entre as camas de cada sistema ($p=0,0892$).

Tabela 14 - Resultados da análise estatística do peso do caule.

Variável dependente: Peso do Caule					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	7	2393,26	341,89	7,65	0,0001
RAÇÃO	1	132,02	132,02	2,96	0,0885
TANQUE(RAÇÃO)	2	1826,27	913,13	20,44	0,0001
CAMA(RAÇÃO*TANQUE)	4	434,97	108,74	2,43	0,0519
Erro	104	4645,08	44,66		
Total corrigido	111	7038,34			

Relativamente ao Peso do Caule, Tabela 14, foram encontradas diferenças significativas entre os tanques ($p=0,0001$), mas não entre as duas rações ($p=0,0885$) nem entre as camas de crescimento ($p=0,0519$).

Tabela 15 - Resultados da análise estatística do comprimento do caule.

Variável dependente: Comprimento do caule					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	7	2732,15	390,31	8,61	0,0001
RAÇÃO	1	471,50	471,50	10,40	0,0017
TANQUE(RAÇÃO)	2	2059,38	1029,69	22,71	0,0001
CAMA(RAÇÃO*TANQUE)	4	201,27	50,32	1,11	0,3560
Erro	104	4715,81	45,34		
Total corrigido	111	7447,95			

No Comprimento do Caule, Tabela 15, as rações levaram ao desenvolvimento de diferenças significativas ($p=0,0017$), assim como os tanques ($p=0,0001$). Não se encontraram diferenças significativas entre as camas de crescimento das plantas ($p=0,3560$).

Tabela 16 - Resultados da análise estatística do peso das folhas.

Variável dependente: Peso das folhas					
Fonte	GL	SQ	MQ	F	p-value
Modelo	7	421,54	60,22	3,34	0,0030
RAÇÃO	1	12,12	12,12	0,67	0,4141
TANQUE(RAÇÃO)	2	253,50	126,75	7,03	0,0014
CAMA(RAÇÃO*TANQUE)	4	155,93	38,98	2,16	0,0783
Erro	104	1874,34	18,02		
Total corrigido	111	2295,88			

No teste final, Tabela 16, relativo ao Peso das Folhas, o modelo apresentou um *p value* superior ao nível de significância ($p=0,0030$), pelo que os restantes valores são inconclusivos.

As Tabelas 17, 18, 19 e 20 apresentam os valores obtidos nas determinações das concentrações de nutrientes nos sistemas I1, I2, I3 e I4, respetivamente, assim como a data em que foram realizadas.

Tabela 17 - Concentração de nutrientes no tanque II.

	I1				
Dia	Fe ²⁺	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
4-Set	0,02	0,03	0,10	0,02	100,00
9-Set	0,02	3,30	0,10	0,04	110,00
12-Set	0,02	3,20	0,10	0,13	270,00
16-Set	0,02	3,00	0,10	0,07	310,00
19-Set	0,06	4,40	0,10	0,14	380,00
23-Set	0,02	4,60	0,10	0,08	450,00
26-Set	0,02	5,70	0,20	0,07	380,00
30-Set	0,02	5,30	0,20	0,06	420,00
4-Out	0,02	5,10	0,10	0,05	440,00

Tabela 18 - Concentração de nutrientes no tanque I2.

	I2				
Dia	Fe ²⁺	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
4-Set	0,02	0,04	0,10	0,06	90,00
9-Set	0,04	3,30	0,20	0,09	260,00
12-Set	0,04	3,20	0,30	0,09	400,00
16-Set	0,20	2,60	0,10	0,40	440,00
19-Set	0,17	2,90	0,10	0,18	390,00
23-Set	0,02	3,70	0,20	0,11	400,00
26-Set	0,02	4,50	0,30	0,09	330,00
30-Set	0,02	5,80	0,30	0,04	360,00
4-Out	0,02	6,30	0,20	0,04	410,00

Tabela 19 - Concentração de nutrientes no tanque I3.

	I3				
Dia	Fe ²⁺	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
4-Set	0,02	0,04	0,10	0,05	110,00
9-Set	0,02	2,90	0,30	0,21	240,00
12-Set	0,02	2,70	0,10	0,05	330,00
16-Set	0,05	3,10	0,10	0,13	320,00
19-Set	0,07	4,20	0,10	0,09	340,00
23-Set	0,05	5,00	0,10	0,07	380,00
26-Set	0,04	6,40	0,20	0,07	390,00
30-Set	0,02	5,70	0,20	0,05	370,00
4-Out	0,02	5,30	0,10	0,05	360,00

Tabela 20 - Concentração de nutrientes no tanque I4.

	I4				
Dia	Fe ²⁺	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
4-Set	0,02	0,03	0,10	0,04	100,00
9-Set	0,02	2,70	0,20	0,09	250,00
12-Set	0,04	4,30	0,30	0,07	300,00
16-Set	0,06	3,60	0,20	0,21	310,00
19-Set	0,08	5,50	0,30	0,27	330,00
23-Set	0,05	4,90	0,30	0,15	360,00
26-Set	0,02	5,20	0,30	0,19	350,00
30-Set	0,04	5,10	0,30	0,03	370,00
4-Out	0,02	5,60	0,20	0,02	390,00

Os gráficos das Figuras 19, 20, 21 e 22 retratam a relação entre a concentração de nitratos (NO₃⁻) e o Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para os tanques I1, I2, I3 e I4,

respetivamente.

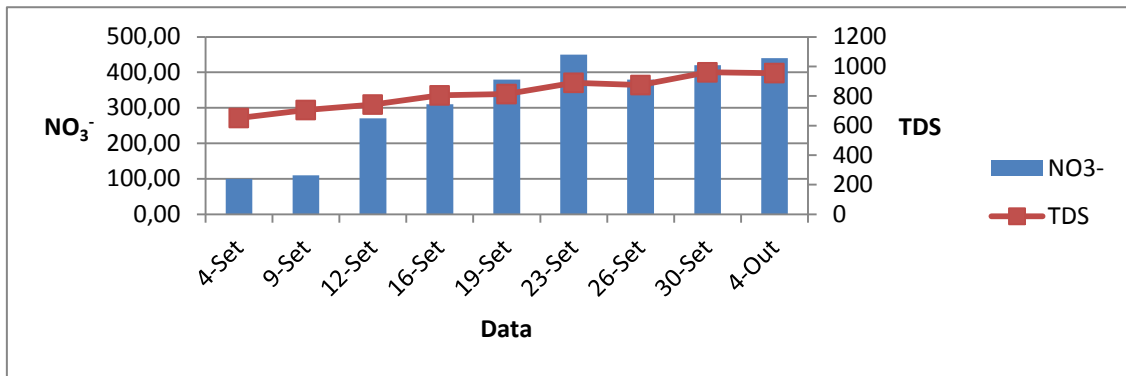


Figura 19 - Relação entre nitratos e total de sólidos dissolvidos no tanque I1.

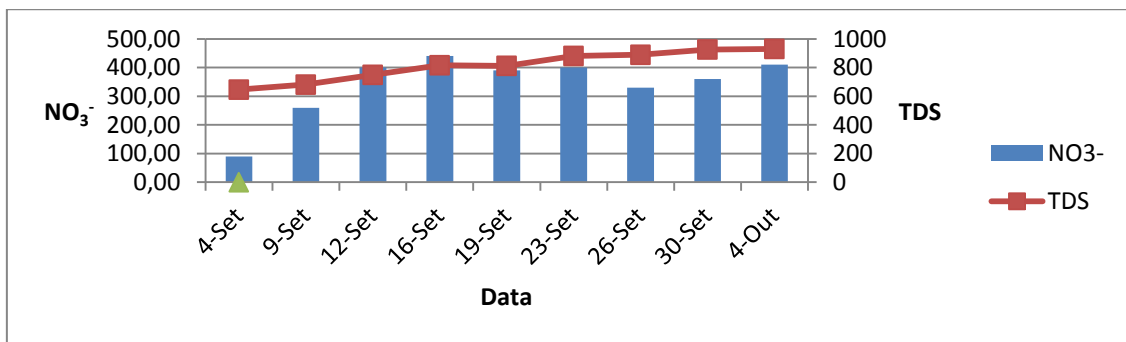


Figura 20 - Relação entre nitratos e total de sólidos dissolvidos no tanque I2.

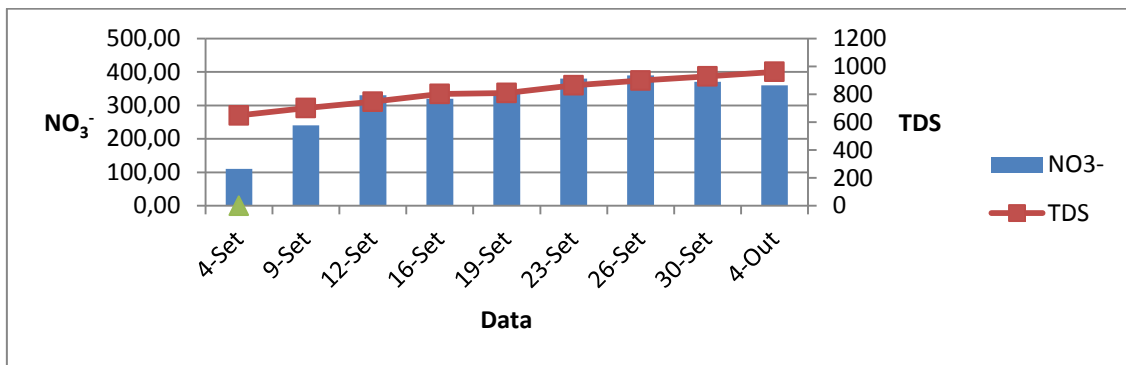


Figura 21 - Relação entre nitratos e total de sólidos dissolvidos no tanque I3.

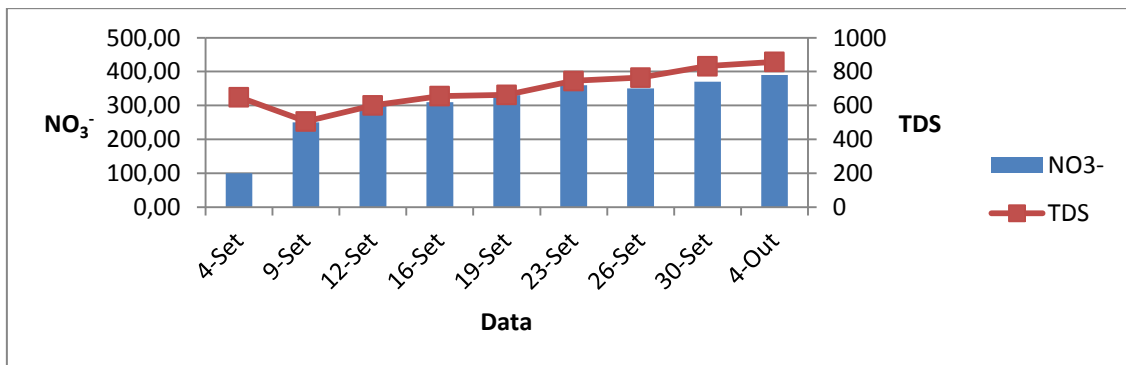


Figura 22 - Relação entre nitratos e total de sólidos dissolvidos no tanque I4.

Os valores de pH, temperatura, oxigénio dissolvido e TDS podem ser observados na seção de Materiais e Métodos, nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, respetivamente.

IV. Discussão de Resultados

4.1 Performance dos Peixes

A tenca é uma das poucas espécies de Ciprinídeos com um crescimento relativamente lento, mesmo com a melhor dieta, com alimento vivo, e à temperatura ótima (Wolnicki et al., 2003). No estudo realizado, em que se procurou estudar os efeitos de diferentes níveis de proteína da ração num sistema de Aquaponia, foram testadas duas rações, AP e EF, cujas composições nutricionais se encontram na Tabela 1. Os índices de crescimento dos indivíduos podem ser observados na Tabela 8 e na Tabela 21 encontram-se os valores da performance de juvenis de tenca noutras publicações, em que nenhum usou o método de produção empregue em Aquaponia.

Tabela 21 - Comparação da performance das tencas com estudos previamente publicados.

Autores	Ano	SGR	Fator Cond.	FCR
I1		0,48	1,27	3,87
I2		0,81	1,31	2,17
I3		0,68	1,36	2,63
I4		1,05	1,32	1,61
Quirós et al.	2003	0,65 - 0,74	1,25 - 1,27	
Wolnicki et al.	2003		1,15 - 1,22	
Wolnicki et al.	2006		1,20 - 1,38	
Celada et al.	2009	0,44 - 1,98	1,17 - 1,28	
Zakes et al.	2010	0,52 - 0,60	2,90 - 3,00	1,10 - 1,31
Garcia et al.	2010	0,92 - 1,28	1,23 - 1,40	
Pantazis et al.	2011	0,10 - 0,25		1,41 - 10,62
Nowosad et al.	2013	2,75 - 3,81	1,14 - 1,26	
Bahk et al.*	2009		1,51-1,95	
Erguden et al.*	2010		1,36 - 180	

A análise destes dados permite afirmar que a Taxa de Crescimento Específico encontrada, que mede a percentagem média de peso ganho por dia durante o período experimental (Herrero et al., 2005), se encontra dentro dos valores obtidos por outros autores. No entanto, populações naturais analisadas por Balik et al., (2009) e Erdugen e Goksu, (2010), possuíam valores mais elevados de SGR, provavelmente devido à

alimentação mais variada e completa a que estes peixes, no meio natural, estavam expostos. Neste estudo, os maiores valores de SGR foram obtidos nos tanques I2 e I4, alimentados com a ração EF, o que indica o efeito da mesma no crescimento dos indivíduos. É ainda de salientar que o estudo de rações nos sistemas de Aquaponia foi realizado num intervalo de tempo de apenas 31 dias, pelo que os efeitos das rações no crescimento dos peixes seriam, provavelmente, mais profundos ao longo de um período de tempo superior. Os gráficos da Figura 14 permitem a observação do desenvolvimento dos peixes, em termos de comprimento e peso, respetivamente, e a comparação entre a amostragem inicial e a amostragem final, discriminada por tanque. É ainda importante salientar a presença de diversos indivíduos, em todos os tanques, que ultrapassam o 3º percentil, podendo ser considerados *outliers*, mas nenhum se encontrou abaixo do 1º percentil.

A Taxa de Conversão de Alimento, FCR, representa a razão entre o ganho de peso do peixe e a quantidade de ração oferecida. Neste estudo, a quantidade de ração oferecida a cada tanque foi igual (alimentação a 1,5% da biomassa por tanque do primeiro dia, num total diário de 96 g e um total de 2976 g), e os valores mais altos de eficiência de conversão foram obtidos pelos tanques I2 e I4, com a ração EF. Estes valores estão em concordância com os obtidos por Pantazis et al. (2011), mas são superiores àqueles obtidos por Zakes et al., (2010).

Através da análise estatística realizada, é possível concluir que existiram diferenças significativas no peso e comprimento finais dos peixes no final dos 31 dias entre as duas rações testadas, e que não se encontraram diferenças significativas entre os dois replicados de cada ração, reforçando o efeito encontrado.

As necessidades nutricionais da tenca não são ainda conhecidas a uma extensão que permita a formulação de dietas específicas (Celada et al., 2009), e rações comerciais para outras espécies, como carpas, salmonídeos e até espécies marinhas, como robalo ou dourada, são comumente usadas para a produção de tencas (Quirós et al., 2003). Neste trabalho, a ração AP usada foi formulada para a produção de carpa, enquanto que a ração EF é usada para a produção de robalo.

O efeito da ração no crescimento de juvenis de tenca, e a sua composição foi já alvo de estudo. Num estudo realizado em duas fases, (Pantazis e Hatziniholaou, 2011) concluíram que a taxa de alimentação, no primeiro estudo, de 2% da biomassa por dia

foi a que obteve melhores resultados no crescimento dos peixes, apesar de terem obtido resultados de SGR inferiores aos deste estudo (Tabela 21), e no segundo estudo que a taxa de alimentação de 1% da biomassa por dia obteve maiores níveis de proteína na carcaça, e maiores níveis de lípidos. Kamler et al., (2006), referem também que 1% da biomassa por dia será a melhor taxa de alimentação para esta espécie, na fase sub-adulta, apesar de não terem no seu estudo resultados de performance. Acrescentam ainda que, sob risco de obter uma maior percentagem de peixes com deformidades, baixos índices de performance e elevados custos em ração, a as tencas não devem ser alimentadas em excesso.

No estudo de Pantazis e Hatziniholaou, (2011), é referido que, após consulta com vários produtores europeus, a temperatura ideal para a produção de tenca é de 27,5°C. Este valor é ligeiramente superior aos apresentados pelos tanques da investigação realizada nos sistemas de Aquaponia, cujas médias por tanque se encontram na Tabela 4. A temperatura, durante o trabalho experimental, não foi manipulada, pelo que a única medida usada para controlo da temperatura foi a construção das caixas que envolviam os tanques dos peixes, conferindo-lhes uma maior estabilidade em termos de variações de temperatura. Apesar deste fato, os indivíduos testados por Pantazis e Hatziniholaou, (2011), apresentaram uma Taxa de Crescimento Específico (SGR) inferior aos do trabalho reportado neste documento - Tabela 21.

Os efeitos da composição da ração tinham sido já investigados. No trabalho de Zakes et al., (2010), foram testados diferentes graus de substituição de lípidos da ração por lípidos de origem vegetal, como soja e colza. Segundo os resultados, não existiram diferenças significativas entre as rações suplementadas com óleos vegetais e a ração controlo, sem suplementação. Num outro estudo relacionado com o uso de óleos de proveniência vegetal, o uso de óleo de soja e óleo de linhaça obtiveram bons resultados, e os filetes analisados tinham uma razão baixa entre Ácidos Gordos Saturados e Ácidos Gordos Polinsaturados (ASF/PUFA), o que levou os autores a concluir que a carne da tenca pode ser considerada um alimento de alta qualidade para humanos.

Em relação ao teor de lípidos, Wolnicki et al., (2003), referiram ainda que rações de iniciação com altos níveis de gordura (10%) quando usadas com altas temperaturas de cultivo e como fonte única de alimento para os peixes, podem produzir indivíduos com valores de coeficiente de Fulton, ou Fator de Condição, significativamente mais altos

que peixes alimentados exclusivamente com rações naturais, ou com suplementação com compostos naturais. Segundo Wolnicki et al., (2003), será de esperar que peixes maiores, de maiores valores de Fator de Condição, tenham melhor performance em tanques exteriores e mesmo em águas naturais, do que peixes pequenos e mais magros, especialmente se expostos a condições ambientais desfavoráveis. Comparando os valores de Fator de Condição obtidos neste trabalho (Tabela 21), com aqueles obtidos por Wolnicki et al., (2003), é possível observar que os níveis superiores de lípidos das rações usadas, (Tabela 1), deverão ser os responsáveis pelos valores superiores neste estudo. Apesar de a ração oferecida ao tanque I3 ser igual à do tanque I1, e ser a ração com menor conteúdo de lípidos (AP), os valores de Fator de Condição obtidos foram superiores aos obtidos pelos tanques alimentados com a ração EF.

Uma vez que o sistema de Aquaponia se baseia na conversão de amônia, proveniente da metabolização da ração, em nutrientes para as plantas, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito do teor de proteína da ração num destes sistemas. Os maiores índices de crescimento dos peixes foram obtidos pelos peixes alimentados com a ração com percentagem mais elevada de proteína, e foram encontradas diferenças significativas entre o peso e comprimento de peixes alimentados com as rações testadas. Estes resultados contrariam aqueles obtidos por De Pedro et al., (2001), que não encontraram diferenças significativas entre peixes alimentados com rações entre 35 e 50% de proteína, referindo ainda que valores de proteína no alimento inferiores a 35% não são recomendados para esta espécie.

O uso de rações comerciais com altos valores de proteína tem sido associado, na produção de tenca, com altas mortalidades. Quirós et al., (2003), obtiveram bons resultados de sobrevivência usando rações com altos níveis de proteína, acima de 50%, específicas para enguia e robalo, com valores de SGR semelhantes ao deste estudo (Tabela 21). Também Wolnicki et al., (2006), obtiveram altas taxas de sobrevivência. No estudo do sistema de Aquaponia, houve apenas uma morte, no tanque I3, o que significa que as condições de produção conseguidas foram satisfatórias.

A performance da tenca em sistemas de produção não está apenas dependente do tipo de ração usado. Outros parâmetros são importantes, tais como a densidade, o *stress*, o substrato, a luz, etc. A densidade inicial usada foi de 12 g/L, com 663 indivíduos em cada tanque. Ao final dos 31 dias, a densidade foi determinada, através de uma amostra

significativa, para cada tanque - (Tabela 8). Os valores obtidos pelos tanques I2 e I4 são superiores, devido ao mais rápido crescimento dos indivíduos. Num estudo de Celada et al., (2007b), a densidade evoluiu de 4 g/L para 16,53 g/L, valores dentro do intervalo recomendado para outras espécies, sem efeitos nocivos para a sobrevivência ou o crescimento, sem que a densidade crítica tenha sido atingida. Isto significa que a tenca é uma boa espécie para produção intensiva, apesar do risco de exceder os valores críticos de concentração de oxigénio dissolvido e de amónia que lhe está associada (Zakes et al., 2006). Também no sistema de Aquaponia a densidade não prejudicou a sobrevivência, apesar de existir, em apenas 31 dias, algumas oscilações nos valores de compostos azotados dissolvidos na água. Uma vez que os sistemas de Aquaponia demoram algum tempo a atingir o equilíbrio, estas oscilações seriam certamente menos frequentes ao fim de 6 meses de operação contínua dos sistemas.

As tencas apresentam, geralmente, melhores taxas de crescimento em tanques exteriores do que em sistemas de produção *indoor* (Rennert et al., 2003). Conhecida como uma espécie tímida e delicada, têm uma elevada tendência para se esconder, sendo uma espécie altamente sensível ao *stress* provocado por interações antropogénicas (Arlinghaus et al., 2003), que existem em muito menor extensão em tanques exteriores. Neste mesmo estudo de digestibilidade, os autores referem que apesar de terem mantido as perturbações exógenas a um mínimo indispensável, os animais apresentaram baixas taxas de ingestão e performance. Celada et al., (2007b), indicam que aparentemente a falta de sítios onde se esconder nos tanques de produção leva a um comportamento anormal dos peixes. Nos sistemas de Aquaponia usados, tentou-se reduzir o *stress* fechando, sempre que possível, as duas camas de crescimento sobre o tanque, não permitindo a entrada de muita luz. Não existiam, todavia, espaços onde os peixes se pudessem esconder, pelo que formavam grandes grupos de peixes nos cantos quando as camas eram abertas, e reagindo em fuga à introdução de comida ou qualquer outra interação, tal como foi reportado por Celada et al., (2007b). Era possível observar que, após o fecho das camas de crescimento, os peixes adotavam uma postura mais relaxado, ocupando todo o volume de água no interior do tanque, sem zonas de maior densidade.

Arlinghaus et al., (2003), referem alguns conselhos para melhorar o trabalho experimental com tencas: as tencas usadas para investigação devem ser aclimatizadas antes do início do estudo experimental, por um período de várias semanas ou meses, e não devem ser manipuladas antes e durante o período experimental. Durante o trabalho

experimental aqui reportado, a manipulação foi mantida a um mínimo essencial, apesar de ser necessária a verificação de bombas, introdução de comida, etc., e os peixes já se encontravam no sistema há dois meses antes do início desta experiência.

Também a luz e o substrato representam fatores importantes para o bem-estar desta espécie. Quando expostos à ausência de luz, as tencas apresentam um padrão locomotor durante todo o ciclo de 24 horas, assim como quando expostos a luz vermelha, que não conseguem perceber (Celada et al., 2007a). Numa análise ao cortisol do plasma sanguíneo de tencas, Owen et al., (2010), concluíram que tencas expostas à luz têm uma resposta fisiológica de *stress* mais acentuada, o que vai de encontro às suas preferências de habitat. O substrato é importante para as tencas por três razões: reprodução, refúgio e alimentação. As tencas preferem fundos lamacentos e/ou de vegetação. A escolha de fundos lamacentos está relacionada com a turbidez que provocam na água, impedindo a penetração de luz, e também com as comunidades zoobentônicas que aqui se formam, alimento preferencial para as tencas (Moreno Rondón et al., 2003). A luz representa um fator mais relevante que o substrato, segundo Gallardo et al., (2006), em cujo estudo a exposição das tencas à luz as levou à escolha do substrato menos preferido, mas no escuro.

Nos sistemas de Aquaponia, os peixes foram expostos a um fotoperíodo normal, sem manipulação, apesar de passarem a maioria dos dias em semi-escuridão, com as camas de crescimento sobre os tanques fechadas. Este fator pode ter ajudado a reduzir o *stress* dos animais, aumentando os seus índices de crescimento. A manipulação da luz e do fotoperíodo pode aumentar a atividade em juvenis de tenca e, ao mesmo tempo, reduzir o seu *stress*, aumentando os seus índices de performance (Owen et al., 2010).

Aqui, o substrato usado era o fundo do tanque, de plástico branco. Não fazia parte dos objetivos desta produção que os peixes se alimentassem de alimento natural, nem que existisse desova, pelo que não se optou por usar areia grossa ou até mesmo lama como substrato. O uso de lama no fundo levaria a uma maior acumulação de matéria nas camas de crescimento, assim como um decréscimo na performance das bombas. No entanto, e de forma a reduzir o *stress* dos peixes, poderia ter-se fornecido algumas peças, como uniões, curvos e “T’s” de PVC, de diâmetro grande, para que os animais se pudessem esconder. Poderia ainda ter-se optado por fabricar, usando plástico, peças que simulassem plantas naturais, onde os peixes se pudessem esconder. Estas são

considerações a ter em conta no futuro, caso se desenvolvam mais estudos com esta espécie.

O conhecimento e respeito pelo ciclo biológico da espécie é fundamental para um produtor, e a tenca não é exceção. A tenca é um peixe com comportamento noturno, com preferência de alimentação durante a noite, condição observada recorrendo a alimentadores ativados pelos próprios peixes. Os peixes que foram, no estudo de Herrero et al., (2005), alimentados durante o dia, tinham uma primeira reação à comida, mas esperavam pelo escuro para se alimentarem. Nos sistemas de Aquaponia, foram fornecidas, durante a semana, três refeições por dia e, durante o fim-de-semana, duas. Estas refeições foram fornecidas durante o dia, o que pode ser um fator prejudicial ao relógio biológico normal da espécie, com consequências no seu crescimento, e aumento do *stress*. De manhã, os peixes eram alimentados com um terço (ou metade, ao fim-de-semana) da quantidade diária, por volta das 14h e finalmente por volta das 18h. Ao sábado e ao domingo existiam apenas a primeira e última refeição. Apesar de não sobrar muita ração nos tanques entre refeições, existia sempre uma quantidade residual de alimento. Entre a última refeição do dia e a primeira do dia seguinte, já não existia ração nos tanques, o que significa que os peixes consumiam também a ração que tinha sobrado desde o início do dia anterior, durante a noite. A ração, ao permanecer nos tanques muito tempo, perde certas características nutricionais e organolépticas, o que pode ser prejudicial para os animais (Herrero et al., 2005).

4.2 Performance das Plantas

Os sistemas de Aquaponia testados foram capazes de produzir plantas saudáveis de manjeriço. Todas as plantas foram capazes de produzir folhas, indiscutivelmente a parte mais usada da planta, fazendo parte da composição de temperos ou são utilizadas isoladamente em culinária, especialmente com massas (Paiva et al., 2011), e não apresentaram deficiências nutritivas, ou suscetibilidade a pragas. O manjeriço pode ser usado fresco para culinária, mas da planta pode também ser extraído um óleo essencial, de alto valor, usado por exemplo para perfumes, que se encontra sobretudo nas folhas, sendo a sua percentagem nos caules e folhas praticamente insignificante (May et al., 2008).

Os resultados estatísticos são algo confusos, tornando difícil encontrar qualquer relação entre a produtividade das plantas e as rações testadas, entre os tanques que foram alimentados com a mesma ração e até mesmo entre as duas camas de cada sistema testado (Tabelas 12 a 16).

Esta variação pode ser justificada de várias formas, começando com a variabilidade natural dentro das plantas em si. Como o número de replicados não é grande – apenas 14 plantas em cada cama – torna-se mais difícil encontrar o efeito que a variável testada pode ter no desenvolvimento das plantas, separando-o da variabilidade natural que plantas apresentam no seu crescimento. Como é possível observar nos gráficos das Figuras 15-18, existem grandes diferenças nos valores do crescimento das plantas, fato indicado pelos altos desvios-padrão (Tabela 11). Nas Figuras 15-18, é possível observar a presença de caixas de grandes dimensões, o que significa que os valores encontrados são muito dispersos, assim como os “bigodes” das mesmas, que marcam os 1º e 3º percentis (25 e 75%, respectivamente). Além disso, é possível observar o grande número de *outliers* – valores que se encontram a níveis inferiores ao 1º percentil ou superiores ao 3º percentil, o que retrata a enorme variabilidade encontrada no desenvolvimento das plantas.

Diversos fatores influenciam o crescimento das plantas. O principal fator que controla o crescimento de plantas e seu desenvolvimento é a luz, que atua nas plantas de forma complexa e afeta todas as suas fases de desenvolvimento (Chang et al., 2008). Em semelhança ao estudo de Succop e Newman (2004), a luz natural, a sua intensidade e fotoperíodo foram diminuindo, devido à mudança de estações, contribuindo para um crescimento mais reduzido das plantas. Admite-se que, durante o trabalho experimental, as camas de crescimento possam ter recebido diferentes taxas de irradiação solar, devido à estrutura da estufa em que o estudo foi realizado. A estufa encontrava-se orientada segundo um eixo Este-Oeste, pelo que o sol passava relativamente por cima da estufa durante o seu movimento diário. Uma vez que a estufa tem algumas chapas de cobertura, principalmente na entrada, de cor branca e opaca, é possível que certas camas de crescimento tenham recebido menor quantidade de luz, especialmente durante o período matinal.

A produção hidropônica é vista como uma alternativa com potencial à produção tradicional, existindo já muitas publicações com este tipo de testes. Plantas produzidas

em Hidroponia apresentaram maior massa verde total, seguida pelo tratamento em que se aplicou o cultivo em substrato comercial e substrato preparado pelos autores, que referiram ainda que o rendimento e a composição química dos óleos essenciais das plantas de cultivo hidropónico não diferiram significativamente dos obtidos de plantas produzidas em substrato comercial e substrato preparado (Fernandes et al., 2004).

O manjericão é cultivado com temperaturas entre 7 e 27°C, e em solos com pH entre 4,3 e 8,2. O seu desenvolvimento é mais acentuado quando a produção coincide com dias longos, com sol direto (Makri e Kintzios, 2005). No estudo de sistemas de Aquaponia, a temperatura da água e o pH foi mantido dentro destes intervalos, tendo havido uma monitorização constante e manipulação do nível de pH, devido à elevada taxa de nitrificação e consequente descida de pH. Não existiu manipulação da temperatura, que foi mantida graças às elevadas temperaturas do ar que se verificaram dentro da estufa durante o período experimental.

O nível de nutrientes é também fundamental para o desenvolvimento das plantas. Num estudo de Maboko e Du Plooy, (2013), o pH da solução nutritiva, para cultivo de manjericão em Hidroponia, foi mantida entre 5,8 e 6,1, e a Eletrocondutividade entre 2,0 e 2,4 mS/cm, o que em TDS equivale a valores entre 1000 e 1200 ppm. Em sistemas de Aquaponia, estes valores de pH seriam incomportáveis à vida dos peixes, pelo que o pH usado teve de ser superior. Os valores de TDS não chegaram a atingir estes valores tão elevados, tendo o valor mais alto atingido sido de 977 ppm (Tanque I1 – Tabela 7). Em 2004, Succop e Newman, (2004), referiram que a concentração de azoto afeta a produtividade das plantas de manjericão, e que o aumento da concentração de azoto no solo levou a um aumento do teor de nitratos nas plantas. Neste estudo, os altos valores de nitratos disponíveis poderão ter tido um efeito semelhante no crescimento das plantas e, apesar de uma análise à composição foliar das plantas não ter sido realizada, seria de esperar uma acumulação anormal de nitratos nas folhas. Num trabalho de Templeton e Kok, (2003), um teste de diferentes concentrações de nutrientes foi realizado, no qual altas concentrações na solução nutritiva provocaram um crescimento menor das raízes, não obtendo resultados inferiores em termos de crescimento foliar. No caso dos sistemas de Aquaponia, também se verificou um crescimento reduzido das raízes, provavelmente devido à grande disponibilidade de água e nutrientes, permitindo uma rápida absorção por parte das plantas, e evitando que esta produza grandes raízes na

procura de nutrientes e água, permitindo um crescimento mais acelerado da parte aérea da planta.

Num estudo de Hidroponia, mas com sistema flutuante, as plantas apresentaram um crescimento rápido e entraram em floração um mês após a sua colocação no sistema hidropónico. A acumulação de matéria seca nos ramos, folhas e raízes das plantas produzidas em Hidroponia foi muito superior na fase de floração do que na fase de crescimento vegetativo (Kiferle et al., 2011). Nos sistemas de Aquaponia, e apesar de o estudo também se ter realizado num período de um mês, as plantas não entraram em floração, pelo que seria expectável que uma maior produção e acumulação de matéria seca fosse atingível, se o período experimental fosse mais longo. Nos sistemas flutuantes, a produção hidropónica de manjeriço reduz a possibilidade de as plantas entrarem em *stress* oxidativo, perdendo qualidade, devido a alterações ambientais (Sgherri et al., 2010).

Uma técnica para aumentar a produção de manjeriço, e uma vez que a parte comerciável são as folhas, é aplicar cortes sucessivos à mesma planta. No estudo de May et al., (2008), notou-se que após o 5º corte houve uma redução na capacidade da planta de produção de folhas e no seu crescimento. Os cortes consecutivos aceleraram a senescência da planta, indicando que em produções comerciais, cujo objetivo é atingir a produção máxima de óleo por área, pode ser necessária uma substituição periódica das plantas. Nos sistemas de Aquaponia não se realizaram quaisquer cortes durante o período experimental, sendo a planta totalmente recolhida no final dos 31 dias de experiência.

A densidade de plantas é também um fator que afeta o seu rendimento. Nos sistemas de Aquaponia, foram plantadas 14 plantas numa área de 1,2 m², resultando numa densidade de 11,67 plantas/m². No estudo de Maboko e Du Plooy, (2013), a densidade de plantas afetou significativamente a produção e crescimento do manjeriço. As plantas produzidas a densidades de 20, 25 e 40 plantas por m² obtiveram resultados de produção significativamente superiores aos de plantas cultivadas com densidades menores, de 10 e 16 plantas/ m², concluindo que a densidade de 40 plantas/ m² melhorou significativamente o crescimento e produtividade de plantas de manjeriço num sistema fechado de Hidroponia. Segundo Makri e Kintzios, (2005), o plantio deve ser feito com 10-15 centímetros de espaçamento. Nos sistemas de Aquaponia, as plantas

foram colocadas com um espaçamento de 20 - 25 centímetros, no sentido de evitar que o crescimento de uma planta prejudicasse o crescimento das plantas vizinhas, impedindo-as de receber luz solar direta. No entanto, se uma densidade superior e um espaçamento menor tivessem sido usados, aumentar-se-ia o número de plantas por cama, ajudando a reduzir o efeito da variabilidade natural do crescimento das plantas podendo permitir, possivelmente, conclusões mais definitivas em relação ao efeito do nível de proteína da ração no crescimento das plantas nos sistemas de Aquaponia. O aumento do número de plantas ajudaria, também, à redução da concentração de nitratos do sistema, aumentando a estabilidade dos sistemas.

Em 2004, Fernandes et al. concluíram, através do seu estudo, que o uso de sistemas de Hidroponia é adequado à produção de manjeriço para comércio da planta fresca, sem que a característica aromática conferida pelos óleos essenciais da planta seja prejudicada. Apesar de não se ter realizado uma análise aos componentes das folhas, os resultados permitem concluir que os sistemas testados foram capazes de produzir plantas saudáveis de manjeriço, minimizando o consumo de água, a um mínimo de 0,80 % do volume total por dia. Minimizar o gasto de água, sem detrimento da qualidade do produto, tornou-se um assunto de importância crítica em certas áreas, devido à escassez de água da chuva da última década, possivelmente devido a alterações climáticas (Stefanelli et al., 2010).

4.3 Performance dos Sistemas de Aquaponia

Os resultados obtidos demonstram o funcionamento correto do sistema, no qual a introdução de ração e a sua metabolização pelos peixes produziu amónia, que o biofiltro, incorporado na LECA, foi capaz de transformar em nitratos, que promoveram o crescimento das plantas de manjeriço.

4.3.1 Oxigénio

Na Tabela 5, podemos observar os valores referentes ao oxigénio dissolvido. Para o funcionamento ótimo de um sistema de recirculação, é necessário o fornecimento constante de oxigénio dissolvido. Nos sistemas de Aquaponia, o nível de oxigénio foi mantido sempre igual ou acima de 5 ppm, valores recomendados para um crescimento ótimo dos peixes (Masser et al., 1999), mesmo durante a falha de energia que ocorreu

no dia 16 de Setembro. Quando a temperatura da estufa aumentou, e os níveis de oxigénios dissolvido começaram a decrescer, optou-se pela instalação de um sistema de fornecimento de ar comprimido adicional, que resultou num aumento da concentração de oxigénio dissolvido.

Em Aquaponia, o fornecimento de oxigénio dissolvido é fundamental, uma vez que todas os seus componentes vivos – peixes, plantas e bactérias – dele necessitam. Nos sistemas desenhados, aproveitou-se ainda a descarga de água das camas de crescimento com plantas de volta para o tanque para aumentar os níveis de oxigénio dissolvido, através de uma pequena cascata, em semelhança ao que reportam (Lennard e Leonard, 2004).

4.3.2 Temperatura

A temperatura é também um parâmetro essencial em sistemas de Aquaponia. A temperatura afeta também os diferentes componentes vivos do sistema, e deve encontrar-se em conformidade com os seus requerimentos. Na Tabela 4 é possível observar os dados recolhidos em relação à temperatura obtida. Nos sistemas de Aquaponia testados, não houve manipulação da temperatura. Os tanques com os peixes foram isolados, através de uma caixa de madeira e o espaço entre a caixa e o tanque preenchido por LECA. A temperatura mais baixa registada foi de 23,9°C, valores próximos do ideal para as plantas – temperatura ótima para Hidroponia é de 24°C, segundo Tyson et al., (2004) – mas ainda algo distante da temperatura ideal para a produção de juvenis de tenca – 27,5°C, segundo Pantazis e Hatziniholaou, (2011). As temperaturas foram registadas diariamente, durante a tarde, e aceita-se que tenha existido alguma variação, especialmente durante a noite. No entanto, o fato do estudo ter sido realizado no interior de uma estufa, e a presença das caixas de isolamento nos tanques dos peixes terão sido úteis na minimização desta variação diária da temperatura.

4.3.3 pH

Os valores obtidos no controlo diário do pH encontram-se compilados na Tabela 6. O pH, determinado pela medição de iões H^+ na solução, afeta muitos outros parâmetros da água, e a evolução de vários processos biológicos e químicos (Losordo et al., 1998).

Todos os componentes vivos de um sistema de Aquaponia são diretamente afetados pelo pH: os peixes devem ser mantidos a um pH entre 6,5 e 8,5 (Tyson et al., 2004), as bactérias nitrificantes têm um pH ótimo de funcionamento entre 7,0 e 8,0 (7,0 – 9,0, segundo (Rakocy et al., 2006)), sendo a sua ação inibida com um pH inferior a 6,0 (Masser et al., 1999), e as plantas, cuja produção em Hidroponia deve usar pH no intervalo 5,5 – 6,5, vêm a disponibilidade de nutrientes, como Boro, Zinco, Cobre, etc., ser altamente afetada pelo pH, como se pode observar na Figura 1 (Rakocy et al., 2006).

O compromisso entre o bem-estar dos peixes, eficiência da nitrificação e disponibilidade de nutrientes para as plantas é alcançado num sistema cujo pH se mantenha próximo de 7,0. O pH dos sistemas de Aquaponia testados foi verificado diariamente, e quando necessário foi manipulado, através do uso do composto “pH UP” – Anexo IV. Este produto foi aplicado sempre que o valor de pH medido era inferior a 6,5. No final do trabalho experimental, todos os tanques receberam, ainda que em dias diferentes, o mesmo volume deste composto, 700 ml, eliminando assim uma possível fonte de variação entre os diferentes sistemas. Outra forma usada para manipulação do pH foi a reposição do volume de água perdido por evapotranspiração, feita com água de um reservatório de pH médio de 7,4. Desta forma, o pH médio dos sistemas testados foi mantido entre 6,5 e 7,0, valores ótimos para a produção em Aquaponia, não prejudicando o crescimento dos peixes, e obtendo uma boa disponibilidade de nutrientes para as plantas.

4.3.4 Compostos Azotados

O pH afeta, como já referido, a ação das bactérias nitrificantes. Estas bactérias desempenham um papel fundamental na conversão da amónia produzida pelo metabolismo dos peixes. Os peixes são animais amoniotélicos (Moyle e Cech, 2004), e a amónia que excretam provem do catabolismo de proteínas endógenas e exógenas (Zakes et al., 2006). O pH da água afeta a forma em que a amónia se encontra, a um pH de 7,0, a maioria da amónia encontra-se na sua forma menos tóxica, a forma ionizada (NH_4^+), ao passo que a um pH de 8,75 até 30% da amónia existente encontra-se na forma mais tóxica para os peixes, a forma não-ionizada – NH_3 .

Os biofiltros são incorporados em sistemas de recirculação para converter a amónia, tóxica para os peixes, em compostos não tóxicos (Rakocy e Bailey). Os biofiltros são

normalmente compostos por um substrato de biofiltração, na superfície do qual crescem as bactérias nitrificantes, apesar de estas existirem em todos os componentes do sistema (Tyson et al., 2004). Dois grupos de bactérias são fundamentais: as *Nitrosomonas*, responsáveis pela conversão de amónia em nitritos, e as *Nitrobacter*, responsáveis pela conversão de nitritos em nitratos.

Pruszyński,(2003), refere que a taxa de excreção de amónia está mais intimamente relacionada com a magnitude de ingestão de proteína diária do que com o nível de proteína da ração em si. Já Nowosad et al., (2013), referem que, no seu estudo com juvenis de tenca, a quantidade de amónia excretada por unidade de peso não depende do tamanho do peixe, e que a biomassa da produção é o único fator que afeta a concentração de amónia na água. Segundo Endut et al., (2010), a quantidade de nitratos, oriundos da conversão da amónia produzida, é diretamente proporcional a dois fatores: a densidade de peixe no sistema e o conteúdo de proteína da ração.

No estudo dos sistemas de Aquaponia, foram testadas duas rações com níveis de proteína diferentes. Neste estudo, a densidade inicial de peixes no sistema e a taxa de alimentação foi idêntica em todos os tanques, pelo que as variações existentes nos níveis de amónia, observáveis nas Tabelas 17-20, são causadas pelo diferente teor proteico das rações. Apesar de ser recomendado que a concentração de amónia no sistema não seja superior a 0,05 ppm (Losordo et al., 1998), o valor máximo obtido foi de 0,3 ppm, nos tanques I2 e I4. Esta dificuldade do biofiltro em converter amónia está diretamente relacionada com uma maior produção de amónia por parte dos peixes, pois estes eram os tanques alimentados com a ração EF, com percentagem superior de proteína. A observação destes valores permite concluir que estes sistemas foram, durante o trabalho experimental, mais instáveis, devido ao tipo de ração usado, uma vez que a taxa de alimentação e a densidade de peixe eram semelhantes. Apesar disto, os sistemas de Aquaponia são sistemas altamente dependentes do biofiltro, que neste caso se encontrava incorporado com o substrato de cultivo. Os biofiltros demoram algum tempo a atingir o seu potencial máximo, pelo que é possível que, num estudo com uma duração mais longa, estes sistemas fossem capazes de metabolizar toda a amónia produzida pelos peixes.

No estudo de Zakes et al., (2006), os autores referem que os valores de excreção de amónia aumentaram imediatamente após a alimentação se iniciar, e que no grupo

alimentado apenas uma vez por dia este aumento se verificou durante 4 horas, atingindo valores até 5 vezes superiores aos registados previamente. Explicam ainda que o número de alimentações por dia teve um efeito significativo nos valores médios diários de produção de amónia, que aumentou com o aumento do número de refeições. Assim, o aumento do número de refeições por dia permite que a produção de amónia seja mais constante, evitando grandes picos na sua concentração durante o dia. No estudo realizado, as tencas dos sistemas de Aquaponia eram alimentadas, durante a semana, 3 vezes por dia, e durante o fim-de-semana duas. O fato de a verificação dos níveis de amónia ter sido feita, duas vezes por semana e sempre a dias da semana, antes da primeira alimentação do dia permite concluir que os resultados da concentração da amónia nos sistemas não foi afetada por nenhum dos dois fenómenos acima descritos.

O resultado da metabolização da amónia, pelas bactérias *Nitrosomonas* são nitritos. Os nitritos não apresentam a mesma toxicidade que a amónia para os peixes, mas pode causar problemas. Os nitritos têm a capacidade de se ligar á hemoglobina, presente no sangue, formando meta-hemoglobina, que assim se torna incapaz de transportar oxigénio, podendo levar à morte (Losordo et al., 1998). Desta forma, os nitritos devem também ser transformados, processo que ocorre graças às bactérias *Nitrobacter*. Estas bactérias usam os nitritos para o seu metabolismo, produzindo nitratos.

Os nitratos são usados pelas plantas para o seu crescimento vegetativo, e são benéficos para a produção de plantas com folhas, como alface e manjeriço (Rakocy e Bailey). No entanto, a acumulação excessiva de nitratos pode revelar-se um problema, com crescimento exagerado do caule e das folhas (Rakocy et al., 2006). A acumulação de nitratos tem ainda efeitos na produção de frutos, que é prejudicada por níveis altos deste composto. Os nitratos são muito menos tóxicos para os peixes que os compostos azotados que lhe dão origem, mas podem atingir valores (> 500 ppm) que prejudicam a performance dos peixes (Rakocy e Bailey). Os sistemas de Aquaponia devem, segundo Rakocy et al., (2006), ser operados com uma concentração de nitratos entre 1 e 100 ppm, dependendo do produto final que se pretende obter.

Nos sistemas testados, os nitratos sofreram uma grande acumulação. Os valores, observáveis nas Tabelas 17-20, indicam que a taxa de nitrificação foi muito elevada, e que as plantas não foram capazes de absorver todos os nitratos que foram produzidos, acumulando ao longo do período experimental. Estas concentrações altas de nitratos

provocaram um crescimento rápido nas plantas, sendo que todas produziram folhagem em apenas 31 dias. Provocaram ainda que certas plantas, com um crescimento excessivo das folhas em relação à capacidade do seu caule de aguentar o peso, se tombassem, prosseguindo depois o seu crescimento, apresentando fototaxia positiva – as folhas continuaram a desenvolver-se orientadas em direção à luz.

Em sistemas RAS, a acumulação de nitratos é, normalmente, uma preocupação para o produtor (Losordo et al., 1998). Para evitar a acumulação excessiva deste composto e de matéria orgânica, os sistemas RAS são geralmente desenhados para trocar entre 5 e 10% do volume total de água diariamente (Masser et al., 1999). Os sistemas de Aquaponia usam o subsistema hidropónico para a mesma tarefa, com a vantagem de adição de um novo produto ao rendimento final do sistema e reduzindo a taxa de renovação de água (Rakocy e Bailey).

Os sistemas de Aquaponia apresentam, como qualquer sistema de produção em aquacultura ou Hidroponia, consumo de água. O consumo de água em sistemas de Aquaponia é normalmente associado à remoção de sólidos, evaporação, transpiração das plantas e movimento dos peixes durante a alimentação (Donaher et al., 2013). Nos sistemas testados, a reposição do volume foi realizada duas vezes por semana, e o volume adicionado foi contabilizado, permitindo calcular a percentagem de água do sistema consumida por dia – Tabela 22. Na mesma tabela, é possível observar os valores de consumo de água de outros autores, e concluir que o consumo de água dos sistemas testados se encontra dentro da normalidade, obtendo até melhores resultados que muitos outros estudos em Aquaponia.

Tabela 22 - Comparação da taxa de consumo de água obtida no estudo com outros resultados previamente publicados.

Autores	Ano	% Consumo Diário de Água
I1		1,12
I2		0,90
I3		0,98
I4		0,80
Lennard e Leonard	2004	1,5
Graber e Junge	2009	2,43 - 2,86
Al-Hafedh et al.	2008	9,0 - 41
Danaher et al.	2013	1,4
Lennard e Leonard	2006	1,4 - 1,5
Rakocy et al.	2000	1,73 - 1,97

O biofiltro é então composto pelas bactérias nitrificantes e pelo substrato, usado para aumentar a área de colonização para as bactérias. Diferentes tipos de substratos podem ser usados, como gravilha, areia, anéis e esferas de plástico, tubos de plástico, etc. (Losordo et al., 1998; Losordo et al., 1999). Em Aquaponia, a agregação do subsistema de Hidroponia com o biofiltro elimina a necessidade de um biofiltro separado, e o seu custo associado (Al-Hafedh et al., 2008). O biofiltro pode ainda funcionar como filtro mecânico (Rakocy et al., 2006).

Caso haja uma acumulação de amónia, isto pode significar que o biofiltro não está a funcionar corretamente, ou que a taxa de alimentação não se encontra em concordância com a capacidade de filtração e/ou as dimensões do biofiltro. Diversos fatores podem explicar o funcionamento incorreto do biofiltro, como a morte das bactérias, ou inibição da sua ação pela idade avançada, toxicidade provocada pela adição de químicos ao sistema, falta de oxigénio dissolvido, uma vez que as bactérias são aeróbias, pH muito baixo, etc. (Masser et al., 1999).

Nos sistemas testados, LECA foi usada como substrato para o biofiltro, servindo ao mesmo tempo de filtro mecânico e substrato de cultivo para as plantas, em semelhança com o estudo de Graber e Junge, (2009). A alta taxa de nitrificação é resultado do correto funcionamento do biofiltro que, devido ao pouco tempo de estudo, não tinha ainda atingido o seu ponto máximo de maturação. Na sua função como filtro mecânico, o filtro provou ser também eficaz, uma vez que o efluente do subsistema hidropónico foi avaliado positivamente, no regresso ao tanque dos peixes, em termos de matéria em suspensão. No entanto, próximo do tubo que servia de proteção à entrada de água na cama de crescimento notou-se uma grande acumulação de matéria orgânica. Esta matéria orgânica foi transportada por força da bomba, e acumulou nesta zona. Para um funcionamento correto do sistema, esta zona foi remexida, de forma a dispersar a matéria orgânica e não formar aglomerados.

Contudo, esta acumulação pode ser importante para o operador do sistema. Como foi já referido, a desnitrificação é uma forma de controlar a concentração de nitratos num sistema de recirculação. Este processo ocorre em zonas anaeróbias, que normalmente se formam por acumulação de sólidos no filtro mecânico, podendo ser regulada pela sua limpeza (Rakocy e Bailey). Isto significa que se o filtro for limpo mais vezes, menor a

acumulação, menor a taxa de desnitrificação. Nos sistemas de Aquaponia testados, este fator podia ter sido usado, visto que houve uma acumulação acentuada de nitratos. Desta forma, permitindo que a acumulação prossiga, promove-se a desnitrificação, reduzindo assim a concentração de nitratos do sistema, uma vez que a desnitrificação forma azoto sob a forma de gás, que se perde para a atmosfera.

A desnitrificação pode também ser impedida por condições do sistema. Por ser um processo anaeróbio, não ocorre na presença de oxigênio, ou se o tempo de retenção da água nesta zona for insuficiente, ou ainda se houver falta de carbono disponível no sistema (Endut et al., 2010).

4.3.5 Balanço de outros nutrientes

Neste trabalho experimental, foram ainda acompanhadas as evoluções nas concentrações de Ferro e Fósforo, sob a forma de fosfato (PO_4^{3-}), através do uso de um fotómetro.

Segundo (Graber e Junge, 2009), a disponibilidade de fósforo em sistemas de Aquaponia, assim como de Potássio, encontra-se a níveis inferiores do que em Hidroponia. As plantas necessitam, para um crescimento normal, de mais azoto do que fósforo. (Rana et al., 2011) Tal condição verificou-se nos sistemas testados, em que após uma acumulação inicial, os níveis de fosfato estabilizaram nos dias finais do estudo – Tabelas 17-20. As plantas não apresentaram qualquer sinal de deficiência de fosforo, pelo que os níveis apresentados foram satisfatórios.

O Ferro proveniente das rações dos peixes é insuficiente para uma produção saudável, pelo que os sistemas de Aquaponia devem ser suplementados com Ferro, para que a sua concentração se encontre próxima dos 2 ppm. O Ferro deve ser introduzido na forma quelatada, em que uma molécula orgânica, ligada ao íao metálico, impede a sua precipitação e permite a absorção deste pelas plantas (Rakocy et al., 2006). Ao longo do trabalho experimental, os sistemas de Aquaponia não foram suplementados com Ferro. Esta decisão deveu-se ao fato de as plantas não apresentarem qualquer sinal de deficiência em Ferro, apesar das concentrações vestigiais obtidas - Tabelas 17-20.

O Potássio é muito importante para a produção de fruto de qualidade (Graber e Junge, 2009). Os níveis de Potássio não foram acompanhados ao longo do trabalho

experimental, mas o sistema foi suplementado com Potássio. O processo de nitrificação produz iões H^+ , que provocam uma descida constante do pH. Este efeito é acentuado pela alta taxa de nitrificação e pela baixa taxa de renovação de água, característicos de um sistema de Aquaponia (Rakocy e Bailey). Desta forma, o pH foi monitorizado diariamente, e a correção de pH feita com o composto “pH UP”, que na sua composição tem Carbonato de Potássio e Hidróxido de Potássio, como aconselhado por Graber e Junge, (2009).

Uma forma de acompanhar a “força” da água em termos de nutrientes é a medição do Total de Sólidos Dissolvidos – TDS – que mede coletivamente os nutrientes dissolvidos. Uma solução hidropónica deve encontrar-se, em termos de TDS, entre os 1000 e os 1500 ppm, mas uma solução de Aquaponia tem produções aceitáveis com níveis entre os 200 e os 400 ppm, diferença causada pela constante geração de nutrientes num sistema de Aquaponia (Rakocy et al., 2006). Ao longo do trabalho realizado, o nível de TDS foi acompanhado diariamente, e os resultados obtidos encontram-se compilados na Tabela 7. A análise desta tabela permite concluir que os valores obtidos são mais altos do que aqueles aconselhados para Aquaponia sem que, no entanto, tenha havido algum prejuízo na produção de plantas. Os valores de fitotoxicidade, de 2000 ppm ou acima, não foram atingidos.

A análise dos gráficos da evolução da concentração de nitratos e TDS, assim como as concentrações vestigiais de outros nutrientes, permite concluir que os nitratos dos sistemas foram o principal contribuinte para a medição de TDS, seguindo os dois parâmetros uma evolução muito semelhante, apesar dos valores altos de TDS iniciais. No entanto, estes valores de TDS iniciais, mais altos e discordantes dos valores de nitratos, podem ter sido influenciados por outros nutrientes não testados na altura, como ferro e potássio, regularmente adicionados ao sistema de onde a água foi recolhida. Estes iões terão sido provavelmente consumidos pelas plantas, sendo ao longo do restante trabalho experimental notória a associação entre TDS e nitratos.

V. Conclusões

Os sistemas de Aquaponia montados e testados tiveram uma performance aceitável, tendo sido capazes de produzir dois produtos de qualidade, tencas e manjeriço.

Os resultados obtidos de crescimento do peixe foram bons, e encontram-se em concordância com outros resultados publicados com a mesma espécie. A baixa mortalidade é sem dúvida sinal de que o sistema foi capaz de gerar as condições necessárias à vida dos peixes, e a sua taxa de crescimento, ingestão e conversão de alimento são iguais ou melhores que resultados publicados, pelo que ficou provado que os sistemas de Aquaponia são viáveis e capazes de usar os metabolitos produzidos pelos peixes para a produção, no subsistema hidropónico, de plantas. O efeito da ração no crescimento dos peixes foi significativo, com um crescimento superior nos tanques alimentados com a ração com nível superior de proteína, a ração EF.

Em termos de performance do sistema, foram mantidos níveis de oxigénio dissolvido aceitáveis, condição essencial para os três componentes vivos do sistema, peixes, plantas e bactérias. A variação do pH, normal num sistema de Aquaponia devido à alta taxa de nitrificação e à baixa taxa de renovação de água, foi acompanhado diariamente e manipulado, quando necessário, de forma a manter o pH dentro do intervalo 6,5 – 7,0, compromisso necessário para a vida das três parcelas vivas do sistema. A temperatura não foi manipulada, mas pelo fato de o estudo se ter realizado durante principalmente o mês de Setembro, e por se ter realizado dentro de uma estufa, a temperatura obtida, verificada diariamente, permitiu um bom crescimento, tanto da parte das plantas como da parte dos peixes.

As concentrações de nutrientes na água foram acompanhadas durante o período experimental. Verificou-se uma acumulação de nitratos em todos os sistemas, sinal do bom funcionamento do biofiltro, incorporado na LECA usada como substrato de cultivo. Este substrato serviu também de filtro mecânico, missão que cumpriu aceitavelmente, conclusão retirada da falta de partículas em suspensão em exagero no tanque dos peixes.

A produção de plantas foi aceitável, apesar da grande variabilidade que se encontrou nos resultados. O número reduzido de plantas por cama dificultou também a

possibilidade de aferir o efeito da ração no crescimento das plantas. No entanto, os tanques alimentados com a ração EF apresentaram uma maior variação nos valores de amónia e nitritos, o que significa que a ração com mais proteína dificultou o processo de equilíbrio do biofiltro e, conseqüentemente, do sistema, além do efeito já referido no crescimento dos peixes.

A variação das concentrações de amónia e nitritos nos sistemas, assim como a acumulação de nitratos em todos os sistemas, permitem concluir que uma ou mais variáveis dos sistemas não estava de acordo com a capacidade de biofiltração e absorção das plantas. As soluções poderiam ser:

- Manter a taxa de alimentação, mas reduzir a densidade de peixes, reduzindo assim a produção de amónia;
- Manter a densidade de peixes, mas reduzir a taxa de alimentação, reduzindo assim a produção de amónia;
- Aumentar o número de plantas em cada cama de crescimento, aumentando a taxa de absorção de nutrientes;
- Diminuir o número de limpezas das camas de cultivo, permitindo uma maior acumulação de matéria orgânica, promovendo a desnitrificação.
- Aumentar a relação entre o volume do substrato de cultivo (e de biofiltração) e o volume de água de 2/1 para 3/1 ou até mesmo para 4/1, aumentando a área de cultivo e de colonização de bactérias, aumentando a taxa de nitrificação e de absorção de nutrientes.

Qualquer uma das soluções apresentadas, ou até mesmo em conjunto, serviriam para aumentar o equilíbrio dos sistemas, reduzindo as concentrações de nitritos e amónia a valores residuais, melhorando a qualidade de vida dos peixes e reduzindo o seu *stress*. No entanto, é necessário ter em conta que o uso de um número maior de camas iria implicar modificar o esquema de funcionamento das bombas, pois é desaconselhado que estas encham mais do que uma cama de cada vez. Isto porque o nível de água no tanque dos peixes iria sofrer uma grande alteração se mais do que uma cama fosse enchida de cada vez, o que poderia levar a situações de desconforto para os peixes.

Em termos de gastos de água, os sistemas apresentaram valores iguais ou melhores do que aqueles apresentados por outros autores. Numa altura de clara redução de recursos,

e em que o excesso de nutrientes de efluentes de aquacultura e o exagero de água gasto em agricultura começam a ser encarados como irresponsáveis pelo consumidor, e os seus efeitos se magnificam no meio ambiente, a Aquaponia apresenta-se como uma solução viável. É importante salientar que estes gastos de água são resultado de evaporação e consumo pelas plantas, e nunca libertados para o ambiente, evitando assim fenómenos de eutrofização de massas naturais de água.

Apesar de todas estas valências, a Aquaponia apresenta também os seus defeitos. Necessita de um alto investimento inicial, mão-de-obra qualificada, etc.. Os custos de operação, embora semelhantes aos de um sistema RAS, são elevados, o que implica que o sistema seja operado a uma densidade alta, tanto na componente de aquacultura como na de hidroponia, o que pode levar o sistema para situações próximas dos limiares críticos. Um sistema de Aquaponia está dependente do movimento circulatório da água entre os seus componentes, e para tal é necessária energia. Situações como o corte de energia que se verificou neste trabalho experimental, no dia 16 de Setembro, devem ser evitados, especialmente depois de todo o investimento inicial aplicado. Para tal, deve existir um sistema de emergência, ativado automaticamente quando o sistema principal falha.

Também em termos de nutrientes os sistemas de Aquaponia apresentam falhas. Apesar de ser capaz de gerar nutrientes capazes de suprir as necessidades básicas das plantas, estes sistemas apresentam geralmente deficiências nos níveis de Ferro, Cálcio e Potássio, que devem ser adicionados ao sistema de forma regular. Um método natural de suplementação de sistemas de Aquaponia com estes nutrientes deve no futuro ser estudado, como o plantio de espécies de plantas que libertem Ferro, como cevada, ou o aumento do teor destes nutrientes na ração oferecida aos peixes, e estudando o seu processo de transmissão ao longo do sistema.

De forma geral, a Aquaponia tem a capacidade de poupança de espaço, uma vez que estes sistemas conseguem obter produtos de qualidade ocupando menos espaço que as produções em separado necessitariam. A baixa taxa de renovação de água permite que esta técnica seja usada em zonas áridas, que não se adequariam a uma produção de peixes nem de plantas, como zonas desérticas. Acrescentando um subsistema hidropónico a um sistema RAS, é possível o uso de um substrato que sirva de cultivo, filtro mecânico e biofiltro, poupando espaço e aliviando custos em material.

As espécies usadas provaram ter uma produção eficiente em sistemas de Aquaponia. O manjeriço, espécie procurada não só como erva de culinária, mas também devido ao seu óleo essencial, tem um mercado cada vez mais alargado. A tenca, apesar de não existir uma tradição de consumo no nosso País, é altamente apreciada pela sua carne e como peixe de pesca desportiva. Durante a elaboração deste documento não foi possível encontrar nenhuma referência a sistemas de Aquaponia operados com tenca, pelo que este trabalho experimental, embora pioneiro, provou que é uma espécie que tem as características ideais para este método de produção: alta resistência a mudanças de temperatura, pH e oxigénio dissolvido, temperaturas ótimas de produção altas, próximas das ideais para o cultivo hidropónico.

Finalmente, é importante falar da situação da Aquaponia em Portugal. Como técnica recente, existem já alguns focos de interesse no nosso país, e a vontade de aprender e desenvolver este método. Portugal tem, no entanto, algumas limitações inerentes:

- Falta de tradição de consumo de peixes de água doce. Provavelmente devido à enorme linha de costa que o nosso país apresenta, e apesar de ser um dos países com maior consumo de peixe *per capita*, a maioria do peixe consumido é marinho, diminuindo drasticamente os mercados que poderiam comercializar peixe produzido em Aquaponia;
- Inexistência de certificação orgânica e/ou biológica para produtos de Hidroponia. Em Portugal, a certificação biológica abrange apenas produtos de cultivo tradicional, em solo, pelo que apesar de a Aquaponia ser um método de produção biológico, sem recurso a pesticidas, não se prevê que possa nos próximos tempos ter a certificação biológica que já tem noutros países, como os Estados Unidos;
- Proibição de produção de tilápia. A maioria dos sistemas de Aquaponia é operada com recurso à tilápia. Trata-se de um peixe muito resistente, com uma taxa de crescimento muito alta (ao contrário da tenca), uma carne de qualidade e que tem, à semelhança da tenca, uma temperatura ótima de produção que se adequa à de produção vegetal hidropónica. Todavia, em Portugal é considerada uma espécie invasora, de produção proibida.

Todas as razões acima referidas não serão, na opinião do autor, suficientes para travar a expansão desta técnica em Portugal. Cada vez mais o consumidor exige produtos de

qualidade, que garantam a sua saúde e a do planeta. A Aquaponia é um método de produção sustentável, sem consequências para o meio ambiente e que replica o que a Natureza tem de melhor, o desenvolvimento através da simbiose.

VI. Bibliografia

- Abdi, H., *The Bonferonni and Sidák Corrections for Multiple Comparisons*.
- Adámek, Z., Sukop, I., Moreno Rondón, P., Kouril, J., *Food competition between 2+ tench (Tinca tinca L.), common carp (Cyprinus carpio L.) and bigmouth buffalo (Ictiobus cyprinellus Val.) in pond polyculture*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 165-169.
- Al-Hafedh, Y.S., Alam, A., Beltagi, M.S., *Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants*. Journal of the World Aquaculture Society, 2008. Vol. 39, No. 4.
- Arlinghaus, R., Wirth, M., Rennert, B., *Digestibility measurements in juvenile tench (Tinca tinca L.) by using a continuous filtration device for fish faeces*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 152-156.
- Balik, Í., Çubuk, H., Çmar, S., Ozkok, R., *Population structure, growth, mortality and estimated stock size of the introduced tench, Tinca tinca (L.), population in Lake Beysehir, Turkey*. J. Appl. Ichthyol., 2009. 25:206-210.
- Bernstein, S., *Aquaponic Gardening, a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. New Society Publishers, 2011.
- Blidariu, F., Grozea, A., *Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics – Review*. Animal Science and Biotechnologies, 2011. 44 (2).
- Buchtová, H., Svobodová, Z., Flajshans, M., Vorlová, L., *Analysis of growth, weight and relevant indices of diploid and triploid population of tench Tinca tinca (Linnaeus 1758)*. Aquaculture Research, 2003. 34: 719-726.
- Carral, J.M., Rodriguez, R., Celada, J.D., Sáez-Royuela, M., Aguilera, A., Melendre, P., *Successful gonadal development and maturation of tench (Tinca tinca L.) in small concrete ponds*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 130-131.
- Castellani, D., Camargo, A.F.M., Abimorad, E.G., *Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (Macrobrachium amazonicum) para produção de alface (Lactuca sativa) e agrião (Rorippa nasturtium aquaticum) hidropónicos*. Bioikos, Campinas, 2009. 23 (2): 67-75.
- Celada, J.D., Aguilera, A., Carral, J.M., Sáez-Royuela, M., Melendre, P.M., *Rearing tench (Tinca tinca L.) larvae on live feed (Artemia) and on two transition schedules from live to dry diets*. J. Appl. Ichthyol. 2008. 24: 595-600.
- Celada, J.D., Aguilera, A., Carral, J.M., Sáez-Royuela, M., Melendre, P.M., Pérez, J.R., *Effects of stocking density on survival and growth of juvenile tench (Tinca tinca L.)*. Aquacult Int, 2007. 15: 461-465.
- Celada, L.D., Aguilera, A., García, V., Carral, J.M., Sáez-Royuela, González, R., González, Á., *Rearing juvenile tench (Tinca tinca L.) under controlled conditions using Artemia nauplii as supplement to a dry diet*. Aquaculture Int. 2009. 17: 565-570.

Celada, L.D., Carral, J.M., Rodríguez, R., Sáez-Royuela, M., Aguilera, A., Melendre, P., Martín, J., *Tench (Tinca tinca L.) larvae rearing under controlled conditions: density and basic supply of Artemia nauplii as the sole food*. Aquacult Int, 2007. 15: 489-495.

Celada, J.D., García, V., Carral, J.M., Sáez-Royuela, M., González, R., González, Á., *Decapsulated Artemia cysts of diferente quality (high or low hatch-rate) as direct food for tench (Tinca tinca L.) larvae*. Aquaculture Research, 2013. 44: 167-175.

Chang, X., Alderson, P.G., Wright, C.J., *Solar irradiance level alters the growth of basil (Ocimum basilicum L.) and its content of volatile oils*. Environmental and Experimental Botany, 2008. 63: 216-223.

Collazos, M.E., Barriga, C., Ortega, E., *Effect of high summer temperatures upon granulocyte phagocytic function of the tench (Tinca tinca L.)*. Comp. Immun. Microbiol. infect. Dis., 1995. Vol. 18, No 2: 115-121.

Collazos, M.E., Ortega, E., Barriga, C., *Influence of the temperature upon the proliferative response of lymphocytes of tench (Tinca tinca) during winter and summer*. Comp. Immun. Microbiol. infect. Dis., 1995. Vol. 18, No 3: 209-214.

Davies, J.M., *Comparison of Mulches for Fresh-market Basil Production*. Hort Science, 1994. 29 (4): 267-268.

De Pedro, N., Guijarro, A.I., Delgado, M.J., López-Patiño, M.A., Pinillos, M.L., Alonso-Bedate, M., *Influence of dietary composition on growth and energy reserves in tench (Tinca tinca)*. J. Appl. Ichthyol., 2001. 17: 25-29.

Donaher, J.J., Shultz, R.C., Bailey, D.S., Rakocy, J.E., *Alternative Solids Removal for Warm Water Recirculating Raft Aquaponic Systems*. Journal of the World Aquaculture Society, 2013. Vol. 44, No. 3.

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., Hassan, A., *A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system*. Bioresource Technology, 2010. 101: 1511-1517.

Erdugen, S.A., Goksu, M.Z.L., *The Reproductive Biology of the Tench Tinca tinca (L., 1758) in Seyhan Reservoir (Adana, Turkey)*. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2011. 10 (8): 1041-1044.

Erdugen, S.A., Goksu, M.Z.L., *Age, growth and sex ratio of tench Tinca tinca (L., 1758) in Seyhan Dam Lake, Turkey*. J. Appl. Ichthyol., 2010. 26: 546-549.

FAO – Food and Agriculture Organization

Fernandes, P.C., Facanali, R., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R., Marques, M.O.M., *Cultivo de manjeriço em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido*. Horticultura Brasileira, 2004. nº 2: 260-264.

Flajshans, M., Gela, D., Kocour, M., Buchtová, H., Rodina, M., Psenicka, M., Kaspar, V., Piacková, V., Sudová, E., Linhart, O., *A review on the potencial of triploid tench for aquaculture*. Rev Fish Biol Fisheries, 2010. 20: 317-329.

- Gallardo, J.M., Garcia, J.C.E., Ceballos-Zúñiga, E.G., Pérez, J.J.P-R., *Selective behavior of a tench, Tinca tinca (L.), stock in different light-substrate combined conditions*. Aquaculture International, 2006. 14: 163-170.
- García, V., Celada, J.D., Carral, J.M., González, R., González, Á., Sáez-Royuela, M., *A comparative study of different preparations of decapsulated Artemia cysts as food for tench (Tinca tinca L.) larvae*. Animal Feed Science and Technology, 2011. 170: 72-77.
- García, V., Celada, J.D., Carral, J.M., Sáez-Royuela, M., González, R., González, Á., *Decapsulated Artemia Cysts: A Suitable Dietary Supplement for Juvenile Tench (Tinca tinca L.)*. Journal of Applied Aquaculture, 2010. 22: 57-65.
- Gela, D., Flajshans, M., Kocour, M., Rodina, M., Linhart, O., *Tench (Tinca tinca) broodstock management in breeding station under conditions of pond culture: a review*. Aquaculture International, 2006. 14: 195-203.
- Gela, D., Kocour, M., Flajshans, M., Linhart, O., Rodina, M., *Comparison of performance of genome manipulated and standard tench, Tinca tinca (L.), groups under pond management conditions*. Rev Fish Biol Fisheries, 2010. 20: 301-306.
- Graber, A., Junge, R., *Aquaponics Systems, Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production*. Desalination, 2009. 246: 147-156.
- Gruda, N., *Impact of Environmental Factors on Product Quality of Greenhouse Vegetables for Fresh Consumption*. Critical Reviews in Plant Sciences, 2005. 24: 227-247.
- Hassan, M.A.E., Abo-Elyousr, K.A.M., *Impact of compost application on Fusarium wilt disease incidence and microelements contents of basil plants*. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2013. Vol. 46, No. 16: 1904-1918.
- Hassanpouraghdam, M.B., Gohari, G.R., Tabatabaei, S.J., Dadpour, M.R., *Inflorescence and leaves essential oil composition of hydroponically grown Ocimum basilicum L.* J. Ser. Chem. Soc., 2010. 75 (10): 1361-1368.
- Herrero, M.J., Pascual, M., Madrid, J.A., Sánchez-Vásquez, F.J., *Demand-feeding rhythms and feeding-entrainment of locomotor activity rhythms in tench (Tinca tinca)*. Physiology and Behaviour, 2005. 84: 595-605.
- Hochmuth, R.C., Davis, L.L.L., Laughlin, W.L., Simonne, E.H., *Evaluation of Organic Nutrient Sources in the Production of Greenhouse Hydroponic Basil*. North Florida Research and Education Center. Research Report 2003-08.
- Hussain, A.I., Anwar, F., Sherazi, S.T.H., Przybylski, R., *Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (Ocimum basilicum) essential oils depends on seasonal variations*. Food Chemistry, 2008. 108: 986-995.
- Kamler, E., Myszkowski, L., Rafalkaminski, Korwin-Kossakowski, M., Wolnicki, J., *Does overfeeding affect tench Tinca tinca (L.) juveniles?* Aquaculture International, 2006. 14: 99-111.
- Kiferle, C., Lucchesini, M., Mensuali-Sodi, A., Maggini, R., Raffaelli, A., Pardossi, A., *Rosmarinic acid content in basil plants grown in vitro and in hydroponics*. Central European Journal of Biology, 2011. 6 (6): 947-957.

- Kiferle, C., Maggini, R., Pardossi, A., *Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (Ocimum basilicum L.) grown in hydroponic culture*. Australian Journal of Crop Science, 2013. / (3): 321-327.
- Kintzios, S., Makri, O., Panagiotopoulos, E., Scapeti, M., *In vitro rosmarinic acid accumulation in sweet basil (Ocimum basilicum L.)*. Biotechnology Letters, 2003. 23: 405-408.
- Kocour, M., Gela, D., Rodina, M., *Performance of diferente tench, Tinca tinca (L.), groups under semi-intensive pond conditions: it is worth establishing a coordinated breeding program*. Rev Fish Biol Fisheries, 2010. 20: 345-355.
- Lange, D.L., Cameron, A.C., *Pre- and Postharvest Temperature Conditioning of Greenhouse-grown Sweet Basil*. Hort. Science, 1997. 32 (1): 114-116.
- Lennard, W. A., Leonard, B. V., *A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic system*. Aquaculture International, 2004. 12: 539-553.
- Lennard, W. A., Leonard, B. V., *A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system*. Aquaculture International, 2006. 14: 539-550.
- Lo Faso, R.P.F., Gemio, R.V., García, J.C.E., Ceballos-Zúñiga, E.G., Bueno, C., Gallardo, J.M., *Tench (Tinca tinca L.) fish farms as a tool for environmental education*. Aquaculture interna-tional, 2006. 14: 209-218.
- Losordo, T.M., Masser, M.P., Rakocy, J., *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems – A Review of Component Options*. Southern Regional Aquaculture Center, 1999. No. 453.
- Losordo, T.M., Masser, M.P., Rakocy, J., *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems – An Overview of Critical Considerations*. Southern Regional Aquaculture Center, 1998. No. 451.
- Lovell, T., *Nutrition and Feeding of Fish (2nd Edition)*, 1998. Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Maboko, M.M., Du Plooy, C.P., *High-plant density planting of basil (Ocimum basilicum) during summer/fall growth season improves yield in a closed hydroponic system*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science, 2013. Vol. 63, No. 8: 748-752.
- Maia, J.T.L.S, Martins, E.R., Costa, C.A., Ferraz, E.O.F., Alvarenga, I.C.A., Souza Júnior, I.T., Valadares, S.V., *Influência do cultivo em consórcio na produção de fitomassa e óleo essencial de manjeriçã (Ocimum basilicum L.) e hortelã (Mentha x villosa Huds.)*. Ver. Bras. Pl. Med. 2009. v. 11, n. 2: 137-140.
- Makri, O., Kintzios, S., *Ocimum sp. (Basil): Botany, Cultivation, Pharmaceutical Properties, and Biotechnology*. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants, 2007. Vol. 13 (3).

Malik, A.A., Suryapani, S., Ahmad, J., *Chemical vs Organic Cultivation of Medicinal and Aromatic Plants: the choice is clear*. Int. J. Med. Arom. Plants, 2011. Vol. 1, No. 1: 5-13.

Matsumoto, S.N., Araujo, G.S., Viana, A.E.S., *Growth of sweet basil on nitrogen and potassium doses*. Horticultura Brasileira, 2013. 31: 489-493.

Masser, M.P., Rakocy, J., Losordo, T.M., *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems – Management of Recirculating Systems*. Southern Regional Aquaculture Center, 1999. No. 452.

May, A., Bovi, O.A., Maia, N.B., Barata, L.E.S., Souza, R.C.Z, Souza, E.M.R., Moraes, A.R.A., Pinheiro, M.Q., *Basil plant growth and essential oil yield in a production system with successive cuts*. Bragantia, Campinas, 2008. v. 62, n°2: 385-389.

Microfarmgardens.com

Moreno Rendón, P., Gallardo, J.M., Ceballos, E.G., Regadera, J.J.P., *Determination of substrate preferences of tench, (*Tinca tinca* L.), under controlled experimental conditions*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 138-141.

Moyle, B.P., Cech Jr, J.J., *Fishes – an introduction to Ichthyology*; Chapter 7: Feeding, Nutrition, Digestion and Excretion. Pearson Benjamin Cummings, 2004.

Myszkowski, L., Kaminski, R., Wolnicki, J., *Response of juvenile tench *Tinca tinca* (L.) to the anaesthetic 2-phenoxyethanol*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 142-145.

Nowosad, J., Zarski, D., Bilas, M., Dryl, K., Krejszeff, S., Kucharczyk, D., *Dynamics of ammonia excretion in juvenile common tench, *Tinca tinca* (L.), during intensive rearing under controlled conditions*. Aquacult Int, 2013. 21: 629-637.

Ostaszewska, T., Korwin-Kossakowski, M., Wolnicki, J., *Morphological changes of digestive structures in starved tench (*Tinca tinca* L.) juveniles*. Aquaculture International, 2006. 14: 113-126.

Owen, M.A.G., Davies, S.J., Sloman, K.A., *Light colour influences the behavior and stress physiology of captive tench (*Tinca tinca*)*. Rev Fish Biol Fisheries, 2010. 20: 375-380.

Paiva, E.P., Maia, S.S.S., Cunha, C.S.M., Coelho, M.F.B., Silva, F.N., *Composição do substrato para o desenvolvimento de mudas de majoricão (*Ocimum basilicum* L.)*. Revista Caatinga, Mossoró, 2011. v. 24, n. 4: 62-67.

Pantazis, P.A., Hatzinikolaou, A., *The effect of ration level on the growth and survival of sub-adult tench (*Tinca tinca* L. 1758) in a recirculating water system*. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 2011. Vol. 44, No. 2: 125-130.

Pruszinski, T., *Effects of feeding on ammonium excretion and growth of the African catfish (*Clarias gariepinus*) fry*. Czech J. Anim. Sci. 2003. 48: 106-112.

Quirós, M., Alvariño, J.M.R., *Growth and survival of tench larvae fed under different feeding strategies*. J. Appl. Ichthyol, 2000. 16: 32-35.

- Quirós, M., Nicodemus, N., Alonso, M., Bartolomé, M., Écija, J.L., Alvariño, J.M.R., *Survival and changes in growth of juvenile tench (Tinca tinca L.) fed defined diets commonly used to culture non-cyprinid species*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 149-151.
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., *Initial Economic Analysis of Aquaponics Systems*.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M., *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems – Aquaponics – Integrating Fish and Plant culture*. Southern Regional Aquaculture Center, 2006. No. 454.
- Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S., *Commercial Aquaponics for the Caribbean*. Proceedings for the 51st Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 2000. GCFI: 51.
- Rana, S., Bag, S.K., Golder, D., Mukherjee, R.S., Pradhan, C., Jana, B.B., *Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants*. Ecological Engineering, 2011. 37: 981-988.
- Rennert, B., Kohlmann, K., Hech, H., *A performance test with five different strains of tench (Tinca tinca L.) under controlled warm water conditions*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 161-164.
- Reuveni, R., Dudai, N., Putievski, E., *NUFAR: A Sweet Basil Cultivar Resistant to Fusarium Wilt*. Hort. Science, 1998. 33 (1): 159.
- Rodríguez, R., Celada, J.D., Sáez-Royuela, M., Carral, J.M., Aguilera, Melendre, P., *Artificial reproduction in 1-year-old tench (Tinca tinca L.)*. J. Appl. Ichthyol., 2004., 20: 542-544.
- Rodríguez, R., Celada, J.D., Sáez-Royuela, M., Carral, J.M., Aguilera, A., Pérez, J.R., Melendre, P.M., *Egg production of tench (Tinca tinca L.) kept in semi-intensive culture conditions*. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 2008. 4: 388.
- Rothbard, S., Biton, I., Kulikovski, Z., *Breeding, production and marketing of golden tench (Tinca tinca (L.)) in Gan Shmuel Fish Breeding Center, Israel*. Rev Fish Biol Fisheries, 2010. 20: 367-373.
- Sajjadi, S.E., *Analysis of the essential oils of two cultivated basil (Ocimum basilicum L.) from Iran*. DARU, 2006. Volume 14, No. 3.
- Sgherri, C., Ceconami, S., Pinzino, C., Navari-Izzo, F., Izzo, R., *Levels of antioxidants and nutraceuticals in basil grown in hydroponics and soil*. Food Chemistry, 2010. 123: 416-422.
- Shete, A.P., Verma, A.K., Tandel, R.S., Prakash, C., Tiwari, V.K., Hussain, T., *Optimization of Water circulation Period for the Culture of Goldfish with Spinach in Aquaponic System*. Journal of Agricultural Science, 2013. Vol. 5, No. 4.
- Skrzypczak, A., Mamcarz, A., *Changes in commercially exploited populations of tench (Tinca tinca L.) in lakes of Northeastern Poland*. Aquaculture international, 2006. 14: 179-193.
- Spillman, C.J., *Faune de France, Poissons d'eau douce*. French Federation of Natural Sciences, 1961. 65: 303.

- Stefanelli, D., Goodwin, I., Jones, R., *Minimal nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients*. Food Research International, 2010. 43: 1833-1843.
- Steffens, W., *The tench, Tinca tinca L., a neglected pond species*. Polish Arch. Hydrobiol., 1995. 42: 161-180.
- Steffens, W., Wirth, M., *Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (Cyprinus carpio) and tench (Tinca tinca)*. Aquacult int, 2007. 15:313-319.
- Succop, C.E., Newman, S.E., *Organic Fertilization of Fresh Market Sweet Basil in a Greenhouse*. Hortechonology, 2004. 14 (2): 235-239.
- Templeton, K., Kok, R., *Simplified hydroponic roduction systems for urban food production on rooftops*. The Canadian society for engineering in agricultural, fod, and biological systems, 2003. Paper No. 3-349.
- The IBC of Aquaponics. Backyard Aquaponics, 2011.
- Tomás-Vidal, A., Martínez-Llorens, S., Jambrina, C., González, R.S., Cerdá, M.J., *Effects of dietary soybean meal on growth, nutritive efficiency and body composition of cultured tench (Tinca tinca)*. J. Appl. Ichthyol., 2011. 27: 892-896.
- Turchini, G.M., Moretti, V.M., Mentasti, T., Orban, E., Valfrè, F., *Effects of dietary lipid source on fillet chemical composition, flavor volatile compounds and sensory characteristics in the freshwater fish tench (Tinca tinca L.)*. Food Chemistry, 2007. 102. 1144-1155.
- Tyson, R.V., Simonne, E.H., White, J.M., Lamb, E.M., *Reconciling water quality parameters impacting nitrification in Aquaponics: the pH levels*. Proc. Fla. State Hort. Soc., 2004. 117: 79-83.
- Wang, J., Min, W., Guan, M., Gong, L., Ren, J., Huang, Z., Zheng, H., Zhang, J., Liu, H., Han, Y., *Tench farming in China: present status and future prospects*. Aquaculture International, 2006. 14: 205-208.
- Wedekind, H., Rennert, B., Kohlmann, K., *Product quality in different strains of tench (Tinca tinca) tested under controlled environmental conditions*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 174-176.
- Wolnicki, J., Górný, W., *Suitability of two commercial dry diets for intensive rearing of larval tench (Tinca tinca L.) under controlled conditions*. Aquaculture, 1995. 129: 251-259.
- Wolnicki, J., Kaminski, R., Myszkowski, L., *Survival, growth and condition of tench Tinca tinca (L.) larvae fed live food for 12, 18 or 24 h a day under controlled conditions*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 146-148.
- Wolnicki, J., Myszkowski, L., Kaminski, R., *Effect of supplementation of a dry feed with natural food on growth, condition and size distribution of juvenile tench (Tinca tinca L.)*. J. Appl. Ichthyol., 2003. 19: 157-160.

Wolnicki, J., Myszowski, L., Korwin-Kossakowski, M., Kamisni, R., Stanny, L.A., *Effects of different diets on juvenile tench, (Tinca tinca L.) reared under controlled conditions*. Aquaculture International, 2006. 14: 89-98.

www.packagingconnections.com

Zakes, Z., Demska-Zakes, K., Jarocki, P., Stawecki, K., *The effect of feeding on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile tench Tinca tinca (L.) reared in a water recirculating system*. Aquaculture International, 2006. 14: 127-140.

Zakes, Z., Jankowska, B., Jarmolowicz, S., Zmijewski, T., Partyka, K., Demska-Zakes, K., *Effects of different dietary fatty acids profiles on the growth performance and body composition of juvenile tench (Tinca tinca (L.))*. Rev. Fish Biol. Fisheries, 2010. 20: 389-401.