Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science
http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/
ISSN 2238-8869

Article

Avaliação do Crescimento e Perfil Fitoquímico de Trapoeraba (*Commelina Erecta*) e Jambu (*Acmella Oleracea*) e Desempenho de Tilápias (*Oreochromis Niloticus*) em Sistema Aquapônico

Ismael Oliveira de Araújo[1], Geisy Kelly de Jesus do Nascimento[2], Katyuscya Veloso Leão[3], Luciana Lucas Machado[4], Lucinéia Cavalheiro Schneider[5], Rodrigo Diana Navarro[6]

[1] Doutorando em Ciências Ambientais. Docente de Biologia na Secretaria de Educação do Estado da Bahia. ORCID: 0000-0002-5949-1516. Email: ismaeloliveiranut@gmail.com
[2] Graduanda em Química. Universidade Federal do Oeste da Bahia. ORCID: 0009-0009-3855-5443. Email: geisy.n3850@ufob.edu.br
[3] Doutora em Química. Docente na Universidade Federal do Oeste da Bahia. ORCID: 0000-0003-3331-2257. Email: kleao@ufob.edu.br
[4] Doutorado em Química Orgânica. Docente na Universidade Federal do Oeste da Bahia. ORCID: 0000-0003-3331-2257. Email: luciana.lucas@ufob.edu.br
[5] Doutora em Biotecnologia. Professora da Universidade UNINASSAU. ORCID: 0000-0002-6441-999X. Email: lucineia.cavalheiro@ufob.edu.br
[6] Doutor em Zootecnia. Docente na Universidade de Brasília. ORCID: 0000-0001-8897-7163. Email: navarrounb@gmail.com

RESUMO
O estudo avaliou o desenvolvimento e o perfil fitoquímico das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) Jambu (*Acmella oleracea*) e Trapoeraba (*Commelina erecta*), além do desempenho de Tilápias (*Oreochromis niloticus*), em um sistema aquapônico sob duas densidades de estocagem de peixes: 150 (T1) e 300 peixes/m³ (T2). Os resultados zootécnicos indicaram que a menor densidade (T1) favoreceu o crescimento e o peso das tilápias. O adensamento excessivo no T2 resultou em menor ganho de biomassa e comprimento, justificando-se pela maior competição alimentar e pelo estresse crônico associado a altas taxas de estocagem. No aspecto vegetal, as espécies responderam de formas opostas. O jambu apresentou crescimento significativamente maior nos tratamentos com peixes (T1 e T2) em comparação ao controle (T0), beneficiando-se do aporte de nitrogênio proveniente das excretas. Não houve diferenças significativas entre T1 e T2 para o jambu, sugerindo que a densidade menor já supria plenamente suas necessidades nutricionais. Em contrapartida, a trapoeraba demonstrou baixa adaptação ao sistema, manifestando clorose e podridão radicular devido à provável sensibilidade ao excesso de umidade e à toxicidade por amônia. As análises fitoquímicas focaram-se exclusivamente no jambu, dado o estado deficitário das amostras de trapoeraba. Saponinas e alcaloides foram identificados em todas as repetições, refletindo características intrínsecas da espécie. Os taninos catéquicos foram escassos devido à priorização do crescimento vegetal em ambientes ricos em nitrogênio. Por fim, os teores de fenólicos totais e a atividade antioxidante mantiveram-se semelhantes entre T1 e T2.
Palavras-chave: atividade antioxidante; compostos fenólicos; espécies negligenciadas e subutilizadas; hortaliças.

ABSTRACT
The study evaluated the growth and phytochemical profile of Non-Conventional Food Plants (PANC) Jambu (*Acmella oleracea*) and Trapoeraba (*Commelina erecta*), as well as the performance of tilapia (*Oreochromis niloticus*), in an aquaponic system under two fish stocking densities: 150 (T1) and 300 fish/m³ (T2). The zootechnical results indicated that the lower stocking density (T1) favored the growth and weight of the tilapia. Overcrowding in T2 resulted in lower biomass and length gains, which can be explained by increased competition for food and chronic stress associated with high stocking rates. Regarding the plants, the species responded in opposite ways. Jambu exhibited significantly greater growth in the treatments with fish (T1 and T2) compared to the control (T0), benefiting from the nitrogen supply from excreta. There were no significant differences between T1 and T2 for jambu, suggesting that the lower density already fully met its nutritional needs. In contrast, the trapoeraba showed poor adaptation to the system, exhibiting chlorosis and root rot due to probable sensitivity to excess moisture and ammonia toxicity. Phytochemical analyses focused exclusively on the jambu, given the poor condition of the trapoeraba samples. Saponins and alkaloids were identified in all replicates, reflecting intrinsic characteristics of the species. Catechin tannins were scarce due to the prioritization of plant growth in nitrogen-rich environments. Finally, total phenolic content and antioxidant activity remained similar between T1 and T2.

Submissão: 07/06/2026 Aceite: 01/07/2026 Publicação: 14/11/2026

v.15, n.3, 2026 • p. 283-294. • DOI http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2026v15i3.9002

© 2021 by the authors. Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento. Este manuscrito é distribuído nos termos da licença Creative Commons – Atribuição - NãoComercial 4.0 Internacional (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode), que permite reproduzir e compartilhar o material licenciado, no todo ou em parte, somente para fim não comercial; e produzir, reproduzir, e compartilhar material adaptado somente para fim não comercial.

Keywords: antioxidant activity; phenolic compounds; neglected and underutilized species; vegetables.

Introdução

O aumento populacional no mundo traz inúmeros desafios, como gerenciamento de recursos hídricos, degradação do solo, mudanças climáticas, salinização, produção de alimentos e outros. No que concerne a produção alimentar, a pecuária e a agricultura convencional (mecanizada e pautada em monoculturas e latifúndios) são promotoras de degradação do solo, insegurança alimentar, diminuição da biodiversidade e mudanças ambientais globais. Isto ocorre por diversos fatores tais como: as mudanças do uso e ocupação do solo, supressão da vegetação nativa, uso extensivo de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos e padronização alimentar (Raulier et al. 2023; Verma et al. 2023).

A aquicultura se tornou um setor de produção alimentar em ascensão nos últimos anos, como uma opção para garantir a segurança alimentar no mundo devido ao aumento populacional e busca por alimentos mais saudáveis e promotores de saúde. Entretanto, o manejo não sustentável também traz impactos ambientais como a eutrofização, descarte de efluentes, introdução de espécies exóticas em ecossistemas naturais, alteração da biodiversidade etc. (Raulier et al. 2023; Verma et al. 2023; Amorim & Tosta, 2020; Silva et al. 2018; Silva et al. 2023).

Práticas agrícolas sustentáveis são alternativas para mitigar os danos socioambientais acima mencionados. A aquaponia é uma tecnologia sustentável de produção alimentar integrada, unindo aquicultura de recirculação e horticultura sem solo. Neste sistema o efluente rico em nutrientes (excretas de peixes e ração não consumida) é recirculado e utilizado por vegetais como fonte de nutrientes (fertilizante) na hidroponia e volta ao tanque da aquicultura com melhores parâmetros de qualidade da água. Desta maneira, têm-se os benefícios de descarga baixa de efluentes, uso eficiente de água, uso mínimo de aditivos químicos, produção livre de antibióticos, maximização da produção de biomassa vegetal e segurança alimentar, além de possuir um elevado potencial econômico (Raulier et al. 2023; Verma et al. 2023).

Na aquaponia é comumente utilizada a tilápia como espécie-modelo. No entanto, podem ser utilizados crustáceos, carpas e bagres. Quanto aos vegetais, geralmente são cultivadas espécies herbáceas, como a alface, ervas, hortaliças folhosas e outras espécies que possuam crescimento rápido e baixas exigências nutricionais. Todavia, podem ser produzidas frutíferas como o tomate, espécies com flores como a calêndula e outras hortaliças não folhosas como quiabo e pimenta (Verma et al. 2023).

Esta pesquisa inseriu hortaliças não convencionais em aquaponia e avaliou os efeitos no perfil fitoquímico, tendo em vista que os benefícios gerados por agroecossistemas sustentáveis vão além da melhora da biodiversidade, qualidade do solo, produção de alimento seguro e regeneração e recuperação de ecossistemas. A diversificação do uso do solo em sistemas agrícolas agroecológicos altera o perfil fitoquímico de alimentos, o que pode impactar no sabor, aroma e nas atividades biológicas dos metabólitos secundários das plantas no corpo humano (Oliveira et al. 2022).

Hortaliças não convencionais são espécies nativas, exóticas ou naturalizadas que não fazem parte da cadeia produtiva, mas são alimentos com potencial socioeconômico, cultural, nutricional e até mesmo farmacológico inexplorados. Estão inseridas no conceito de Plantas Alimentícias não convencionais (PANC), que são espécies negligenciadas ou subutilizadas pela população não sendo produzidas na agricultura convencional (Madeira et al. 2013; Tuler et al. 2019). Inserir PANC em aquaponia pode promover impactos positivos na segurança alimentar e nutricional, diversificação da alimentação, estímulo a biodiversidade florística, reduzir impactos da aquicultura e agricultura convencionais e produzir alimentos seguros. No entanto, são escassos os estudos que avaliam os efeitos desta combinação no desenvolvimento vegetal, perfil fitoquímico e capacidade antioxidante.

Adicionalmente, a popularização da tecnologia sustentável com cultivo de hortaliças tradicionais pode colaborar com o alcance dos objetivos do milênio, sendo: objetivo 1 (erradicar a pobreza em todas as formas e em todos os lugares); objetivo 2 (acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável); objetivo 6 (assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos); objetivo 8 (promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos) e objetivo 12 (assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis) (United nations 2015).

Nesta pesquisa foram utilizadas as seguintes PANC: *Commelina erecta* (Trapoeraba) e *Acmella oleracea* (Jambu) que foram cultivadas em um sistema de aquaponia com *Oreochromis niloticus* (Tilápia) em dois tratamentos: densidade de 150 e 300 peixes/m3. Esta pesquisa tem como objetivo geral: investigar o efeito das diferentes densidades de cultivo de peixes (150 e 300 peixes/m3) em um sistema de aquaponia no desenvolvimento vegetal, capacidade antioxidante e fenólicos totais de PANC.

A Tilápia é uma espécie dulcícola bastante utilizada na aquicultura, sendo uma das espécies de peixes mais criadas do mundo, pois é resistente, possui boa conversão alimentar e suporta altas densidades de estocagem (Nivaldo et al. 2024; Gallo et al. 2023). O Jambu é uma herbácea da família *Asteraceae* bastante difundida no norte do Brasil e é utilizada em preparações culinárias, assim como em vários países também há aplicabilidades em cosméticos, farmacoterapia (propriedades anti-inflamatórias, diuréticas, vasodilatadoras, antioxidantes e antimicrobianas) e como controle de pragas na agricultura. O seu uso culinário é bastante diversificado e faz parte da culinária de povos originários do Brasil. Suas folhas e flores são partes comestíveis e fornecem picância, efeito anestésico, salivação e refrescância. Possui boa adaptabilidade em climas tropicais e cresce em ambientes com muita exposição solar e solos úmidos, drenados e ricos em matéria orgânica, especialmente fontes de nitrogênio. Ademais, possui inúmeros metabólicos secundários, tais como alcaloides, flavonoides, saponinas, glicosídeos esteroides e taninos (Spinozzi et al. 2022; Lee, 2026; Rodrigues et al. 2023).

A trapoeraba faz parte da família *Commelinaceae*, é amplamente distribuída no Brasil e assim como outras plantas do gênero *Commelina* são tidas como pragas (ervas daninhas) na agricultura de diversos países (Rocha et al. 2007). As folhas e caules possuem uso alimentício e medicinal, sendo utilizadas para infecções, problemas no trato respiratório, diabetes, hipertensão etc. (Cavichi et al. 2023).

Metodologia

O experimento teve duração de 60 dias e foi realizado entre maio e julho de 2025 no Centro de Aquicultura Sustentável, situado na Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente a Universidade de Brasília., localizada no Núcleo Rural Vargem Bonita, Setor de Mansões Park Way, Brasília, Distrito Federal. A FAL compreende a Área de Proteção Ambiental das Bacias do Gama e Cabeça do Veado, no bioma Cerrado. O clima da região é composto de tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco, com temperaturas médias mensais sempre acima de 18º C e abrangendo uma estação quente e chuvosa nos meses de outubro a abril, com precipitação pluviométrica anual em torno de 1.540 milímetros, e outra estação fria e seca de maio a setembro (Telles 2020).

O sistema de aquaponia utilizado foi o *Media Based Systems*, composto de unidades aquapônicas contendo tanque para produção de peixes de polipropileno de 310 litros, caixas de polipropileno de 0,25 metros quadrados para cultivo de vegetais preenchidas com argila expandida, agindo como filtro biológico, bomba d'água (Grupo Sario®, Sariobetter SB1000C, Brasil) e compressor de ar (Grupo Boyu®, ACQ-003, Guangdong, China).

A espécie *Oreochromis niloticus* foi utilizada nos tanques de peixes em dois tratamentos de sistemas intensivos com densidade de 150 (T1) ou 300 peixes por m3 (T2). Os juvenis de tilápia foram inseridos no sistema e permaneceram por 7 dias para adaptação antes do início do cultivo de vegetais. Os juvenis foram alimentados por ração comercial constituída por 40% de proteína bruta, com taxa de alimentação diária de 5% de peso vivo, na frequência de 2 vezes ao dia (Corrêa et al. 2018; Silva et al. 2020).

Foram trabalhadas duas diferentes densidades (150 e 300 peixes por metro cúbico de água) e um controle negativo sem peixes (T0), ou seja, três tratamentos com quatro repetições em cada tratamento, sendo os tratamentos distribuídos ao acaso dentro da estufa. Desta forma, a amostra consistiu em 45 peixes em cada repetição no tratamento de 150 peixes/m^3 e 90 peixes no tratamento de 300 peixes/m^3, totalizando 540 indivíduos. Trabalhos na área de piscicultura procuram levar em consideração diferentes densidades animais e os dados zootécnicos para análises sobre os sistemas de produção através da biomassa e produtividade de peixes e plantas (Rahmatullah 2010; Araújo et al. 2010; Maeda et al. 2010; Ayroza et al. 2011; Costa 2014; Coelho et al. 2014).

No que concerne ao cultivo de hortaliças foram utilizadas as espécies *Commelina erecta* (Trapoeraba) e *Acmella oleracea* (Jambu). As mudas (estacas) de PANC foram adquiridas na Embrapa hortaliças, uma das Unidades descentralizadas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Embrapa) e com foco em pesquisa e desenvolvimento para a produção eficiente e competitiva da olericultura. Foram inseridas duas unidades de cada espécie vegetal, jambu e trapoeraba, em cada unidade aquapônica nos três tratamentos.

O crescimento animal foi avaliado através da mensuração dos parâmetros de peso (g) e comprimento total (cm), no início e final do experimento, utilizando balança eletrônica digital de precisão (B-max – SF-400) e fita métrica, respectivamente. Os mesmos instrumentos foram utilizados para avaliação do desenvolvimento vegetal através dos parâmetros de peso (g), altura (cm) e número de folhas (Silva et al. 2020).

Para determinação do perfil fitoquímico (triagem fitoquímica, fenólicos totais e atividade antioxidante) foram obtidos extratos etanólicos a partir da matéria seca dos vegetais. Após os 60 dias de experimento, as

amostras frescas (folhas) foram coletadas, higienizadas em solução com 2% de hipoclorito de sódio, submetidas a estufa por 72h a 60º C, trituradas em moinho tipo Willey e armazenadas em frascos âmbar (Carvalho et al. 2008).

Na triagem fitoquímica foram realizados testes para identificação qualitativa de saponinas espumídicas, fenóis, taninos, flavonóides, alcalóides (reativos Bouchardat e Mayer), catequinas, esteróides e triterpenóides (Barbosa et al. 2004). A determinação do conteúdo fenólico total foi baseada no método de Folin-Ciocalteau com resultados expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico (Alu'datt et al. 2019; Mlcek et al. 2021) A atividade antioxidante foi avaliada por DPPH (peroxidação do 2,2-difenil-1-picrylhydrazil) e os resultados expressos em IC50 que representa a concentração exata de um extrato, composto ou antioxidante que é necessária para reduzir (ou inibir) 50% dos radicais livres gerados no ensaio. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) (Oliveira et al. 2013; Araújo 2011; Kuskoski et al. 2005; Rufino et al. 2007).

Resultados

Plantas

No quadro 1 fica demonstrado que nos parâmetros aferidos ao início do experimento não existiam diferenças entre os tratamentos, uma vez que as mudas foram padronizadas. Já na parte final do experimento é observado que para o Jambu houve diferença estatística significativa entre o T0 em relação aos Tratamentos 1 e 2, ambos com peixes. Já entre os tratamentos com peixes (T1 e T2), não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para os parâmetros aferidos para o Jambu. Para a Trapoeraba, assim como no Jambu, as aferições iniciais não apresentam diferenças, sendo que foram utilizadas mudas padronizadas. Nas aferições finais, apenas para o parâmetro de peso houve diferença estatística significativa, sendo T0 e T1 não tem diferença entre eles, porém os dois se diferem de T2.

Tabela 1. Parâmetros das duas diferentes espécies de plantas de acordo com o tratamento e a fase experimental. As letras diferentes na mesma linha significam diferenças estatísticas, segundo teste Tukey, $p<0.01$.

Parâmetro/Espécie/Fase	***Jambu***					
Tratamento	T0 Inicial	T1 Inicial	T2 Inicial	T0 Final	T1 Final	T2 Final
Peso	***4.63 ± 0.15***	***4.62 ± 0.14***	***4.67 ± 0.13***	$12.17^{a} \pm 10.69$	$695.78^{b} \pm 400.55$	$805.15^{b} \pm 409.72$
Altura	**15**	**15**	**15**	$40.62^{a} \pm 10.26$	$96.37^{b} \pm 11.43$	$97.68^{b} \pm 7.77$
Nº Folhas	**4**	**4**	**4**	$37.25^{a} \pm 24.64$	$1322.62^{b} \pm 452.08$	$1624.87^{b} \pm 710.85$
Parâmetro/Espécie/Fase	***Trapoeraba***					
Tratamento	T0 Inicial	T1 Inicial	T2 Inicial	T0 Final	T1 Final	T2 Final
Peso	**7**	**7**	**7**	$15.46^{a} \pm 9.1$	$18.71^{a} \pm 13.72$	$57.15^{b} \pm 53.98$
Altura	***18.125***	**18**	***17.5833***	$20.81^{a} \pm 5.07$	$18.42^{a} \pm 5.82$	$24.41^{a} \pm 6.66$
Nº Folhas	**4**	**4**	**4**	$33.25^{a} \pm 17.11$	$28.85^{a} \pm 24.6$	$74.33^{a} \pm 70.36$

Fonte: Autoria própria.

Peixes

Nos parâmetros aferidos para determinação inicial dos peixes não foram encontradas diferenças significativas, porém, na fase final do experimento houve diferenças estatísticas significativas entre T1 e T2, sendo que no T1 os peixes obtiveram crescimento e peso mais significativo (maior) do que T2. Na temperatura da água não foram encontradas diferenças entre os tratamentos, apenas diferenças estatísticas significativas entre os horários de aferição, sendo mais alta nos períodos vespertinos.

Tabela 2. Parâmetros dos peixes de acordo com o tratamento e a fase experimental. As letras diferentes na mesma linha significam diferenças estatísticas, segundo teste Tukey, p<0.01.

Parâmetro/Fase	***Peixes***			
Tratamento	T1 Inicial	T2 Inicial	T1 final	T2 final
Peso	$1.3^{a} \pm 0.35$	$1.23^{a} \pm 0.38$	$18.58^{b} \pm 5.18$	$12.03^{c} \pm 3.57$
Comprimento Total	$4.13^{a} \pm 0.45$	$4.27^{a} \pm 0.44$	$10.32^{b} \pm 0.99$	$9.02^{c} \pm 0.88$

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3. Temperatura da água de acordo com o tratamento e horário da aferição. As letras diferentes na mesma linha significam diferenças estatísticas, segundo teste Tukey, p<0.01.

Temperatura/ Tratamento/Horário	T0 7:00	T1 7:00	T2 7:00	T0 14:00	T1 14:00	T2 14:00
Temperatura (°C)	$28.39^{a} \pm 1.16$	$28.34^{a} \pm 1.22$	$28.39^{a} \pm 1.24$	$32.48^{b} \pm 1.68$	$32.39^{b} \pm 1.68$	$32.36^{b} \pm 1.62$

Fonte: Autoria própria.

Perfil fitoquímico

A trapoeraba apresentou baixa produtividade no sistema aquapônico ao final do estudo e as plantas tinham sinais de podridão e clorose, inviabilizando um número de amostras suficientes e com peso e qualidade adequados para as análises do perfil fitoquímico, fenólicos totais e atividade antioxidante. As folhas precisariam estar sadias para garantir a validade científica do estudo. Sendo assim, os dados a seguir são apenas do jambu.

Quadro 1: Triagem fitoquímica no tratamento 1.

Testes		**Densidade de 150 peixes/m³**							
		1ª repetição		**2ª repetição**		**3ª repetição**		**4ª repetição**	
		Jambu 1	Jambu 2	Jambu 1	Jambu 2	Jambu 1	Jambu 2	Jambu 1	Jambu 2
Saponinas		+	+	+	+	+	+	+	+
Alcaloides	Bouchardat	+	+	+	+	+	+	+	+
	Mayer	+	+	+	+	+	+	+	+
Flavonoides		+	+	-	-	-	-	-	-
Catequinas		-	-	-	-	-	-	-	-
Fenois e taninos		-	+ Taninos catéquicos	-	-	-	-	-	-
Esteroides		-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Quadro 2. Triagem fitoquímica no tratamento 2.

Testes		**Densidade de 300 peixes/m³**							
		1ª repetição		**2ª repetição**		**3ª repetição**		**4ª repetição**	
		Jambu 1	Jambu 2	Jambu 1	Jambu 2	Jambu 1	Jambu 2	Jambu 1	Jambu 2
Saponinas		+	+	+	+	+	+	+	+
Alcaloides	Bouchardat	+	+	+	+	+	+	+	+
	Mayer	+	+	+	+	+	+	+	+
Flavonoides		+	+	-	-	-	-	-	-
Catequinas		-	-	-	-	-	-	-	-
Fenois e taninos		+ Taninos catéquicos	-	-	-	-	-	-	-
Esteroides		-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Discussão

No sistema de aquaponia, os peixes são a principal fonte de nutrientes para as plantas através das suas excretas. A ração fornecida é rica em proteínas e o nitrogênio dessa ração é excretado pelos peixes na forma de

amônia (Hu et al. 2015). Bactérias nitrificantes (como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) que vivem no biofiltro e nas raízes das plantas convertem essa amônia primeiro em nitrito (NO_2^-) e depois em nitrato (NO_3^-), que é a forma de nitrogênio preferencialmente absorvida pela maioria das plantas cultivadas (Mauricieri et al. 2019; Hu et al. 2015). Desta maneira, quanto mais peixes e quanto mais ração é fornecida, mais nutrientes ficam disponíveis na água para as plantas. Isto explica o maior desenvolvimento do jambu nos dois tratamentos em relação ao grupo controle, em que a única fonte de nutrientes era a própria água, que é pobre em nitrogênio e outros elementos essenciais.

Estudos específicos com jambu mostram que o nitrogênio é um fator determinante para o seu crescimento. Aviz et al. (2019) testaram diferentes doses de nitrogênio (de 0 a 150 kg/ha) em jambu cultivado em solo e descobriram que a melhor produtividade era obtida com cerca de 79 kg de N por hectare e que a massa fresca da parte aérea aumentava de forma significativa com a adubação nitrogenada, até certo ponto. O jambu é uma hortaliça folhosa com elevada necessidade de nitrogênio, assim como alface, couve e outras *Brassicas*. Entretanto, a simples presença de peixes no sistema, mesmo na densidade mais baixa de 150 peixes/m³, já forneceu nitrogênio e outros nutrientes em quantidade suficiente para que o jambu expressasse todo o seu potencial de crescimento.

Estudos em aquaponia mostram que mesmo densidades moderadas de peixes podem fornecer concentrações de nitrato que já atendem satisfatoriamente às necessidades das plantas. Por exemplo, uma pesquisa com alface em aquaponia usando tilápias em densidades de 10 a 25 kg/m³ mostrou que a concentração de nitrato na água chegava a 105 mg/L mesmo na maior densidade, e que o peso fresco das plantas aumentava com a densidade, mas as diferenças entre densidades intermediárias e altas nem sempre eram significativas para todos os parâmetros (Pineda-Pineda et al. 2015).

A densidade de 300 peixes/m³, embora dobre o número de peixes e, portanto, a quantidade de ração fornecida e de excretas produzidas, pode ter gerado um excesso de nutrientes que superou a capacidade de absorção pelas plantas, ou porque sua taxa de crescimento já havia atingido o "platô para as condições do sistema (luz, temperatura, espaço), ou porque a maior concentração de amônia na água em densidades mais altas pode ter inibido ligeiramente o crescimento, compensando o maior suprimento de nutrientes.

A *Commelina erecta* (trapoeraba) apresentou um comportamento distinto. Diferentemente do jambu, que é uma hortaliça folhosa selecionada para produção de biomassa, a trapoeraba é uma planta de crescimento mais rasteiro, frequentemente considerada uma "planta daninha" em muitos sistemas agrícolas. A trapoeraba não apresentou diferenças em altura e número de folhas entre os tratamentos ao final do estudo. Além disso apresentou amarelamento foliar (clorose) e podridão de caule e raiz, sugerindo algum tipo de estresse no sistema aquapônico.

Pode-se postular que a trapoeraba sofreu toxicidade por amônia. Em sistemas de aquaponia, especialmente nos primeiros dias de operação ou quando a densidade de peixes é alta, pode haver acúmulo de amônia antes que as bactérias nitrificantes estejam plenamente estabelecidas. A amônia em altas concentrações é tóxica para muitas plantas, causando clorose, folhas menores, crescimento reduzido, inibição do crescimento radicular e, em casos graves, podridão de raízes. Os mecanismos incluem: (1) competição do amônio com outros cátions (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), levando a deficiências minerais; (2) acidificação do meio radicular; (3) alterações no pH intracelular e no balanço osmótico; e (4) acúmulo de espécies reativas de oxigênio que danificam as membranas celulares (Gerendás et al. 1997; Li et al. 2022).

É importante salientar que existem diferenças enormes entre espécies vegetais na tolerância ao amônio. Enquanto algumas plantas (como cebola e milho) são relativamente tolerantes, outras (como tomate, feijão e cucurbitáceas) são muito sensíveis (Gerendás et al. 1997). A trapoeraba, nunca tendo sido selecionada para cultivo em sistemas aquapônicos, provavelmente se enquadra no grupo das espécies sensíveis ao excesso de amônio na zona radicular.

Apesar destes resultados, a trapoeraba apresentou maior peso no T2, em relação aos tratamentos T0 e T1. Uma explicação possível vem de estudos sobre plantas invasoras e sua resposta ao nitrogênio. Pesquisas mostram que algumas plantas classificadas como "ruderais" ou "daninhas" (como muitas *Commelinaceae*) podem alocar mais biomassa para a parte aérea quando os nutrientes são abundantes, mesmo em condições de estresse (Liu et al. 2019).

A trapoeraba no T2 pode ter tido acesso a uma quantidade tão grande de nutrientes que, apesar do estresse causado pela amônia, conseguiu acumular mais biomassa, apesar dos sintomas visuais de deterioração. A podridão de caule e raiz sugere que o sistema radicular estava comprometido, possivelmente por patógenos oportunistas que se proliferam em condições de alta umidade e estresse da planta hospedeira.

Além disso, a competição por luz, nutrientes e espaço radicular entre as espécies vegetais na mesma área de cultivo pode ter refletivo nos resultados menos expressivos da Trapoeraba, tendo em vista que o Jambu teve um crescimento mais vigoroso. Estudos de competição entre espécies vegetais mostram que, quando uma espécie cresce mais rápido e atinge maior porte, ela pode sombrear e suprimir a espécie vizinha, reduzindo drasticamente seu acesso à luz para fotossíntese (Ramseier & Weiner 2006; Gruntman et al. 2017). Além disso, o sistema radicular mais extenso do jambu pode ter capturado a maior parte dos nutrientes disponíveis antes que as raízes da trapoeraba pudessem absorvê-los.

Trapoeraba é uma espécie que não se adaptou bem ao sistema aquapônico. Os sintomas de clorose e podridão radicular indicam sensibilidade ao ambiente de alta umidade e/ou à toxicidade por amônio. O aumento de peso apenas no T2 provavelmente reflete um acúmulo forçado de biomassa de baixa qualidade sob alta disponibilidade de nutrientes, e não um crescimento saudável.

A menor densidade de peixes favoreceu um maior desenvolvimento das tilápias. Estes resultados refletem uma menor competição por alimentos em baixas estocagens. Estudos mostram que a taxa de consumo de ração diminui significativamente com o aumento da densidade de estocagem. Em um experimento clássico, pesquisadores observaram que tilápias híbridas estocadas em diferentes densidades apresentaram redução no consumo de ração conforme a lotação aumentava (Siddiqui & Al-Harbi 1999). Isso acontece porque peixes maiores ou mais agressivos podem monopolizar o alimento, deixando os menores com menos acesso, um fenômeno bem documentado em tilápias, que formam hierarquias sociais de dominância (Mcginty 1985; Barcellos 1999a).

Ani et al. (2022) comparou três densidades (150, 300 e 450 peixes/m³) em um sistema de aquaponia com tilápia e alface e constatou que a conversão alimentar foi pior nas densidades mais altas: 1,86 e 1,66 para as densidades de 300 e 450, respectivamente, contra 1,45 na menor densidade. Isso significa que, nas densidades maiores, cada quilo de ração rendeu menos quilos de peixe. O mesmo estudo também reportou que a sobrevivência foi menor na maior densidade (93,85%, 89,73% e 82,05% de sobrevivência em 150, 300 e 450 peixes/m³).

Outra possibilidade é o maior estresse em maiores densidades que elevam os níveis de cortisol nos peixes. Em um experimento conduzido por Barcellos et al. (1999a), tilápias do Nilo mantidas em grupos maiores (10 peixes por tanque) apresentaram níveis de cortisol mais elevados do que peixes criados sozinhos ou em pares. Esses peixes mais estressados também ganharam menos peso ao longo de 60 dias. Em tilápias submetidas a estresse crônico, pesquisadores observaram uma redução de aproximadamente um terço no ganho de peso em relação aos peixes não estressados (Barcellos 1999b).

Densidades maiores de peixes podem ainda comprometer a qualidade da água, especialmente dureza da água, oxigênio dissolvido, nitrito e nitrato que aumentam conforme a densidade sobe. Em um experimento com carpas em aquaponia, a densidade mais alta (4,6 kg/m³) resultou em oxigênio dissolvido significativamente menor e concentrações mais altas de amônia em comparação com a densidade mais baixa (2,5 kg/m³). Isso prejudicou tanto o crescimento dos peixes quanto a produção de hortaliças (Maucieri et al. 2019).

Além disso, em altas densidades, o espaço físico reduzido por si só pode limitar o crescimento. Um estudo com tilápias juvenis em gaiolas mostrou que, ao aumentar a densidade de 250 para 350 peixes/m³, o peso final dos peixes caiu 68,2%, e para 450 peixes/m³, a redução foi de 56% (Costa et al. 2017).

Na triagem fitoquímica observou-se a presença de saponinas e alcaloides em todas as amostras, independentemente do tratamento, sendo um achado que reflete a constituição química intrínseca do jambu. A espécie *Acmella oleracea* é conhecida por produzir uma ampla variedade de alcaloides e saponinas como parte de seu metabolismo secundário. O composto mais famoso do jambu é o espilantol, uma alcamida, um alcaloide responsável pela sensação de formigamento e anestesia local que a planta provoca. Estudos de perfil químico do jambu identificaram dezenas de alcaloides (principalmente alcamidas N-isobutil-substituídas) e diversos compostos fenólicos, como ácidos clorogênicos e flavonoides glicosilados (Nascimento et al. 2020). Saponinas triterpênicas também são metabólitos comuns em plantas da família *Asteracea*. A produção desses compostos é geneticamente determinada, mas pode ser modulada por fatores ambientais. Por exemplo, estudos com *Panax notoginseng* mostraram que saponinas (como os ginsenósidos) aumentam significativamente sob condições de baixo nitrogênio, enquanto altas doses de nitrogênio reduzem seu acúmulo (Zhang et al. 2020). O fato de saponinas e alcaloides terem aparecido em todas as plantas dos dois tratamentos indica que a capacidade de produzir esses metabólitos é constitutiva.

Quanto aos de taninos catéquicos, este foram identificados em apenas poucas amostras de ambos os tratamentos. Taninos são compostos fenólicos complexos, formados pela polimerização de flavonoides (como catequina e epicatequina). A produção de taninos é influenciada por diversos fatores ambientais, como radiação

ultravioleta, temperatura, disponibilidade hídrica e nutrientes (Gobbo-Neto et al. 2016). A revisão Gobbo-Neto et al. (2016) destaca que a síntese desses metabólitos pode variar sazonalmente e ser afetada por estresses abióticos.

Quanto aos taninos, eles são metabólitos de alto custo energético para a planta. A hipótese do balanço carbono/nutrientes prevê que compostos fenólicos como taninos tendem a se acumular quando há excesso de carbono em relação ao nitrogênio disponível (Deng et al. 2019). Em condições de suprimento adequado de nitrogênio, a planta aloca o carbono preferencialmente para o crescimento, e não para a produção desses compostos de defesa, o que explicaria a baixa ocorrência de taninos catéquicos. Ademais, a meta-análise de Sun et al. (2020) mostrou que a adição de nitrogênio reduz a concentração de flavonoides e taninos totais nas plantas em cerca de 30%. Isso sugere que o suprimento de nitrogênio via aquaponia pode estar suprimindo ativamente a via biossintética dos taninos no jambu.

Por conseguinte, os taninos catéquicos podem ter sido produzidos em quantidades muito baixas, abaixo do limite de detecção do método utilizado na maioria das amostras. No estudo de Nascimento et al. (2020), que fez um mapeamento químico detalhado do jambu por espectrometria de massas, os principais compostos identificados foram ácidos fenólicos, flavonoides glicosilados e alcamidas, mas taninos não foram mencionados como componentes majoritários.

Conforme observado nas figuras 5 e 6, não houve diferença significativa no teor de fenólicos totais e na atividade antioxidante entre os dois tratamentos. Podendo-se inferir sobre a relação entre disponibilidade de nitrogênio e metabolismo secundário em plantas. De acordo com a hipótese do balanço carbono/nutrientes, plantas que crescem em ambientes com pouco nitrogênio tendem a desviar mais carbono para a produção de compostos fenólicos (que são ricos em carbono e pobres em nitrogênio). Já em situações de nitrogênio abundante, a planta prioriza o crescimento (produção de proteínas) e reduz a síntese desses compostos de defesa (Deng et al. 2019; Sun et al. 2020).

A redução de metabólitos secundários está correlacionada positivamente com a relação C/N da planta: quanto menor a relação C/N (ou seja, mais nitrogênio disponível), menor o teor de fenóis (Sun et al. 2020). No tabaco, pesquisadores demonstraram que a deficiência de nitrogênio ativa genes da via dos fenilpropanoides (como a PAL — fenilalanina amônia-liase), aumentando em 3 a 4 vezes os níveis de ácido clorogênico e em até 10 vezes os de rutina (um flavonoide) (Fritz et al. 2006).

Nesta pesquisa as duas densidades de peixes possivelmente resultaram em concentrações de nitrogênio disponível para as plantas que ficaram dentro de uma faixa similar, talvez ambas suprindo adequadamente as necessidades de crescimento do jambu, sendo esperado que os teores de fenóis e a atividade antioxidante fossem semelhantes entre os tratamentos. Além disso, um estudo específico com jambu comparou cultivo orgânico e convencional e mostrou que o tipo de adubação influenciava os níveis de fenóis, mas de maneira dependente da cultivar e da parte da planta analisada (Borges et al. 2016). Já outro estudo comparou jambu cultivado em sistema hidropônico e convencional (solo) e observou que as folhas sempre apresentavam os maiores teores de fenóis totais, flavonoides e capacidade antioxidante, independentemente do sistema de cultivo, mas os valores absolutos variavam conforme o método de cultivo. Além disso, o teor de fenóis totais foi maior no cultivo em solo (provavelmente como resposta a estresses ambientais) (Nascimento et al. 2020). Isso reforça que o jambu é uma planta que responde de forma sutil e específica às condições nutricionais.

Considerações Finais

Esses resultados têm uma implicação prática importante: em sistemas de aquaponia, a escolha das espécies vegetais é crucial. Espécies como o jambu, que são "exigentes" em nitrogênio e toleram bem as condições do sistema, são ótimas candidatas. Já espécies como a trapoeraba podem não ser adequadas para esse tipo de cultivo, a menos que cultivadas isoladamente ou em sistemas com menor densidade de peixes e maior controle da qualidade da água.

As duas densidades de peixes testadas não foram suficientemente diferentes para criar ambientes nutricionais distintos para o jambu. Sistemas aquapônicos têm uma capacidade tampão considerável: mesmo que a densidade mais alta gere mais resíduos, grande parte do nitrogênio pode se perder por volatilização e desnitrificação, nivelando a disponibilidade efetiva de nutrientes para as plantas. A presença de saponinas e alcaloides em todas as amostras confirma que o jambu mantém sua identidade química característica, enquanto a escassez de taninos reflete a priorização do crescimento em detrimento de metabólitos secundários.

Para avançar na compreensão dessas relações, seria interessante considerar em estudos futuros: aumentar a diferença entre as densidades de peixes testadas; medir os teores de nitrogênio e a relação C/N efetivamente disponíveis para as plantas ao longo do ciclo; e analisar não apenas a concentração, mas também o conteúdo

total de metabólitos por planta, já que o efeito de diluição pelo aumento de biomassa pode mascarar diferenças reais na produção de compostos.

Referências Bibliográficas

Alu'datt MH, Rababah T, Alhamad MN, Al-Tawaha A, Al-Tawaha AR, Gammoh S, Ereifej KI, Al-Karaki G, Hamasha HR, Tranchant CC, Kubow S 2019. Herbal yield, nutritive composition, phenolic contents and antioxidant activity of purslane (Portulaca oleracea L.) grown in different soilless media in a closed system. *Industrial Crops and Products* 141:111746.

Amorim MJ, Tosta MCR 2020. A piscicultura como alternativa para diminuir os impactos ambientais da produção de carne bovina. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 8(4).

Ani, JS, Manyala, JO, Masese, FO, Fitzsimmons, K 2022. Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) in the aquaponic system integrated with lettuce (Lactuca sativa). *Aquaculture and Fisheries 7*(3): 328-335.

Araújo, GS, Rodrigues, JAG, Silva, JWAD, Farias, WRL 2010. Cultivo da tilápia do Nilo em tanques-rede circulares em diferentes densidades de estocagem. *Biosci. j.(Online)* 26(3): 428-434.

Araújo JMA 2011. *Química de alimentos: teoria e prática*. 5ª edição. Ed. UFV, Viçosa, 596 pp.

Aviz, WLC, de Lima, JA, Silva, ALP, Gomes, RF, Souza, RORM, Santos, HCA, Oliveira, PD 2019. Productivity of jambu ('Acmella oleracea') using different soil water tensions and nitrogen rates under greenhouse condition. *Australian Journal of Crop Science 13*(3): 360-366.

Ayroza, LMDS., Romagosa, E, Ayroza, DMMDR, Scorvo Filho, JD, Salles, FA 2011. Custos e rentabilidade da produção de juvenis de tilápia-do-nilo em tanques-rede utilizando-se diferentes densidades de estocagem. *Revista Brasileira de Zootecnia 40*(2): 231-239.

Barbosa WLR, Quignard E, Tavares ICC, Pinto LN, Oliveira FQ, Oliveira RM 2004. Manual para análise fitoquímica e cromatográfica de extratos vegetais. *Revista científica da UFPA*, *4*(9): 1-19.

Barcellos, LJG, Nicolaiewsky, SSMG, Souza, SMG, Lulhier, F 1999a. Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, Oreochromis niloticus (L.), previously exposed to chronic stress. *Aquaculture Research 30*(6): 437-444.

Barcellos, LG, Nicolaiewsky, S, Souza, SG, Lulhier, F 1999b. The effects of stocking density and social interaction on acute stress response in Nile tilapia Oreochromis niloticus (L.) fingerlings. *Aquaculture Research 30*(11-12): 887-892.

Borges, LS, Vieira, MCS, Vianello, F, Goto, R, & Lima, GPP 2016. Antioxidant compounds of organically and conventionally fertilized jambu (Acmella oleracea). *Biological Agriculture & Horticulture 32*(3): 149-158.

Carvalho SJP, López-Ovejero RF, Christoffoleti PJ 2008. Crescimento e desenvolvimento de cinco espécies de plantas daninhas do gênero Amaranthus. *Bragantia* 67(2):317–326.

Cavichi LV, Liberal Â, Dias MI, Mandim F, Pinela J, Kostić M, Soković M, Kalschne DL, Fernandes A, Canan C, Barros L, Amaral, JS 2023. Chemical composition and biological activity of Commelina erecta: An edible wild plant consumed in Brazil. *Foods 12*(1): 192.

Coêlho, AADC, Bezerra, JHC, Silva, JWAD, Moreira, RT, Albuquerque, LFGD, Farias, WRL 2014. Desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo cultivados em um sistema de recirculação de água com a microalga Spirulina platensis. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal 15*(1): 149-159.

Corrêa RO, Sousa ARB, Martins Junior H 2018. Criação de Tambaquis. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 20p.

Costa AAP 2014. *Densidade de estocagem sobre o desempenho e estresse de juvenis de tilápia (Oreochromis niloticus) em tanques rede. 48p* (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado–Área de Concentração em Ciências Animais) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil).

Costa Â, Roubach R, Dallago BSL, Bueno GW, McManus C, Bernal FEM 2017. Influência da densidade de criação sobre o desempenho de crescimento e bem-estar de tilápias (Oreochromis niloticus) juvenis em gaiolas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 69*: 243-251.

Deng B, Li Y, Lei G, Liu G 2019. Effects of nitrogen availability on mineral nutrient balance and flavonoid accumulation in Cyclocarya paliurus. *Plant Physiology and Biochemistry 135*: 111-118.

Fritz C, Palacios-Rojas N, Feil R, Stitt M 2006. Regulation of secondary metabolism by the carbon–nitrogen status in tobacco: nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism. *The Plant Journal 46*(4): 533-548.

Gallo N, Terzi A, Sibillano T, Giannini C, Masi A, Sicuro A, Blasi FS, Corallo A, Pennetta A, De Benedetto GE, Montagna F, Maffezzoli A, Sannino A, Salvatore L 2023. Age-related properties of aquaponics-derived Tilapia skin (Oreochromis niloticus): A structural and compositional study. *International Journal of Molecular Sciences 24*(3): 1938.

Gerendás, J, Zhu, Z, Bendixen, R, Ratcliffe, RG, Sattelmacher, B 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160(2):239-251.

Gobbo-neto L, Lopes NP 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova* 30(2):374-381.

Gruntman M, Groß D, Májeková M, Tielbörger K 2017. Decision-making in plants under competition. *Nature communications 8*(1): 2235.

Hu Z, Lee, JW, Chandran K, Kim S, Brotto AC, Khanal SK 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology* 188:92-98.

uskoski EM, Asuero AG, Troncoso AM, Mancini-Filho, J, Fett R 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 25(4):726–732.

Lee BW 2026. Botany, Ethnopharmacology, Phytochemistry, Biological Activities of Acmella oleracea: A Comprehensive Review.

Li B, Zhang Y, Xian Y, Luo P, Xiao R, Wu J 2022. Physiological response and tolerance of Myriophyllum aquaticum to a wide range of ammonium concentrations. *Journal of Environmental Management* 317:115368.

Liu XA, Peng Y, Li JJ, Peng PH 2019. Enhanced shoot investment makes invasive plants exhibit growth advantages in high nitrogen conditions. *Brazilian Journal of Biology* 79:15-21.

Madeira NR, Silva PC, Botrel N, Mendonça JLD, Silveira GS, Woods M 2013. *Manual de produção de hortaliças tradicionais*. Embrapa, Brasília, DF.

Maeda H, Silva PC, Oliveira PC, Aguiar MS, Pádua DMC, Machado NP, Rodrigues V, silva RH 2010. Densidade de estocagem na alevinagem de Tilápia do Nilo em tanques-rede. *Ciências Animais Bras* 11(3):471-476.

Maucieri C, Nicoletto C, Zanin G, Birolo M, Trocino A, Sambo P, Borin M, Xiccato G 2019. Effect of stocking density of fish on water quality and growth performance of European Carp and leafy vegetables in a low-tech aquaponic system. *PloS One* 14(5):e0217561.

MCGINTY AS 1985. Effects of size at stocking on competition and growth of all-male tilapia hybrids. *Journal of the World Mariculture Society* 16(1-4):52-56.

Mlcek J, Plaskova A, Jurikova T, Sochor J, Baron M, Ercisli S 2021. Chemical, Nutritional and Sensory Characteristics of Six Ornamental Edible Flowers Species. *Foods* 10(9):2053.

Nascimento LES, Arriola NDA, Silva LAL, Faqueti LG, Sandjo, LP, Araújo CES, Biavatti MW, Barcelos-Oliveira JL, Amboni RDDMC 2020. Phytochemical profile of different anatomical parts of jambu (Acmella oleracea (L.) RK Jansen): A comparison between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. *Food Chemistry* 332:127393.

Nivaldo ALP, Vieira ERQ, Ferreira MA, Queiroz ASB 2024. Sistema de Aquaponia Como Alternativa Sustentável: Impacto na Production de Peixes e Plantas Folhosas. *Revista Contemporânea* 4(12):e6994.

Oliveira DDCDS, Wobeto C, Zanuzo MR, Severgnini C 2013. Composição mineral e teor de ácido ascórbico nas folhas de quatro espécies olerícolas não-convencionais. *Horticultura Brasileira* 31(3):472–475.

Oliveira LFC, Tega DU, Duarte GHB, Barbosa LD, Ribeiro HC, Castello, ACD, Sawaya ACHF, Sussulini, A 2022. Foodomics for agroecology: Differentiation of volatile profile in mint (Mentha× gracilis Sole) from permaculture, organic and conventional agricultural systems using HS-SPME/GC–MS. *Food Research International* 155:111107.

Pineda-Pineda J, Miranda-Velázquez I, Rodríguez-Pérez JE, Ramírez-Arias JA, Pérez-Gómez EA, García-Antonio IN, Morales-Parada JJ 2015. Nutrimental balance in aquaponic lettuce production. In *International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses-GreenSys 2015*. Vol. 1170, p. 1093-1100.

Raulier P, Latrille F, Ancion N, Kaddouri M, Crutzen N, Jijakli MH 2023. Technical and Business Evaluation of Professional Aquaponics in Europe. *Water* 15(6):1198.

Rocha DC, Rodella RA, Martins D 2007. Caracterização morfológica de espécies de trapoeraba (Commelina spp.) utilizando a análise multivariada. *Planta Daninha* 25:671-678.

Rodrigues ET, Peretti, P, Bezerra, RM, Biancardi MF, Sousa FF, Mendes EP, Dutra JBR, Silveira CCR, Castro CH, Cruz JN, Santos CBR, Santos FCA, Pinheiro MT 2023. Pharmacological Characteristics of the Hydroethanolic Extract of Acmella oleracea (L) RK Jansen Flowers: ADME/Tox In Silico and In Vivo Antihypertensive and Chronic Toxicity Evaluation. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2023(1):1278720.

Rufino MSM, Alves RE, Brito ES, Morais SM, Sampaio CDG, Pérez-Jimenez J, Saura-Calixto FD 2007. *Métodos Para Determinação da Atividade Antioxidante de Frutos*. Embrapa, Fortaleza.

Siddiqui AQ, Al-Harbi AH 1999. Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia. *Aquaculture* 170(3-4):245-252.

Silva AB, Batista JL, Brito CH 2019. Atividade inseticida do nim, Azadirachta indica A. Juss. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 4(4):2.

Silva KGL, Moura DF, Silva MM, Monte ZS, Rocha TA, Ferreira SAO, Silva JHL, Barros DM 2023. Consumo regular de peixes por crianças em idade escolar: uma revisão integrativa. *Brazilian Journal of Health Review* 6(4):18343-18354.

Silva TBF, Silva RRS, Pinto FEN, Silva-Matos RRS, Cordeiro KV, Pereira AM, Lopes JM 2020. Criação de tambaqui associado à hidroponia em sistema de recirculação de água. *Research, Society and Development* 9(9):e543997543.

Silva WLM, Frozzi JC, Fonseca JS, Souza AL, Salvador JSP, Ribeiro PNT, Campos MCC 2018. Sustentabilidade na aquicultura: dimensões social, econômica e ambiental–uma revisão de literatura. *Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente* 20(1):87-108.

Spinozzi E, Ferrati M, Baldassarri C, Cappellacci L, Marmugi M, Caselli A, Benelli G, Maggi F, Petrelli R 2022. A review of the chemistry and biological activities of Acmella oleracea ("jambù", Asteraceae), with a view to the development of bioinsecticides and acaricides. *Plants* 11(20):2721.

Ramseier D, Weiner J 2006. Competitive effect is a linear function of neighbour biomass in experimental populations of Kochia scoparia. *Journal of Ecology 94*(2): 305-309.

Sun Y, Guo J, Li Y, Luo G, Li L, Yuan H, Guo S 2020. Negative effects of the simulated nitrogen deposition on plant phenolic metabolism: A meta-analysis. *Science of the Total Environment* 719:137442.

Telles CC 2020. Produção orgânica do taro [Colocasia esculenta (L.) Schott]: componentes da produção, análise econômico-financeira e qualidade pós-colheita. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 157 pp.

Tuler AC, Peixoto AL, Silva NCB 2019. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) na comunidade rural de São José da Figueira, Durandé, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* 70.

United Nations 2015. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development* [homepage on the Internet]. [cited 2023 Oct 1]. Available from: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf

Verma AK, Chandrakant MH, John VC, Peter RM, John IE 2023. Aquaponics as an integrated agri-aquaculture system (IAAS): Emerging trends and future prospects. *Technological Forecasting and Social Change* 194:122709.

Zhang JY, Cun Z, Wu HM, Chen JW 2020. Integrated analysis on biochemical profiling and transcriptome revealed nitrogen-driven difference in accumulation of saponins in a medicinal plant Panax notoginseng. *Plant Physiology and Biochemistry* 154:564-580.