

DIMENSIONAMENTO DE LAYOUTS AQUAPÔNICOS COM NFT E TORRES AEROPÔNICAS PARA O CULTIVO DE ALFACE

João Marcos Ferrari Rubio¹;

¹Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

Lilian Elgalise Techio Pereira²;

²Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

Adriano Rogério Bruno Tech³.

³Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

RESUMO: A organização espacial dos componentes de sistemas aquapônicos pode influenciar a capacidade de cultivo vegetal por unidade de área, especialmente em locais com limitação de espaço. Este estudo teve como objetivo desenvolver e comparar layouts aquapônicos utilizando o sistema Nutrient Film Technique (NFT) e torres aeropônicas verticais para o cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), considerando uma área padronizada de 200 m². O dimensionamento contemplou os componentes aquícola, vegetal e de tratamento da água, incluindo tanques de criação de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), decantação, biofiltração, circulação e áreas destinadas ao manejo. No sistema NFT, foram dimensionados 30 canais de cultivo, totalizando 960 pontos para plantas e densidade teórica de 4,8 plantas m². O layout com torres aeropônicas apresentou capacidade para 220 torres e 8.800 pontos de cultivo, correspondendo a 44 plantas m². Nas configurações propostas, a verticalização proporcionou capacidade instalada aproximadamente 9,2 vezes superior à do NFT na mesma área horizontal. Entretanto, o aumento da densidade vegetal exige compatibilização com a oferta de nutrientes, biomassa de peixes, alimentação, capacidade de filtragem e condições operacionais do sistema. Os resultados evidenciam o potencial da integração entre aquaponia e cultivo aeropônico vertical para maior aproveitamento espacial, devendo o desempenho produtivo e a viabilidade dos layouts propostos ser posteriormente validados experimentalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura vertical. Aproveitamento especial. Produção integrada.

DESIGN OF AQUAPONIC LAYOUTS WITH NFT AND AEROPONIC TOWERS FOR LETTUCE CULTIVATION

ABSTRACT: The spatial organization of aquaponic system components can influence plant cultivation capacity per unit area, particularly where space is limited. This study aimed to develop and compare aquaponic layouts using the Nutrient Film Technique (NFT) and

vertical aeroponic towers for curly lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation within a standardized area of 200 m². The design included the aquaculture, plant production, and water treatment components, comprising Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) rearing tanks, sedimentation, biofiltration, water circulation, and areas allocated for system management. The NFT layout consisted of 30 cultivation channels, providing 960 planting sites and a theoretical density of 4.8 plants m⁻². The vertical aeroponic layout accommodated 220 towers and 8,800 planting sites, corresponding to 44 plants m⁻². Under the proposed configurations, vertical cultivation provided an installed cultivation capacity approximately 9.2 times greater than that of the NFT system within the same horizontal area. However, increased plant density requires compatibility among nutrient availability, fish biomass, feeding rate, filtration capacity, and system operating conditions. The results demonstrate the potential of integrating aquaponics with vertical aeroponic cultivation to improve spatial utilization; however, the productive performance and feasibility of the proposed layouts should be further validated under experimental conditions.

KEYWORDS: Vertical farming. Spatial efficiency. Integrated production.

INTRODUÇÃO

A aquaponia é um sistema integrado de produção que associa a criação de organismos aquáticos ao cultivo de plantas sem solo, utilizando a recirculação da água e a transformação dos resíduos metabólicos dos animais em nutrientes potencialmente disponíveis ao componente vegetal. Nesse sistema, microrganismos desempenham papel fundamental na conversão dos compostos nitrogenados, contribuindo para a manutenção da qualidade da água e para a integração entre os componentes aquícola e vegetal (Junge et al., 2017; Okomoda et al., 2023). Além da produção simultânea de peixes e vegetais, a recirculação pode favorecer o uso eficiente da água e reduzir a geração de efluentes quando comparada a sistemas produtivos convencionais, embora seu desempenho dependa do adequado equilíbrio entre os diferentes componentes do sistema (Schoor et al., 2023).

No Brasil, a aquaponia tem despertado interesse crescente como alternativa para sistemas integrados de produção. Revisão sistemática recente, abrangendo 148 trabalhos brasileiros publicados entre 2008 e 2022, identificou o *Nutrient Film Technique* (NFT) como a técnica hidropônica mais citada nas pesquisas nacionais, enquanto a tilápia e a alface figuraram entre os organismos mais utilizados. O estudo também destacou a necessidade de maior padronização dos parâmetros experimentais e de avanços na avaliação bioeconômica de sistemas aquapônicos em escala comercial (Moraes-Viana et al., 2025).

Entre as técnicas utilizadas para o componente vegetal, o NFT caracteriza-se pela circulação contínua de uma fina lâmina de água ou solução nutritiva ao longo de canais, permitindo o contato com o sistema radicular das plantas. Sua simplicidade construtiva, recirculação da água e ampla utilização no cultivo de hortaliças folhosas contribuíram para sua adoção em sistemas hidropônicos e aquapônicos (Maucieri et al., 2019). Entretanto, sua disposição predominantemente horizontal condiciona a quantidade de pontos de cultivo

à superfície disponível, tornando o aproveitamento espacial um aspecto relevante quando a área de implantação é limitada.

A intensificação do uso da área pode ser obtida por sistemas de cultivo vertical, nos quais os pontos de produção são distribuídos em diferentes níveis. Nesse contexto, a aeroponia constitui uma técnica de cultivo sem solo em que as raízes permanecem suspensas e recebem água e nutrientes por pulverização ou nebulização. A elevada disponibilidade de oxigênio na região radicular, a recirculação da água e a possibilidade de organização vertical das estruturas tornam essa tecnologia particularmente interessante para sistemas destinados ao aumento da densidade de cultivo por unidade de área horizontal. Revisões recentes apontam a aeroponia como uma alternativa de produção eficiente no uso de água e espaço, embora seu desempenho dependa do controle adequado da distribuição de água e nutrientes, do ambiente radicular e do consumo energético do sistema (Chu; Wan, 2026).

A verticalização, entretanto, não implica necessariamente aumento proporcional da produtividade. A instalação de maior número de pontos de cultivo em uma mesma área pode intensificar a competição por radiação, produzir diferenças microclimáticas entre os níveis da estrutura e aumentar as exigências relacionadas ao bombeamento, à uniformidade de distribuição da água e dos nutrientes, à manutenção e ao controle operacional. Dessa forma, a comparação entre sistemas horizontais e verticais deve distinguir capacidade instalada de cultivo, expressa pelo número potencial de plantas que o layout comporta, de produtividade efetiva, que depende do crescimento, sobrevivência, qualidade e massa comercial obtidos durante o ciclo produtivo.

Essa distinção torna-se ainda mais importante em sistemas aquapônicos. O aumento da quantidade de plantas não pode ser analisado isoladamente, pois deve ser compatível com a biomassa de peixes, a quantidade de ração fornecida, a geração de nutrientes, a capacidade de remoção de sólidos e biofiltração e a qualidade da água. Consequentemente, o planejamento espacial deve integrar os componentes aquícola, vegetal e microbiológico, evitando que a intensificação de uma das etapas ultrapasse a capacidade de suporte das demais.

Nesse contexto, a integração de torres aeropônicas verticais a sistemas aquapônicos apresenta potencial para aumentar o aproveitamento tridimensional do espaço, mas sua vantagem em relação ao NFT deve ser analisada considerando não apenas a quantidade de pontos de cultivo, mas também as exigências estruturais e operacionais associadas ao sistema. Assim, a elaboração e comparação de layouts sob uma mesma área física constituem uma etapa inicial para avaliar o potencial de intensificação espacial e subsidiar estudos posteriores de desempenho produtivo, eficiência no uso de recursos e viabilidade econômica.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo dimensionar e comparar layouts aquapônicos utilizando o sistema *Nutrient Film Technique* (NFT) e torres aeropônicas verticais para o

cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), considerando uma área padronizada de 200 m², com ênfase na capacidade instalada de cultivo, no aproveitamento espacial e nos requisitos de dimensionamento dos componentes aquícola e vegetal.

METODOLOGIA

Quanto à abordagem, o presente estudo caracteriza-se como quantitativo, de natureza aplicada e com objetivos descritivos, comparativos e exploratórios, uma vez que busca dimensionar e comparar diferentes configurações de sistemas aquapônicos com potencial de aplicação prática. Quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica associada ao dimensionamento técnico e à análise comparativa, fundamentada em parâmetros disponíveis na literatura para os componentes aquícola e vegetal. Foram elaborados e comparados dois layouts destinados ao cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), utilizando o sistema Nutrient Film Technique (NFT) e torres aeropônicas verticais, ambos considerando uma área padronizada de 200 m². A análise dos dados foi realizada por meio de cálculos de capacidade instalada de cultivo, densidade de pontos por unidade de área, demanda teórica de ração, biomassa estimada de peixes e ganho relativo proporcionado pela verticalização. Por se tratar de um estudo de dimensionamento teórico, sem coleta de dados com seres humanos ou realização de experimentação animal, não foram aplicados procedimentos referentes à definição de população amostral ou protocolos de experimentação.

Delineamento do estudo e critérios de dimensionamento

O estudo foi desenvolvido como uma análise de dimensionamento e comparação de dois layouts aquapônicos destinados ao cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), utilizando o sistema *Nutrient Film Technique* (NFT) e torres aeropônicas verticais como componentes de produção vegetal. Para permitir a comparação sob condições espaciais equivalentes, ambos os layouts foram projetados em uma área padronizada de 200 m² (10 × 20 m).

O dimensionamento foi realizado em três etapas: definição dos parâmetros do componente aquícola e da relação entre alimentação dos peixes e demanda vegetal; estabelecimento das características construtivas dos sistemas NFT e de torres aeropônicas; e elaboração dos layouts, considerando a quantidade de pontos de cultivo, áreas destinadas aos componentes de tratamento da água e espaços necessários à circulação e ao manejo.

Dimensionamento do componente aquícola

A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi adotada como espécie aquícola devido à sua ampla utilização em sistemas aquapônicos. O dimensionamento considerou o volume útil dos tanques e uma densidade de referência de 20 kg de biomassa de peixes por m³ de água, valor indicado por Somerville et al. (2014) como referência para sistemas aquapônicos de pequena escala. Densidades superiores podem ser utilizadas, porém exigem maior

controle da qualidade da água, oxigenação e capacidade de tratamento.

A capacidade máxima teórica de biomassa dos tanques foi determinada pela Equação 1:

$$B_{max} = V_u \times D \quad (1)$$

Onde: B_{max} corresponde à biomassa máxima teórica de peixes (kg), V_u ao volume útil do tanque (m^3) e D à densidade de estocagem adotada ($kg\ m^{-3}$).

A quantidade teórica de peixes correspondente à biomassa foi determinada considerando peso individual de referência de 0,60 kg por animal (Equação 2):

$$N_p = \frac{B}{P_m} \quad (2)$$

Onde: N_p corresponde ao número de peixes, B à biomassa (kg) e P_m ao peso médio individual dos peixes (kg).

Relação entre alimentação e componente vegetal

Para compatibilizar os componentes aquícola e vegetal, adotou-se como referência a relação proposta por Lennard (2012), de aproximadamente 1 kg de ração por dia para cada 1.500 plantas de alface. Assim, a demanda teórica diária de ração associada ao número de pontos de cultivo de cada layout foi calculada pela Equação 3:

$$R_d = \frac{N_v}{1500} \quad (3)$$

Onde: R_d representa a quantidade diária de ração (kg dia) e N_v o número de pontos de cultivo de alface.

Para fins de dimensionamento, foi considerada taxa diária de alimentação equivalente a 2% da biomassa de peixes, permitindo estimar a biomassa correspondente à demanda de ração (Equação 4):

$$B_r = \frac{R_d}{0,02} \quad (4)$$

Onde: B_r representa a biomassa teórica de peixes associada à demanda diária de ração.

Dimensionamento do sistema NFT

O sistema NFT foi constituído por canais dispostos horizontalmente, sistema de bombeamento, tubulações de alimentação e retorno e estruturas de sustentação. Os canais foram projetados com declividade de 2%, permitindo o escoamento da água por gravidade após seu bombeamento.

Para o cultivo da alface, foi adotado espaçamento de 25 cm entre plantas, com base em Gualberto, Resende e Braz (1999). O layout foi organizado considerando a área ocupada pelos canais, o tanque de criação, decantadores, biofiltro e espaços necessários às atividades de circulação, transplântio, inspeção, manejo e colheita.

A capacidade instalada de cultivo foi determinada pelo número total de posições disponíveis nos canais, e a densidade espacial pela Equação 5:

$$D_v = \frac{N_v}{A} \quad (5)$$

Onde: D_v corresponde à densidade de pontos de cultivo (pontos m^{-2}), N_v ao número total de pontos de cultivo e A à área total padronizada do sistema (200 m^2).

Dimensionamento das torres aeropônicas

O segundo layout foi desenvolvido utilizando torres aeropônicas verticais destinadas ao cultivo de alface. As torres foram dimensionadas com aproximadamente 2,0 m de altura e 0,20 m de diâmetro, com pontos de cultivo distribuídos verticalmente ao longo da estrutura.

As raízes permanecem no interior das torres e recebem periodicamente a água proveniente do sistema aquapônico por pulverização, mantendo exposição ao ar entre os ciclos de fornecimento. A água não absorvida pelas plantas é coletada e recirculada ao sistema.

Foi adotado espaço livre de 40 cm entre as bordas das torres, correspondendo a 60 cm entre os eixos de estruturas adjacentes. A distribuição espacial considerou, além das torres, os tanques de criação, sistemas de decantação e biofiltração, tubulações e áreas necessárias ao acesso, manutenção, transplântio e colheita.

A quantidade de pontos de cultivo foi determinada pelo número de posições disponíveis em cada torre multiplicado pelo número de torres instaladas (Equação 6):

$$N_v = N_t \times P_t \quad (6)$$

Onde: N_t corresponde ao número de torres e P_t ao número de pontos de cultivo por torre.

Comparação dos layouts

Os dois sistemas foram comparados considerando a mesma área horizontal de 200 m². Foram utilizados como indicadores o número de pontos de cultivo, a densidade de pontos por unidade de área, a demanda teórica diária de ração e a biomassa de peixes correspondente ao balanço adotado.

O ganho relativo de capacidade instalada proporcionado pela verticalização foi calculado pela razão (Equação 7):

$$G = \frac{N_{Aer}}{N_{NFT}} \quad (7)$$

Onde: **G** representa o ganho relativo de capacidade instalada, **N_{Aer}** o número de pontos de cultivo nas torres aeropônicas e **N_{NFT}** o número de pontos no sistema NFT.

Os valores obtidos representam capacidades teóricas de dimensionamento dos layouts, não devendo ser interpretados como produtividade experimental. O desempenho produtivo efetivo depende, entre outros fatores, da disponibilidade e distribuição de nutrientes, radiação incidente, condições microclimáticas, qualidade da água, eficiência da biofiltração e manejo dos componentes animal e vegetal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O layout aquapônico com sistema NFT contempla os canais de cultivo, o componente aquícola, as unidades de tratamento da água e os espaços destinados à circulação e ao manejo. A configuração proposta apresentou 30 canais, totalizando 960 pontos de cultivo de alface, correspondentes a uma densidade teórica de 4,8 pontos m².

Considerando a relação de dimensionamento de aproximadamente 1 kg de ração / dia para 1.500 plantas de alface, proposta por Lennard (2012) para sistemas com tilápia e alface, os 960 pontos de cultivo corresponderam a uma demanda teórica de 0,64 kg de ração / dia. Adotando-se, para fins de dimensionamento, alimentação diária equivalente a 2% da biomassa, essa quantidade corresponderia a aproximadamente 32 kg de biomassa de peixes, ou cerca de 53 animais com peso médio de 0,60 kg. A relação utilizada deve ser interpretada como referência de dimensionamento, uma vez que o próprio método depende das espécies cultivadas, das características do sistema de tratamento e das condições de manejo (Lennard, 2012).

Esses valores representam a biomassa teórica associada à demanda vegetal segundo o critério adotado e não a capacidade máxima de estocagem dos tanques. Em sistemas aquapônicos, o equilíbrio entre os componentes deve ser estabelecido principalmente em função da alimentação dos peixes e da capacidade de utilização dos nutrientes pelas plantas. Rakocy, Losordo e Masser (2006) destaca que o *feeding rate ratio*, expresso pela quantidade diária de ração em relação à área vegetal, constitui um dos principais critérios

para o dimensionamento de sistemas aquapônicos equilibrados.

No layout com torres aeropônicas, a utilização vertical do espaço possibilitou a instalação de 220 torres, contendo 40 pontos de cultivo cada, resultando em 8.800 pontos de cultivo. Considerando a mesma área total de 200 m², a configuração apresentou densidade teórica de 44 pontos m², aproximadamente 9,2 vezes superior à capacidade instalada do layout NFT.

A diferença observada decorre principalmente do aproveitamento tridimensional do espaço. A agricultura vertical permite distribuir as plantas em diferentes níveis e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de cultivo por unidade de área horizontal. Entretanto, maior densidade instalada não implica necessariamente aumento proporcional da produtividade, uma vez que o desempenho das plantas depende de fatores como disponibilidade de radiação, temperatura, condições microclimáticas, manejo da água e dos nutrientes e configuração do sistema de cultivo (Pennisi et al., 2025).

No caso da aeroponia, as raízes permanecem suspensas e recebem água e nutrientes por pulverização ou nebulização, proporcionando elevada disponibilidade de oxigênio na região radicular. Regmi et al. (2024), ao compararem diferentes sistemas de cultivo sem solo, destacaram que NFT e aeroponia apresentam características distintas quanto ao uso de água e nutrientes e que seu desempenho é influenciado por fatores como cultura, cultivar, concentração da solução, vazão e configuração do sistema. Os autores também identificaram elevada eficiência no uso da água em sistemas aeropônicos, embora ressaltem a dificuldade de comparações diretas entre sistemas submetidos a diferentes condições experimentais.

Aplicando às torres aeropônicas o mesmo critério utilizado para o NFT, os 8.800 pontos de cultivo corresponderam a uma demanda teórica de aproximadamente 5,87 kg de ração / dia. Considerando alimentação diária equivalente a 2% da biomassa, esse valor corresponderia a aproximadamente 293,5 kg de biomassa de peixes, ou cerca de 489 animais de 0,60 kg. O aumento da capacidade instalada do componente vegetal, portanto, deve ser acompanhado pelo redimensionamento dos demais componentes do sistema aquapônico.

Esse aspecto é particularmente importante porque a intensificação do componente vegetal não pode ser realizada isoladamente. O aumento da quantidade de plantas modifica a demanda potencial por nutrientes e exige compatibilização com alimentação e biomassa dos peixes, remoção de sólidos, biofiltração, oxigenação e circulação da água. Dessa forma, o dimensionamento integrado é necessário para evitar desequilíbrios entre a geração de resíduos no componente aquícola e sua transformação e utilização no componente vegetal (Lennard, 2012; Rakocy, Losordo e Masser, 2006).

A Tabela 1 permite verificar a comparação entre os parâmetros de dimensionamento dos layouts NFT, com as torres aeropônicas em uma área útil de 200 m².

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros de dimensionamento dos layouts NFT e com torres aeropônicas.

Parâmetro	NFT	Torres aeropônicas
Área total (m ²)	200	200
Estruturas de cultivo	30 canais	220 torres
Pontos por estrutura	32	40
Pontos de cultivo	960	8.800
Densidade (pontos / m ²)	4,8	44,0
Ração estimada (kg / dia ¹)	0,64	5,87
Biomassa estimada (kg)	32,0	293,5
Peixes de 0,60 kg (n)	≈53	≈489
Capacidade relativa	1,0	9,17

Fonte: Própria Autoria. 2026.

A comparação demonstra expressiva vantagem das torres aeropônicas quanto ao aproveitamento espacial, porém esse resultado deve ser interpretado como capacidade instalada de cultivo e não como produtividade comprovada. Pennisi *et al.* (2025) demonstram que sistemas de produção vertical podem apresentar elevada eficiência no uso da terra e intensificação produtiva, mas seu desempenho ambiental e econômico é fortemente condicionado pelo consumo energético, particularmente pelas demandas relacionadas à iluminação e ao controle ambiental.

Para sistemas aeropônicos especificamente, Chu e Wan (2026) destacam vantagens relacionadas à recirculação da água, disponibilidade de oxigênio para as raízes e possibilidade de utilização de configurações verticais, mas ressaltam que o desempenho depende do controle de parâmetros ambientais, da distribuição de água e nutrientes e da demanda energética. Portanto, a maior capacidade espacial observada no layout proposto deve ser analisada conjuntamente com suas exigências hidráulicas, energéticas e operacionais.

As representações dos dois layouts evidenciam estratégias distintas de ocupação da área. No NFT, os pontos de cultivo são distribuídos predominantemente no plano horizontal, enquanto as torres aeropônicas utilizam também a dimensão vertical. Em ambos os sistemas, entretanto, devem ser preservados espaços destinados à circulação, manejo, colheita, manutenção, tratamento da água e acesso aos componentes aquícolas. Assim, a maximização do número de estruturas não deve comprometer a funcionalidade operacional do sistema.

Os resultados correspondem a estimativas de dimensionamento e não a avaliações experimentais de produtividade. Não foram mensurados massa fresca das plantas, produtividade por ciclo, uniformidade entre posições nas torres, disponibilidade de radiação,

consumo de água e energia ou viabilidade econômica. Consequentemente, embora as torres aeropônicas tenham apresentado capacidade instalada aproximadamente 9,2 vezes superior ao NFT na área projetada, sua superioridade produtiva e econômica deverá ser confirmada por estudos experimentais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento dos layouts demonstrou que a utilização de torres aeropônicas verticais amplia substancialmente o aproveitamento espacial do componente vegetal em sistemas aquapônicos. Na área padronizada de 200 m², o sistema NFT apresentou capacidade para 960 pontos de cultivo, correspondendo a 4,8 pontos m², enquanto o layout com 220 torres aeropônicas comportou 8.800 pontos, equivalente a 44 pontos m². Dessa forma, a configuração vertical apresentou capacidade instalada de cultivo aproximadamente 9,2 vezes superior à do NFT na mesma área horizontal.

A intensificação do componente vegetal, entretanto, exige o redimensionamento integrado dos demais componentes do sistema. De acordo com os critérios adotados, a demanda teórica de ração passou de 0,64 kg dia⁻¹ no NFT para 5,87 kg dia⁻¹ nas torres aeropônicas, correspondendo a biomassas estimadas de aproximadamente 32,0 e 293,5 kg de peixes, respectivamente. Esses resultados evidenciam que o aumento da quantidade de pontos de cultivo deve ser compatibilizado com a biomassa animal, alimentação, disponibilidade de nutrientes, remoção de sólidos, biofiltração e circulação da água.

Assim, a integração de torres aeropônicas a sistemas aquapônicos apresenta potencial para intensificar o uso do espaço, especialmente em situações de limitada disponibilidade de área. Contudo, os resultados representam estimativas de dimensionamento e não comprovam aumento proporcional da produtividade ou da eficiência econômica. Estudos experimentais devem avaliar o desempenho dos layouts em condições reais, considerando produtividade e uniformidade das plantas, qualidade da água, desempenho dos peixes, consumo hídrico e energético, exigências de manejo e viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

- CHU, S.-W.; WAN, T.-J. **Advancing sustainable agriculture through aeroponics: a critical review of integrated water-energy-nutrient management and environmental impact mitigation.** *Agriculture*, v. 16, n. 2, art. 265, 2026. DOI: 10.3390/agriculture16020265.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Soilless culture for horticultural crop production.** Rome: FAO, 1990. 188 p. (FAO Plant Production and Protection Paper, n. 101).
- GUALBERTO, R.; RESENDE, F. V.; BRAZ, L. T. **Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico “NFT” em três diferentes espaçamentos.** *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 17, n. 2, p. 155-158, 1999.
- JUNGE, R.; KÖNIG, B.; VILLARROEL, M.; KOMIVES, T.; JIJAKLI, M. H. **Strategic points in aquaponics.** *Water*, v. 9, n. 3, p. 182, 2017. DOI: 10.3390/w9030182.

LENNARD, W. A. **Aquaponic system design parameters: fish to plant ratios (feeding rate ratios)**. Aquaponics Solutions, 2012.

MAUCIERI, C.; NICOLETTO, C.; VAN OS, E.; ANSEEUW, D.; VAN HAVERMAET, R.; JUNGE, R. Hydroponic technologies. In: GODDEK, S. *et al.* (ed.). **Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future**. Cham: Springer, 2019. p. 77-110. DOI: 10.1007/978-3-030-15943-6_4.

MORAES-VIANA, M. L. *et al.* **Status of aquaponics systems in Brazil: a systematic literature review**. Boletim do Instituto de Pesca, v. 51, e945, 2025. DOI: 10.20950/1678-2305/bip.2024.51.e945.

OKOMODA, V. T. *et al.* **Aquaponics production system: a review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption**. Food Science & Nutrition, v. 11, n. 3, p. 1157-1165, 2023. DOI: 10.1002/fsn3.3154.

PENNISI, G.; GIANQUINTO, G.; MARCELIS, L. F. M.; MARTIN, M.; ORSINI, F. **Vertical farming: productivity, environmental impact, and resource use: a review**. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 45, art. 57, 2025. DOI: 10.1007/s13593-025-01055-w.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture**. SRAC Publication, n. 454, p. 1-16, 2006.

REGMI, A.; RUEDA-KUNZ, D.; LIU, H.; TREVINO, J.; KATHI, S.; SIMPSON, C. **Comparing resource use efficiencies in hydroponic and aeroponic production systems**. *Technology in Horticulture*, v. 4, e005, 2024. DOI: 10.48130/tihort-0024-0002.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. Rome: FAO, 2014. 262 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, n. 589).