PRODUÇÃO DE CEBOLINHAS EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA: HIDROPONIA E AQUAPONIA

Pedro Pierro Mendonça[1], Nágila Scarpini Nespoli[1], Dayane Vitoria Silva Mello[1], Leonardo dos Reis Periard[2], Wallace Luís de Lima[1], José Geraldo de Vargas Junior[2].

[1]Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* Alegre, Rodovia BR 482, Distrito de Rive - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil. ppierrom@gmail.com, nagila.sn@gmail.com, daymellovitoria@gmail.com, wallace@ifes.edu.br.
[2]Universidade Federal do Espírito Santo/CCAE, Alto Universitário, s/n, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, leozinho.periard@gmail.com, jose.vargas@ufes.br.

Resumo
A integração entre aquicultura e produção vegetal pode favorecer o uso racional da água por meio da recirculação do efluente da piscicultura. Este estudo avaliou o desenvolvimento de cebolinhas em sistemas de hidroponia e aquaponia de pequena escala. Foram utilizados dois tratamentos, com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado, totalizando oito unidades experimentais. Ao final de 45 dias foram avaliados comprimento total, das folhas e raízes, diâmetro foliar, sobrevivência, matéria fresca e seca de folhas e raízes, número de folhas, folhas novas e teor de nitrogênio foliar. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, ao teste de Tukey a 5%. A hidroponia proporcionou maior crescimento longitudinal, enquanto a aquaponia apresentou maior sobrevivência, matéria seca foliar, número de folhas, folhas novas e teor de nitrogênio. O diâmetro foliar e as matérias fresca e seca das raízes não diferiram entre os sistemas. Aos 45 dias, somente a hidroponia atingiu a faixa de corte comercial.
Palavras-chave: sustentabilidade. produção alternativa. hortaliças. agricultura familiar. olericultura.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – (Zootecnia).

Introdução

A produção de hortaliças em sistemas sem solo tem ganhado relevância por possibilitar maior controle do ambiente radicular e uso mais eficiente de água e nutrientes. A hidroponia utiliza soluções nutritivas formuladas para atender às exigências das plantas, enquanto a aquaponia integra a produção vegetal à aquicultura em recirculação, utilizando nutrientes derivados da alimentação e dos resíduos dos peixes. Revisões recentes destacam a aquaponia como estratégia de produção integrada com potencial para conservação de água, reciclagem de nutrientes e redução de efluentes, embora seu desempenho dependa do equilíbrio entre os componentes animal, microbiano e vegetal (Okomoda et al., 2023; Chandramenon; Aggoun; Tchuenbou-Magaia, 2024).

A comparação entre aquaponia e hidroponia não resulta, necessariamente, em superioridade constante de um sistema. Uma meta-análise de cultivos aquapônicos e hidropônicos mostrou que as diferenças de produtividade dependem de fatores como espécie cultivada, configuração do sistema e suplementação nutricional (Ayipio et al., 2019). Na hidroponia, por sua vez, a produtividade também varia em função da cultura e das condições de produção, reforçando a importância do manejo da solução nutritiva e do ambiente de cultivo (Goh et al., 2023). Para hortaliças folhosas e condimentares, essas diferenças tornam relevante avaliar simultaneamente crescimento, biomassa e sobrevivência.

A disponibilidade de nutrientes constitui um dos principais pontos de distinção entre os sistemas. Em aquaponia, a composição da solução resulta da alimentação dos peixes, excreção, mineralização da matéria orgânica e nitrificação, podendo apresentar concentrações inferiores

ou desequilíbrios de alguns nutrientes em relação às soluções hidropônicas. Estudos recentes mostram que pH, matéria orgânica dissolvida e processos de precipitação e complexação interferem diretamente na disponibilidade de fósforo, cálcio, ferro, cobre e manganês (Tellbüscher et al., 2024). Além disso, temperatura, oxigênio dissolvido, pH e compostos nitrogenados são parâmetros essenciais para a estabilidade e a produtividade dos sistemas aquapônicos (Chandramenon; Aggoun; Tchuenbou-Magaia, 2024).

Diante da possibilidade de produzir cebolinha sem solo e, ao mesmo tempo, aproveitar o efluente da piscicultura, o objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento e a morfologia de cebolinhas produzidas em sistemas de hidroponia e aquaponia de pequena escala com recirculação de água.

Metodologia

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, no setor de Aquicultura, Laboratório de Nutrição e Produção de Espécies Ornamentais, entre 22 de dezembro de 2020 e 5 de fevereiro de 2021, com aprovação pelo CEUA nº 23149.001883-2020-90. Previamente, um protótipo de aquaponia foi acompanhado por 30 dias, entre julho e agosto de 2020, para avaliação do funcionamento e padronização do sistema hidropônico. O ensaio principal foi instalado em área coberta com tela antipássaro e sombrite de 50% nas laterais e na parte superior. Com liberação

Foram avaliados dois tratamentos, hidroponia e aquaponia, com quatro repetições cada, totalizando oito unidades experimentais em delineamento inteiramente casualizado. Cada sistema utilizou reservatório de polietileno com capacidade de 150 L e três perfis NFT de PVC, com 75 mm de diâmetro e 1,15 m de comprimento, espaçados a 13 cm. Cada perfil possuía cinco orifícios de 5 cm de diâmetro, espaçados a 15 cm. A declividade das canaletas foi de 10%, conforme Carneiro et al. (2016). Na aquaponia, a água passou por filtro mecânico com lã perlon e sombrite e por biofiltro de 65 L contendo argila expandida e brita nº 1, dimensionado de acordo com Somerville et al. (2014). A recirculação foi realizada por bombas submersas com vazão de 400 a 1.000 L h^{-1}.

Foram selecionadas 480 mudas de cebolinha, padronizadas em 14 ± 2 cm. As raízes foram reduzidas a 3 cm e as folhas aparadas rente à inserção no pseudocaule. As mudas foram apoiadas em recipientes translúcidos de polipropileno, retirados progressivamente com o crescimento. Na hidroponia, utilizou-se solução nutritiva preparada com fertilizantes solúveis comerciais e adaptada para 120 L; a solução foi diluída para atender à faixa de condutividade indicada para mudas, conforme (Furlani *et al., 1999*). Na aquaponia, as plantas receberam como fonte nutritiva a água residuária dos peixes alimentados com ração comercial.

Durante o cultivo foram monitorados temperatura do ambiente e da água, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Na aquaponia também foram determinadas as concentrações de amônia, nitrito e nitrato segundo Eaton, Clesceri e Greenberg (1998) e fósforo total segundo Valderrama (1981), com leitura por espectrofotometria. Não foi realizada análise de ortofosfato por indisponibilidade de materiais no período experimental.

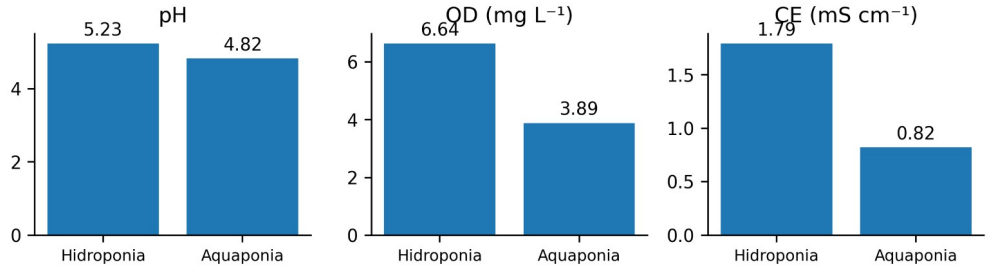
Aos 45 dias, avaliaram-se comprimento total (CT), comprimento das folhas (CF), comprimento das raízes (CR), diâmetro da base da folha (D), sobrevivência (S), matéria fresca e seca das folhas (MFF e MSF) e raízes (MFR e MSR), número de folhas (NF), folhas novas (FNOVAS) e teor de nitrogênio foliar (N). Folhas e raízes foram separados, pesadas para obtenção da matéria fresca e posteriormente secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 h. O nitrogênio foliar foi determinado conforme Galvani e Gaertner (2006). Os dados médios foram submetidos à análise de variância e, quando identificado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados

Os parâmetros físico-químicos médios diferiram numericamente entre os sistemas, com maiores valores de pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica na hidroponia (Figura 1). Na aquaponia foram registrados 0,430 mg L^{-1} de amônia, 0,057 mg L^{-1} de nitrito, 1,031 mg L^{-1} de nitrato e 0,241 mg L^{-1} de fósforo total. As temperaturas máximas médias do ambiente foram 39,14 ± 1,12 °C na hidroponia

e 37,80 ± 1,36 °C na aquaponia; as máximas da água foram 34,10 ± 0,81 °C e 32,36 ± 0,93 °C, respectivamente.

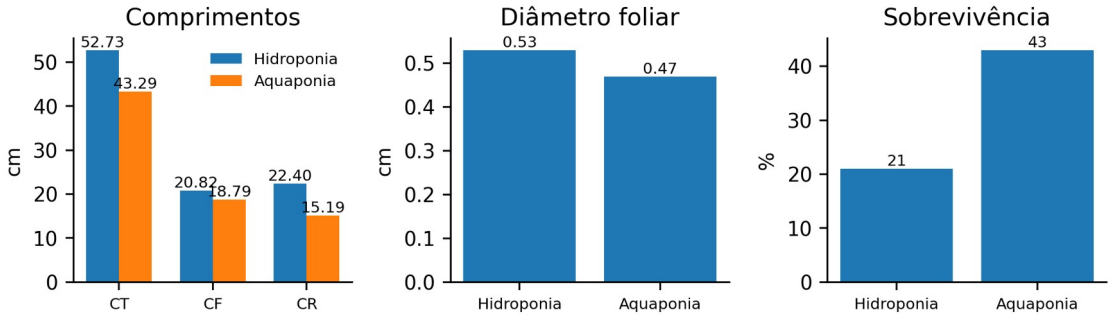
Figura 1 – pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE) dos sistemas de produção.



Fonte: elaborado a partir dos dados do arquivo-base.

Houve efeito significativo dos sistemas sobre CT, CF, CR e sobrevivência, enquanto o diâmetro foliar não diferiu (Figura 2). A hidroponia apresentou maiores comprimentos total, foliar e radicular; a aquaponia apresentou maior sobrevivência. Aos 45 dias, somente as plantas da hidroponia alcançaram a faixa de altura de corte comercial indicada por Filgueira (2000).

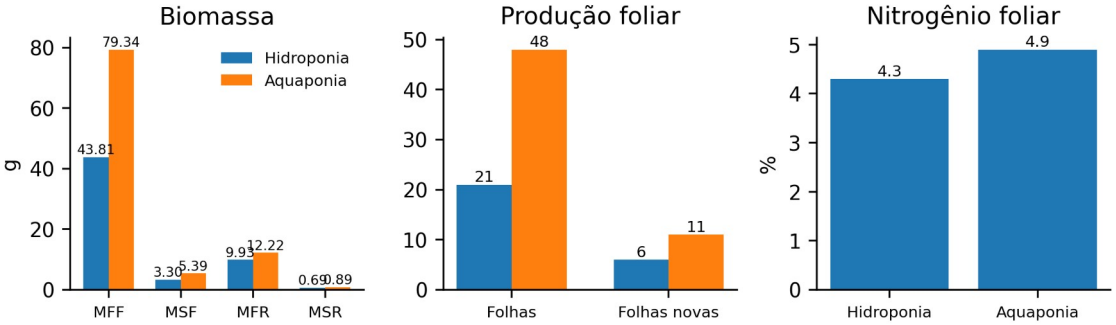
Figura 2 – Desenvolvimento morfológico e sobrevivência das cebolinhas aos 45 dias. CT: comprimento total; CF: comprimento das folhas; CR: comprimento das raízes. Para CT, CF, CR e sobrevivência houve diferença pelo teste de Tukey a 5%; o diâmetro não diferiu.



Fonte: elaborado a partir dos dados do arquivo-base.

A matéria fresca das folhas e as matérias fresca e seca das raízes não diferiram entre os sistemas. Em contraste, MSF, número de folhas, folhas novas e teor de nitrogênio foliar foram superiores na aquaponia (Figura 3). Em ambos os tratamentos foi observada necrose nas pontas das folhas durante o período experimental.

Figura 3 – Biomassa, produção foliar e teor de nitrogênio das cebolinhas aos 45 dias. MFF: matéria fresca das folhas; MSF: matéria seca das folhas; MFR: matéria fresca das raízes; MSR: matéria seca das raízes. MFF, MFR e MSR não diferiram; MSF, número de folhas, folhas novas e N diferiram pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: elaborado a partir dos dados do arquivo-base.

Discussão

Os sistemas produziram respostas distintas: a hidroponia favoreceu o crescimento longitudinal, enquanto a aquaponia apresentou maior sobrevivência e maior produção de estruturas foliares. A

condutividade elétrica foi superior na hidroponia (1,79 mS cm^{-1}) em relação à aquaponia (0,82 mS cm^{-1}), indicando maior concentração global de íons na solução. Esse resultado é coerente com a diferença fundamental entre os sistemas, pois soluções hidropônicas são formuladas para fornecer nutrientes em concentrações definidas, enquanto na aquaponia sua disponibilidade depende da entrada via ração, da mineralização e das transformações microbianas. Tellbüscher et al. (2024) demonstraram que limitações de nutrientes em aquaponia podem decorrer tanto de oferta insuficiente quanto de restrições de solubilidade, especialmente para P, Ca, Fe, Cu e Mn. Assim, o maior comprimento observado na hidroponia pode estar relacionado à maior disponibilidade iônica, embora a condutividade elétrica, isoladamente, não identifique quais nutrientes estavam efetivamente disponíveis.

A diferença de crescimento entre os tratamentos também deve ser interpretada considerando a qualidade da água. O pH médio da aquaponia foi 4,82 e o oxigênio dissolvido foi inferior ao da hidroponia. Revisão recente sobre qualidade da água em aquaponia destaca pH, oxigênio dissolvido, temperatura e compostos nitrogenados entre os parâmetros determinantes para o funcionamento integrado de peixes, microrganismos e plantas (Chandramenon; Aggoun; Tchuenbou-Magaia, 2024). Além disso, o pH influencia a especiação, a solubilidade e a disponibilidade dos nutrientes; Tellbüscher et al. (2024) mostraram que alterações de pH podem modificar substancialmente o comportamento de macro e micronutrientes em soluções aquapônicas. Portanto, o baixo pH e a menor oxigenação observados podem ter contribuído para o menor comprimento radicular e foliar na aquaponia.

As temperaturas elevadas constituíram outro fator relevante. A água ultrapassou 30 °C nos dois sistemas e as máximas ambientais ficaram próximas de 40 °C. A temperatura da água interfere nos processos biológicos e na concentração de oxigênio dissolvido, afetando simultaneamente plantas, peixes e microrganismos do sistema; por isso, seu monitoramento é considerado componente central do manejo da qualidade da água em aquaponia (Chandramenon; Aggoun; Tchuenbou-Magaia, 2024). A ocorrência de necrose nas pontas das folhas em ambos os tratamentos, associada às condições térmicas registradas durante o experimento, sugere que parte das limitações de desempenho decorreu de um estresse ambiental comum aos dois sistemas, e não exclusivamente da composição nutricional.

Embora a aquaponia tenha apresentado menor crescimento longitudinal, sua sobrevivência foi maior (43% contra 21%). Esse resultado evidencia que produtividade vegetal em sistemas integrados não deve ser avaliada apenas pela extensão das folhas ou raízes. A literatura mostra que o desempenho relativo entre aquaponia e hidroponia varia de acordo com espécie vegetal, configuração hidropônica e suplementação de nutrientes; em meta-análise, Ayipio et al. (2019) não encontraram diferença global significativa de produtividade entre os sistemas, mas identificaram forte influência desses fatores. Dessa forma, a maior sobrevivência na aquaponia, mesmo sob menor condutividade elétrica, reforça a necessidade de considerar múltiplas variáveis de desempenho na comparação entre os sistemas.

A ausência de diferença para MFF, MFR e MSR, apesar das diferenças de comprimento, confirma que maior alongamento não corresponde necessariamente a maior acúmulo de biomassa. Na parte aérea, a aquaponia apresentou menor comprimento foliar, porém maior MSF, número de folhas e folhas novas. Esse padrão é compatível com a elevada variabilidade de resposta das culturas em sistemas sem solo. Goh et al. (2023), em meta-análise sobre produção hidropônica de hortaliças, demonstraram que a produtividade é fortemente dependente da espécie e das condições de cultivo. No caso da aquaponia, Ayipio et al. (2019) também verificaram que a espécie cultivada e o tipo de sistema hidropônico contribuem para explicar diferenças de rendimento. Assim, comprimento, sobrevivência, número de folhas e biomassa devem ser analisados conjuntamente para caracterizar o desempenho da cebolinha.

O teor de nitrogênio foliar foi maior na aquaponia (4,9%) do que na hidroponia (4,3%). Nesse tratamento foram detectados amônia, nitrito e nitrato, evidenciando a presença de formas nitrogenadas provenientes da produção animal e de sua transformação microbiana. A ciclagem de nitrogênio é um dos processos centrais da aquaponia, pois o nitrogênio originado da alimentação dos peixes é transformado e parcialmente disponibilizado às plantas. Yang e Kim (2020) demonstraram, por meio de balanço de massa, que a distribuição e a eficiência de uso de N e P diferem entre sistemas aquapônicos e hidropônicos e também entre espécies vegetais. No presente estudo, o maior N foliar, associado à maior MSF e ao maior número de folhas na aquaponia, indica aproveitamento do nitrogênio disponibilizado pelo sistema, embora isso não tenha resultado em maior crescimento longitudinal.

Em conjunto, os resultados demonstram vantagens e limitações complementares. A hidroponia foi mais eficiente para atingir rapidamente o comprimento comercial, enquanto a aquaponia sustentou maior sobrevivência, MSF, número de folhas, folhas novas e teor de N. Estudos recentes reforçam que

o desempenho aquapônico depende do equilíbrio entre disponibilidade de nutrientes e qualidade da água, especialmente pH, temperatura e oxigênio dissolvido (Tellbüscher et al., 2024; Chandramenon; Aggoun; Tchuenbou-Magaia, 2024). Para sistemas de pequena escala, o aprimoramento do controle térmico, da oxigenação e do pH, associado ao acompanhamento da dinâmica de nutrientes, pode favorecer melhor aproveitamento do efluente da piscicultura. Estudos posteriores devem controlar esses fatores ao longo do ciclo para distinguir com maior precisão efeitos nutricionais daqueles decorrentes das condições físicas e químicas da água.

Conclusão

Nas condições avaliadas, hidroponia e aquaponia permitiram o desenvolvimento de cebolinha, porém com respostas distintas. A hidroponia proporcionou maior crescimento longitudinal e foi a única a atingir a faixa de corte comercial aos 45 dias. A aquaponia apresentou maior sobrevivência, matéria seca foliar, número de folhas, folhas novas e teor de nitrogênio. O diâmetro foliar e as matérias fresca e seca das raízes não diferiram entre os sistemas. As elevadas temperaturas e a ocorrência de necrose indicam que o controle térmico deve ser priorizado em condições semelhantes. Para a hidroponia, o acompanhamento da condutividade e o manejo da solução nutritiva são relevantes; para a aquaponia, o controle de sólidos, pH e oxigenação pode contribuir para melhorar o desempenho vegetal.

Referências

AYIPIO, E.; WELLS, D. E.; MCQUILLING, A.; WILSON, A. E. Comparisons between aquaponic and conventional hydroponic crop yields: a meta-analysis. **Sustainability**, v. 11, n. 22, 6511, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/su11226511.

CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y.; NUNES, M. U. C. **Sistema familiar de aquaponia em canaletas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 16 p. (Circular Técnica, 81). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1064917. Acesso em: 26 ago. 2026.

CHANDRAMENON, P.; AGGOUN, A.; TCHUENBOU-MAGAIA, F. Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality – comprehensive review. **Comput. Electron. Agric.**, v. 225, 109256, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109256.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2000. 402 p.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52 p. (Boletim Técnico, 180).

GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. (Documentos, 112).

GOH, Y. S.; HUM, Y. C.; LEE, Y. L.; LAI, K. W.; YAP, W.-S.; TEE, Y. K. A meta-analysis: food production and vegetable crop yields of hydroponics. **Sci. Hortic.**, v. 321, 112339, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112339.

OKOMODA, V. T.; OLADIMEJI, S. A.; SOLOMON, S. G.; OLUFEAGBA, S. O.; OGAH, S. I.; IKHWANUDDIN, M. Aquaponics production system: a review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. **Food Sci. Nutr.**, v. 11, p. 1157–1165, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/fsn3.3154.

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, 589). Disponível em: https://www.fao.org/4/i4021e/i4021e.pdf. Acesso em: 26 ago. 2026.

TELLBÜSCHER, A. A.; VAN HULLEBUSCH, E. D.; GEBAUER, R.; MRÁZ, J. Assessing the fate and behaviour of plant nutrients in aquaponic systems by chemical equilibrium modelling: a meta-analytical approach. **Water Res.**, v. 264, 122226, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122226.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Mar. Chem.**, v. 10, n. 2, p. 109–122, 1981. DOI: https://doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-X.

YANG, T.; KIM, H.-J. Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. **J. Clean. Prod.**, v. 274, 122619, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo apoio institucional e infraestrutura concedidos ao Laboratório de Nutrição e Produção de Espécies Ornamentais para a execução desta pesquisa.