UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL
Eglerson Duarte

CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DA ALFACE EM AQUAPONIA COM TILÁPIA BASEADO EM SOLUÇÃO HIDROPÔNICA

DIAMANTINA - MG
2019

Eglerson Duarte

CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DA ALFACE EM AQUAPONIA COM TILÁPIA BASEADO EM SOLUÇÃO HIDROPÔNICA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de "Doutor".

Orientador: Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

Diamantina - MG
2019

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

D812c Duarte, Eglerson
Calibração da solução nutritiva da alface em aquaponia com tilápia baseado em solução hidropônica / Eglerson Duarte, 2020.
22 p. : il.

Orientador: Enilson de Barros Silva

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

1. Lactuca sativa l. 2. Nutrição de plantas. 3. Oreochromis niloticus. 4. Sistema intensivo. I. Silva, Enilson de Barros. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 639.3

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária Viviane Pedrosa – CRB6/2641

EGLERSON DUARTE

CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DA ALFACE EM AQUAPONIA COM TILÁPIA BASEADO EM SOLUÇÃO HIDROPÔNICA

Tese apresentada ao DOUTORADO EM PRODUÇÃO VEGETAL, nível de DOUTORADO como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR EM PRODUÇÃO VEGETAL

Orientador (a): Prof. Dr. Enilson De Barros Silva

Data da aprovação : 13/12/2019

Prof.Dr. ENILSON DE BARROS SILVA - UFVJM

Prof.Dr.ª MÁRCIA REGINA DA COSTA - UFVJM

Prof.Dr. ANTÔNIO WILSON DE OLIVEIRA MALTA - UFV

Prof.Dr. MARCELO MATTOS PEDREIRA - UFVJM

DIAMANTINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

DIAMANTINA – MINAS GERAIS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ATESTADO DE DEFESA POR VIDEOCONFERÊNCIA

Atesto para os devidos fins que no dia 13 de dezembro de 2019, às 14h, nas dependências da UFVJM – em Diamantina, foi realizada a defesa de dissertação/tese do(a) discente Eglerson Duarte com o trabalho intitulado "CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DA ALFACE EM AQUAPONIA COM TILÁPIA BASEADO EM SOLUÇÃO HIDROPÔNICA", no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal.

Na qualidade de presidente da banca, atesto (a) Prof. (a) Dr. (a)Antônio Wilson de Oliveira Malta (docente da UFV), participou através de videoconferência.

Em virtude da participação remota do membro da banca acima indicado, eu, Enilson de Barros Silva, enquanto servidor público, no gozo de fé pública, assino no lugar desse na Ata de Defesa e na Folha de Aprovação da referida defesa.

Por ser verdade, dou fé e assino o presente atestado.

Diamantina, 13 de dezembro de 2019.

Enilson de Barros Silva

Presidente da Banca

OFEREÇO

À Deus pela oportunidade de aprendizado.

À minha família a quem devo tudo o que sou e o que conquistei.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora da Conceição, por me abençoarem nessa jornada.

Aos meus pais, Eustáquio Pereira Duarte e Enoi Eugênia Pereira Duarte e minha irmã Eliane Damacedo Miranda Duarte por todo o incentivo, apoio e amor dedicado durante toda a minha vida.

À mina esposa Fernanda da Conceição Moreira pelo apoio, amor e ajuda no planejamento do projeto e execução desse trabalho.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pelas grandes oportunidades na minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela confiança.

À equipe do Laboratório de Aquicultura e Ecologia Aquática da UFVJM, pela pareceria nesse experimento em especial ao professor Marcelo e a técnica Talita minha amiga.

À equipe do Laboratório de Fertilidade do solo sempre dispostos a ajudar em especial a Ramony, Vicktor, Shara e ao técnico Lindomar, meu socorro na química.

Ao Laboratório LIPEMVALE da UFVJM ao técnico Abraão pela ajuda nas análises.

Aos alunos da graduação em agronomia e os meus amigos do programa de Pós-graduação da UFVJM, em especial ao Levi, Caroline e o Dermeval pela grande ajuda no experimento.

Aos meus amigos técnicos do Departamento de Agronomia da UFVJM, aos professores do Departamento de Agronomia e do programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFVJM.

Aos membros da banca de qualificação: Dr André, Dra. Patrícia e Dra. Lauana e da defesa: Dra. Marcia, Dr. Marcelo e Dr. Antônio Wilson pela contribuição dada ao trabalho.

A FAPEMIG, CAPES, e CNPQ pela ajuda na aquisição de equipamentos e reagentes.

Ao orientador professor Enilson pela ajuda, dedicação e por acreditar no potencial do projeto.

A todos aqueles que me deram uma palavra de apoio durante essa jornada.

RESUMO

No sistema de aquaponia a água residual do cultivo de peixes não é suficiente para suprir toda a demanda nutricional das plantas, sendo necessária a suplementação com adubo mineral. Objetivou-se com este trabalho ajustar uma solução nutritiva para o cultivo da alface em aquaponia baseado na hidroponia, contribuindo dessa forma para o aperfeiçoamento da técnica de manejo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, com três blocos com avaliação de quatro plantas de alface por bloco. Os tratamentos foram seis cultivos (C1, C2, C3, C4, C5 e C6) de trinta dias de alface em aquaponia e hidroponia (controle) divididos em três etapas. Primeira etapa, cultivo C1, identificação de sintomas visuais de deficiências nutricionais. Segunda fase, cultivos C2, C3 e C4, calibração da solução nutritiva. Terceira fase, cultivo C5 e C6, validação da solução nutritiva balanceada. O menor aporte de nutrientes devido à ausência de um período de no mínimo 30 dias para a maturação do sistema, fez com que a massa seca total e das folhas do cultivo C2 fosse o menor quando comparada aos demais cultivos da aquaponia, que possuíam tempo adequado de maturação. A maturação do sistema e a utilização da solução balanceada no cultivo C5 e C6 permitiu o diâmetro de "cabeça" das plantas da aquaponia igualar-se as da hidroponia. No sistema de aquaponia o N foi o macronutriente e o Fe o micronutriente mais demandado pelas plantas de alface. Devido a ração comercial fornecida para a Tilápia não ser suficiente para suprir toda a demanda nutricional da alface na aquoponia é necessária realizar a maturação da água de cultivo por no mínimo 30 dias, aliado a suplementação de micronutrientes na forma de adubo mineral, com uma densidade adequada das Tilápias (*Oreochromis niloticus*), alimentadas com ração comercial contendo entre 32 e 42 g kg^{-1} de proteína bruta, respeitando a relação de 60 g de ração para cada m^2 de cultivo.

Palavras-Chaves: *Lactuca sativa* L., nutrição de plantas, *Oreochromis niloticus,* sistema intensivo.

ABSTRACT

In the aquaponics system, the residual water from the cultivation of fish is not sufficient to supply all the nutritional demand of the plants, requiring supplementation with mineral fertilizer. The objective of this work was to adjust a nutritive solution for the cultivation of lettuce in aquaponics based on hydroponics, thus contributing to the improvement of the management technique. The experiment was conducted in a greenhouse, in a randomized block design, with three blocks with the evaluation of four lettuce plants per block. The treatments were six crops (C1, C2, C3, C4, C5 and C6) of thirty days of lettuce in aquaponics and hydroponics (control) divided into three stages. First stage, C1 cultivation, identification of visual symptoms of nutritional deficiencies. Second phase, crops C2, C3 and C4, calibration of the nutrient solution. Third phase, cultivation C5 and C6, validation of the balanced nutrient solution. The lower supply of nutrients due to the absence of a period of at least 30 days for the maturation of the system, made the total dry mass and leaves of the C2 crop to be the lowest when compared to the other aquaponic crops, which had adequate time maturation. The maturation of the system and the use of the balanced solution in the C5 and C6 cultivation allowed the 'head' diameter of the aquaponics plants to match those of the hydroponics. In the aquaponics system, N was the macronutrient and Fe was the micronutrient most demanded by lettuce plants. Due to the fact that the commercial feed provided for Tilapia is not sufficient to supply all the nutritional demand of lettuce in aquoponics, it is necessary to ripen the cultivation water for at least 30 days, together with supplementation of micronutrients in the form of mineral fertilizer, with a density Tilapia (Oreochromis niloticus), fed with commercial feed containing between 32 and 42 g Kg^{-1} of crude protein, respecting the ratio of 60 g of feed for each m^2 of cultivation.

Keywords: *Lactuca sativa* L., plant nutrition, *Oreochromis niloticus,* intensive system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma dos seis cultivos de 30 dias de plantas de alface em sistema de aquaponia contendo alevinos de Tilápia.....4

Figura 2- Teor de amônio, nitrato e alcalinidade, em seis cultivos de 30 dias de plantas de alface em sistema de aquaponia contendo alevinos de Tilápia e hidroponia. Barras de cores diferentes seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de F ($p \leq 0,01$).....9

Figura 3- Diâmetro de "cabeça", número de folhas, massa seca: folhas, caules, raiz, parte aérea, total e área foliar de plantas de alface em seis cultivos de 30 dias, em sistema de aquaponia e hidroponia. Barras de cores diferentes seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de F ($p \leq 0,01$).....10

Figura 4- Teor de macro e micronutrientes em folhas de plantas de alface, em seis cultivos de 30 dias em sistema de aquaponia e hidroponia. Faixa crítica da cultura linha perpendicular as barras. Barras de cores diferentes seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de F ($p \leq 0,01$).....12

Figura 5- Acúmulo de nutrientes na massa seca total de plantas de alface, em seis cultivos de 30 dias em sistema de aquaponia e hidroponia. Barras de cores diferentes seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de F ($p \leq 0,01$).....13

Apêndice- Sistema de aquaponia constituído de um tanque para peixes de $1m^3$, um filtro de resíduo sólidos de 0,2 m^3, um filtro biológico de $0,2m^3$ e três mesas de cultivo (A), Filtro de resíduos sólidos (B), Filtro biológico preenchido com biomídia (C), Mesa de cultivo com mudas de alface (D), Tilápia (E).....22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Porcentagem de proteína bruta da ração (PB), Porcentagem de consumo de ração em relação ao peso vivo (CR), total de peixes em cada cultivo (TP), total de peixes avaliados (PA), biomassa (B), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), altura (AL) e peso (P), de alevinos de Tilápia, em seis cultivos de 30 dias consorciados com plantas de alface em sistema de aquaponia.....6

Tabela 2- Valores médios de temperatura, pH, condutividade elétrica e teor de macro e micronutrientes aos 0 e 30 dias na água do sistema de aquaponia, em seis cultivos de 30 dias contendo plantas de alface consorciadas com alevinos de Tilápia.....7

SUMÁRIO

RESUMO..... I
ABSTRACT..... II
LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... III
LISTA DE TABELAS..... IV
1 INTRODUÇÃO..... 1
2 REFERENCIAL TEÓRICO 2
3 MATERIAL E MÉTODOS 3
4 RESULTADOS 8
5 DISCUSSÃO..... 14
6 CONCLUSÕES..... 18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 19
APÊNDICE..... 22

1 INTRODUÇÃO

O consumidor cada vez mais consciente e exigente quanto aos bens adquiridos, procura por alimentos mais saudáveis e que causem menor impacto ambiental na produção. Isso faz com que o produtor busque produzir alimentos de forma tecnicamente correta, socialmente justa, com acessibilidade do mercado a um produto de qualidade e economicamente viável. Técnicas de integração na produção colaboram para a demanda e o consumo consciente. A Embrapa nos últimos anos começou a introduzir no Brasil modelos de sistemas de aquaponia para pequenos produtores, de forma a possibilitar a produção de proteína animal e vegetal de qualidade, em regiões que não seriam propicias para o cultivo agrícola.

Os sistemas de aquaponia trabalham com a interação entre macro e micro-organismos (plantas, bactérias e peixes). A água do cultivo dos peixes, em um sistema fechado, é tratada por filtragem física e biológica sendo utilizada no cultivo das plantas e retornando posteriormente para o peixe. Dessa forma, diminui-se a perda de água e otimiza-se o uso dos nutrientes fornecidos. As excretas dos peixes, alimentados com ração, é a principal fonte de fornecimento de nutrientes para a planta. Entretanto, as excretas não conseguem atender toda a demanda nutricional da planta, sendo necessária a suplementação com adubo mineral. Na literatura há algumas recomendações de aplicação de Ca, P, K e Fe para alface cultivada em sistemas de aquaponia. Porém, a suplementação somente desses nutrientes não é suficiente para atender toda a demanda da planta, sendo necessária uma recomendação balanceada para que a planta possa expressar todo o seu potencial de produção.

Na hidroponia, sistema consolidado, utiliza-se adubo mineral para formular uma solução nutritiva balanceada adequada para cada cultura. Utilizar o conceito de solução nutritiva balanceada na aquaponia, para suplementar a deficiência de nutrientes das excretas dos peixes, evitaria gastos com fornecimento em excesso de adubo mineral ou o aparecimento de sintomas de deficiências nutricionais em situações de insuficiência no fornecimento. O uso de solução nutritiva adequada para a aquaponia facilitaria o manejo do sistema. Diante do contexto, objetivou-se com esse trabalho ajustar uma solução nutritiva para o cultivo da alface em aquaponia com juvenis de Tilápia, baseado na hidroponia, contribuindo dessa forma para o aperfeiçoamento da técnica de manejo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos anos aumentou o interesse dos consumidores por alimentos mais saudáveis produzidos de maneira ambientalmente responsável e com baixo custo (RIBEIRO; JAIME; VENTURA, 2017). A aquaponia, sistema que integra a piscicultura e a hidroponia atende essa demanda, minimizando perdas de água e nutrientes demandados na produção agrícola. O fornecimento de ração aos peixes é a entrada principal de insumo no sistema (CARNEIRO et al., 2015). Por ser um sistema de recirculação fechado, a água com dejeto dos peixes acumula nutrientes e matéria orgânica em um fluxo contínuo, envolvendo peixes, plantas e bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* (SOMERVILLE et al., 2014). As bactérias nitrificantes transformam a amônia produzidas pelos peixes (DUARTE et al., 2013) em nutrientes assimiláveis pelas plantas (ZOU et al., 2016), melhorando dessa forma a qualidade química da água que retorna para os peixes.

A aquaponia permite à produção em locais que não seriam propícios a agricultura, como os centros urbanos, proporcionando uma diversidade na produção, fornecendo proteína animal e vegetal de qualidade (CARNEIRO et al., 2015; SOMERVILLE et al., 2014). É adequado para o cultivo em aquapona, espécies de peixes que tolerem sistemas intensivos de manejo e em termos agronômicos e econômicos, a utilização de vegetais de pequeno porte adaptadas ao cultivo sem solo. Entre as espécies vegetais com potencial de utilização destaca-se a alface (*Lactuca sativa* L.).

A alface figura entre as mais importantes hortaliças produzidas no mundo, liderando a produção no Brasil. Permite o cultivo durante o ano todo, com variedade que apresentam boa produção de massa foliar e crescimento rápido, dependendo da região de cultivo pode atingir ponto de colheita com até 30 dias após o transplante. Constitui-se numa cultura de grande importância social na agricultura familiar e na alimentação humana, com produção concentrada perto dos centros consumidores, devido à elevada perecibilidade. O consumidor brasileiro apresenta preferência pela alface de folhas flabeladas com bordas onduladas do tipo crespa "Grand Rapids", que é consumida, principalmente, in natura na forma de saladas (SALA; COSTA, 2012).

As rações comerciais são formuladas e balanceadas para suprir a demanda nutricional dos peixes, não tendo como intuito atender a demanda nutricional das plantas cultivadas em sistemas peixe-planta. Os nutrientes como P, Ca, K e Fe geralmente não estão disponíveis em quantidades ideais para o bom desenvolvimento dos vegetais, sendo necessária a suplementação com adubos minerais (CARNEIRO et al., 2015; SOMERVILLE et al., 2014).

A suplementação poderá diferenciar de acordo com alguns fatores, como fase de cultivo dos peixes, composição da ração, temperatura, parâmetros de qualidade de água, taxa de fluxo da água no sistema (CARNEIRO et al., 2015). O fornecimento adequado de nutrientes permite um crescimento e desenvolvimento adequado da cultura (ZOU et al., 2016), mas esse procedimento precisa ser realizado com critério, para não gerar custos extras ou até mesmo o colapso do sistema produtivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Campus JK no Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina-MG (18°12'13" Lat. (S) e 43°34'18,9" Long. (W. Grw.) e altitude 1.250 m), de fevereiro a outubro de 2018 e de abril a setembro de 2019.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições avaliando quatro plantas de alface por bloco. A blocagem teve a finalidade de controlar a diferença de intensidade de luz na casa de vegetação. Os tratamentos foram cultivos de alface em sistema de aquaponia e de hidroponia (controle). Foi realizado em três fases seis cultivos (C1, C2, C3, C4, C5 e C6) de 30 dias de cultivo das plantas de alface.

A primeira fase, cultivo C1, serviu para identificar através de sintomas visuais as deficiências nutricionais (Fe e B), que foram corrigidas com aplicação dos reagentes utilizados na hidroponia na água de cultivo dos peixes, mantendo as proporções ajustadas para o volume de água da aquaponia. O Ca foi suplementado preventivamente antes do surgimento de sintomas de deficiência utilizando a concentração e o reagente utilizado na hidroponia, mantendo a proporção ajustada para o volume de água da aquaponia. A segunda fase, os cultivos C2, C3 e C4 serviram para calibração da solução suplementada com Fe, B e Ca. A terceira fase, os cultivos C5 e C6 serviram para validar a calibração da solução, utilizando os resultados de teor de nutrientes da água dos cultivos anteriores, foi realizada a suplementação da aquaponia. Não foi necessário a suplementação com macronutrientes, apenas com micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn e Zn, utilizando os reagentes da solução nutritiva da hidroponia na mesma concentração, ajustado para o volume de água da aquaponia. A dinâmica dos cultivos da aquaponia encontra-se na Figura 1.

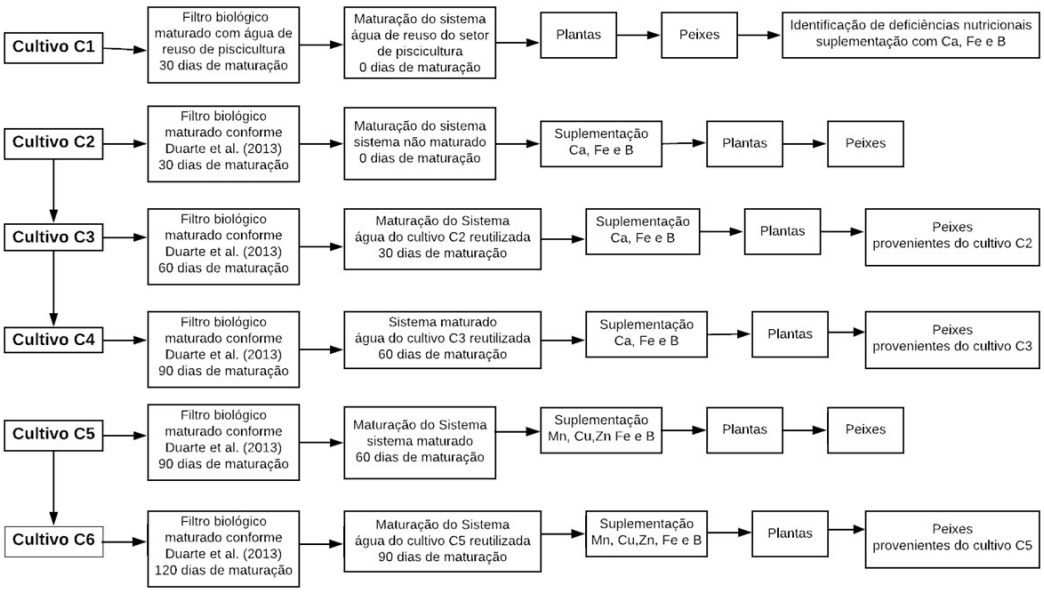


Figura 1- Fluxograma dos seis cultivos de 30 dias de alface em sistema de aquaponia contendo alevinos de Tilápia.

Antes do início dos experimentos (C1, C2 e C5) à mídia do biofiltro do sistema de aquaponia foram colonizadas com bactérias (mídia maturada). O filtro biológico do cultivo C1 foi maturado por 30 dias utilizando água de reuso da piscicultura da UFVJM, por possuir naturalmente as bactérias, mas devido ao risco de contaminação dos peixes por patógenos essa metodologia de maturação não foi utilizada para os demais cultivos. O filtro biológico do cultivo C2 e C5 foram maturados conforme metodologia descrita por Duarte et al. (2013), que proporciona condições adequadas no filtro biológico para o surgimento das bactérias, evitando riscos de contaminação dos peixes por patógenos.

A água da aquaponia passou por um processo de maturação, que consiste nos peixes habitar o sistema por um período de 30 dias, para que ocorra o aumento do aporte de nutrientes na água antes da entrada das plantas no sistema. Para maturação do sistema de cultivo C1 foi utilizada água de reuso de piscicultura, que devido ao maior aporte de nutrientes não foi necessário esperar o período de 30 dias para entrada das plantas no sistema. No cultivo C2 apenas o filtro biológico foi maturado, não houve maturação da água da aquaponia, as plantas entraram no sistema juntamente com os peixes, sem um aporte de nutrientes, com o intuito de avaliar o efeito da maturação do sistema no crescimento das plantas. Para o cultivo C3, a água já estava maturada por ter sido utilizada no cultivo C2. No cultivo C4 foi utilizada a água maturada no cultivo C3. Para o cultivo C5 o filtro biológico foi maturado conforme metodologia descrita por Duarte et al. (2013), e a água da aquaponia foi maturada com os peixes habitando

o sistema por um período de 60 dias para simular o aporte de nutrientes do cultivo C4. No cultivo C6 utilizou-se água maturada proveniente do cultivo C5 (Figura 1).

A solução nutritiva no sistema de hidroponia foi constituída de macronutrientes (g m^{-3}): 168 N (KNO_3, $NH_4H_2PO_4$, $Ca(NO_3)_2$); 31 P ($NH_4H_2PO_4$); 234 K (KCl); 180 Ca ($Ca(NO_3)_2$); 48 Mg ($MgSO_4$) e 112 S (K_2SO_4) e de micronutrientes (mg m^{-3}): 497 B (H_3BO_3); 19 Cu ($CuSO_4$); 2,513 Fe ($FeCl_3$-EDTA); 950 Mn ($MnSO_4$); 48 Mo ($Na_2MoO_4.2H_20$) e 98 Zn ($ZnSO_4$) (MARTINEZ, 1999), proveniente de reagentes puros, com condutividade elétrica de 2,3 dS m^{-1}.

A alface crespa da cultivar Monica SF31Feltrin® foi utilizado nos seis cultivos. As sementes foram semeadas manualmente em bandejas de polietileno de 128 células, com substrato comercial da Bioplant® a base de casca de pinos e serragem. Após a germinação foram colocadas em berçário onde foram aplicadas nas primeiras semanas 25%, na terceira semana 50% e quarta semana 75% da solução nutritiva completa. Após atingirem de 4 a 5 folhas (0,05 m de altura), as plantas tiveram suas raízes lavadas para retirada do substrato aderido e foram transferidas para a aquaponia e a hidroponia onde permaneceram até a colheita.

O sistema de aquaponia e hidroponia utilizado foi do tipo *Floating,* onde uma mesa de cultivo com placa de isopor de 0,02 m de espessura, com orifícios de 0,05 m de diâmetro com espaçamento entre plantas de 0,25 x 0,25 m, flutua em um reservatório (0,30 x 0,50 x 0,30 m) que contém uma lâmina de 0,20 m de solução, que possibilita as raízes ficarem submersas com oxigenação constante proveniente de um compressor radial com vazão máxima de 2,02 m^3 min^{-1} de fluxo de ar. Em ambos os sistemas com auxílio de um timer analógico a solução recircular a cada 30 minutos, impulsionada por bomba submersas Salobetter® de vazão de 2 m^3 h^{-1}. O sistema de aquaponia utilizou 100% dessa vazão e o sistema de hidroponia utilizou 50% da vazão.

A hidroponia foi composta por um reservatório para solução nutritiva de 0,2 m^3. A aquaponia de um tanque circular para cultivo dos peixes (1 m^3), um filtro de resíduos sólidos contendo manta acrílica Perlon (0,2 m^3), um filtro biológico (0,2 m^3) preenchido com biomídia (17 furos, 20 x 15 mm, área de 314 m^2 m^{-3}) previamente higienizada e maturada (Apêndice). Utilizou-se de alevinos de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) (Tabela 1), alimentados com 66 g (em todos os cultivos) de ração comercial da Guabi® de 32 e 42 g kg^{-1} de proteína bruta (PB), três vezes ao dia (7h00min, 13h00min e 17h00min), volume este necessário para o cultivo de 1,32 m^2 de hortaliças folhosas (SOMERVILLE et al., 2014).

Tabela 1- Porcentagem de proteína bruta da ração (PB), porcentagem de consumo de ração em relação ao peso vivo (CR), total de peixes em cada cultivo (TP), total de peixes avaliados (PA),

biomassa (B), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), altura (AL) e peso (P) de alevinos de Tilápia, em seis cultivos de 30 dias consorciados com plantas de alface em sistema de aquaponia

		Cultivos					
Parâmetros	Dias	C1	C2	C3	C4	C5	C6
PB		42%	42%	42%	42%	32%	32%
CR		3%	3%	3%	3%	2,4%	1,5%
TP		70	210	82	30	16	14
PA		10	21	10	10	10	10
B (g)	0	2257,50	2457,00	2027,86	2278,50	2484,92	37128,64
	30	2918.3	5193.3	2943,80	2278,50	3720,64	4169,34
CT (cm)	0	12,68 ± 0,84	8,57 ± 0,56	10,77 ± 1,11	12,45 ± 1,12	20,05 ± 2,68	21,68 ± 3,78
	30	13,43 ± 0,87	10,77± 1,11	12,45 ± 1,12	16,04 ± 1,35	21,68 ± 3,78	24,50 ± 3,58
CP (cm)	0	10,59 ± 0,47	7,26 ± 0,21	9,08 ±1,02	10,63 ± 0,81	16,63 ± 1,61	18,66 ± 2,83
	30	11,41 ± 0,53	9,08 ± 1,02	10,63 ± 0,81	13,51 ± 0,83	18,66 ± 2,83	20,65 ± 2,70
AL (cm)	0	4,25 ± 1,20	2,10 ± 0,10	3,85 ± 1,30	4,51 ± 1,06	6,80 ± 0,61	7,84 ± 0,47
	30	4,81 ± 1,09	3,85 ± 1,30	4,51 ± 1,06	5,60 ± 0,93	7,84 ± 0,47	8,26 ± 0,30
P (g)	0	32,25 ± 3,84	11,7 ± 1,08	24,73 ± 4,84	35,90 ± 8,64	155,31 ± 39,16	232,54 ± 57,73
	30	41,69 ± 9,71	24,73 ± 4,84	35,90 ± 8,64	75,95 ± 15,76	232,54 ± 57,73	297,81 ± 65,90

± Intervalo de confiança

A ração de 32 g kg^{-1} PB possuía teor de macronutrientes (g kg^{-1}): 6 N; 24 P; 54 K; 47 Ca; 25 Mg; 33 S e micronutrientes (mg kg^{-1}): 77 B; 11,8 Cu; 306,4 Fe; 31,7 Mn e 141,0 Zn. E a de 42 g kg^{-1} de PB possuía teor de macronutrientes (g kg^{-1}): 8 N; 20,5 P; 52 K; 41 Ca; 26 Mg; 54 S e micronutrientes (mg kg^{-1}): 3,0 B; 24,6 Cu; 507,8 Fe; 125,1 Mn e 277,2 Zn. A amostra utilizada para análise bromatológica foi digerida por via úmida em forno de micro-ondas, tendo seu teor quantificado por espectrofotômetro de plasma induzido por argônio método adaptado de Silva (2009).

O controle de algas da água da aquaponia foi feito com auxílio de um esterilizador de ultravioleta de 36 W da Atman®. A temperatura da solução nutritiva da hidroponia foi mantida a mesma da aquaponia (Tabela 2) utilizando-se termostatos de 300 W da Atman® em ambos os sistemas. Diariamente a água perdida por evaporação foi reposta. O pH foi monitorado a cada três dias e ajustado conforme necessário com a utilização de NaOH e HCl a 1 mol L^{-1}. Na hidroponia, o pH foi mantido a 6,2. O monitoramento para reposição de solução nutritiva da hidroponia foi realizado baseando-se na condutividade elétrica (CE), sendo reposta sempre que atingia 30% da CE inicial.

Tabela 2- Valores médios de temperatura, pH, condutividade elétrica e teor de nutrientes aos 0 e 30 dias na água do sistema de aquaponia, em seis cultivos de 30 dias contendo plantas de alface consorciadas com Tilápia.

Cultivos	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
Dias	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30
Temp. (C°)	23±2,84	23±2,84	24±1,87	24±1,87	26±1,30	26±1,30	26±1,95	26±1,95	24±2,50	24±2,50	25±4	25±4
pH	7,00	7,30	7,70	7,70	7,70	7,70	7,60	7,30	7,00	7,38	7,23	7,34
	..... dS m^{-1} a 25°C											
Condutividade	0,50	0,68	0,78	0,70	0,75	0,70	0,73	0,70	0,50	0,47	0,52	0,39
	..... Macronutrientes (mg $^{-1}$L)											
Amônio	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,19	2,19	1,46	2,92	2,92	2,92	2,19
Nitrato	13,84	10,2	3,65	3,65	3,65	6,57	6,57	13,15	13,84	10,23	10,2	5,84
P	40,00	38,50	23.00	18,00	18,00	30,20	30,20	40,20	49,09	20,19	20,19	14,81
K	12,30	15,30	13,06	13,06	13,06	13,06	13,06	15,30	14,14	12,59	12,59	13,54
Ca	21,25	169,97	157,22	135,98	135,98	123,23	123,23	108,36	51,44	46,62	46,62	35,44
Mg	4,88	5,63	4,88	6,00	6,00	7,13	7,13	7,13	3,13	8,15	8,15	8,32
S	1,32	4,94	28,86	26,70	26,70	16,50	16,50	6,88	3,28	8,58	8,58	8,71
	..... Micronutrientes (ug $^{-1}$L)											
B	0,23	0,24	0,55	0,46	0,46	0,41	0,41	0,31	0,00	0,47	0,47	0,54
Cu	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Fe	0,00	0,39	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,16
Mn	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Zn	0,00	0,25	0,19	0,03	0,03	0,16	0,16	0,06	0,07	0,25	0,25	0,16

± Intervalo de confiança

Os parâmetros físico-químicos da água da aquaponia e hidroponia, nitrato e amônio foram quantificados segundo Silva et al. (2010), pH, CE e alcalinidade mensurados segundo Macêdo (2005) e o teor de nutriente quantificado por espectrofotômetro de plasma induzido por argônio segundo metodologia adaptada de Silva (2009).

O material vegetal coletado ao final de cada ciclo foi higienizado na seguinte ordem: água clorada com detergente diluído, água clorada, solução de 0,1 mol L^{-1} HCl e água destilada para remoção de qualquer resíduo. Quatro plantas de cada tratamento por bloco foram selecionadas aleatoriamente para obter os parâmetros agronômicos: diâmetro da "cabeça", número de folhas e área foliar. Para avaliação da área foliar, as folhas foram digitalizadas com a utilização de um scanner de mesa, e as imagens analisadas pelo software Image-Pro Plus (Version 4.5 Software).

Após coleta, todas as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e a secagem feita em estufa com circulação de ar à temperatura de 65 ºC até atingir massa constante. Pesadas em seguida em balança analítica, para obter a massa seca das folhas, de caules e de raízes. Posteriormente o material vegetal foi triturado e submetido à análise de nutrientes por via úmida em forno de micro-ondas segundo metodologia descrita por Silva (2009). O acúmulo de nutrientes por planta foi obtido pelo produto da massa de matéria seca com o teor dos nutrientes de cada parte avaliada.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos de aquaponia e hidroponia dentro de cada cultivo foram comparadas pelo teste F com $p \leq 0,01$.

4 RESULTADOS

A solução nutritiva completa e balanceada com CE de 2,3 dS m^{-1} e o pH de 6,2 mantido na hidroponia nos seis cultivos, foi uma solução que não sofreu alteração na concentração e composição da sua formulação ao longo dos cultivos. Na aquaponia a solução nutritiva é dinâmica dependendo de fatores como: tempo de maturação do sistema, formulação da ração fornecida, taxa de arraçoamento e densidade de peixes. Esse dinamismo reflete diretamente no teor de nutrientes e faz com que parâmetros como pH e CE não sejam fixos (Tabela 2), influenciando na disponibilidade e no acúmulo de nutrientes pela planta.

Os níveis de amônio (Figura 2A) na água do sistema de aquaponia foram iguais aos da hidroponia ficando abaixo de 3 mg L^{-1}, já os níveis de nitrato 20 mg L^{-1} (Figura 2B) foram inferiores aos da hidroponia. A alcalinidade abaixo de 100 mg L^{-1} do sistema de aquaponia (Figura 2C) favoreceu o equilíbrio ácido-básico da água, ocasionando uma menor oscilação do pH do sistema (Tabela 2).

O ajuste feito nos cultivos C2, C3 e C4, com adição de Fe e B à água da aquaponia foi suficiente para evitar sintomas de deficiência nutricional avaliado pela diagnose visual, mas ainda não adequada para que o diâmetro da "cabeça" das plantas seja igual à hidroponia (Figura 3A). Somente com um sistema maturado utilizando solução balanceada, cultivo C5 e C6, o diâmetro de "cabeça" das plantas da aquaponia igualou-se aos da hidroponia (Figura 3A).

O número de folhas do cultivo C5 e C6 da aquaponia foram iguais aos da hidroponia (Figura 3B). O menor aporte de nutrientes do cultivo C2 e a suplementação de Fe e B no C1, realizadas somente após a diagnose visual, influenciaram no número de folhas e na massa seca da parte aérea (Figura 3B e E). A igualdade no número de folhas (Figura 3B) e na produção de massa seca das mesmas (Figura 3C), nos cultivos C5 e C6, na aquaponia e hidroponia permitiram que ambos os sistemas de cultivo apresentassem área foliar semelhante (Figura 3H). O menor aporte de nutrientes devido à ausência da maturação da água (Tabela 2) fez a massa seca das folhas e a massa seca total do cultivo C2 ser menor quando comparada aos demais cultivos da aquaponia, que possuíam tempo adequado de maturação do sistema (Figura 3C e G).

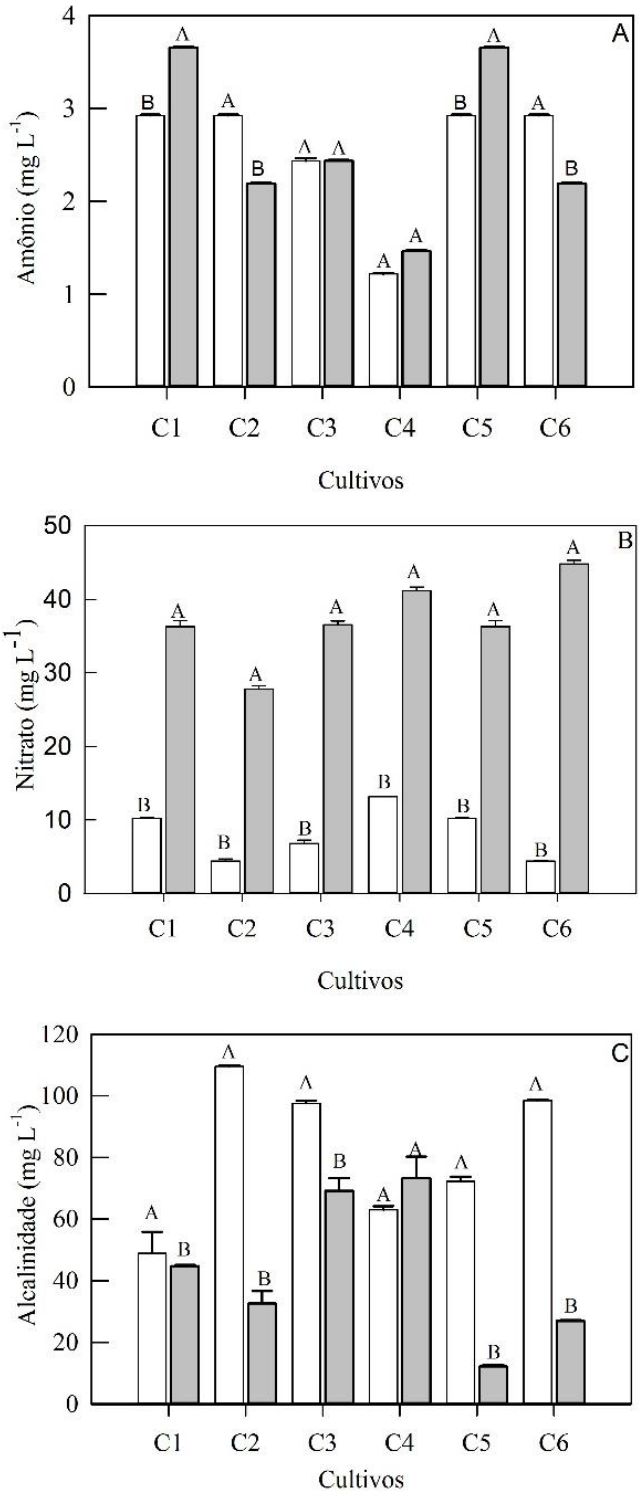


Figura 2- Teor de amônio, nitrato e alcalinidade em seis cultivos de 30 dias de plantas de alface em sistema de aquaponia contendo alevinos de Tilápia e hidroponia. Barras de cores diferentes com erro padrão, seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de F ($p \leq 0{,}01$).

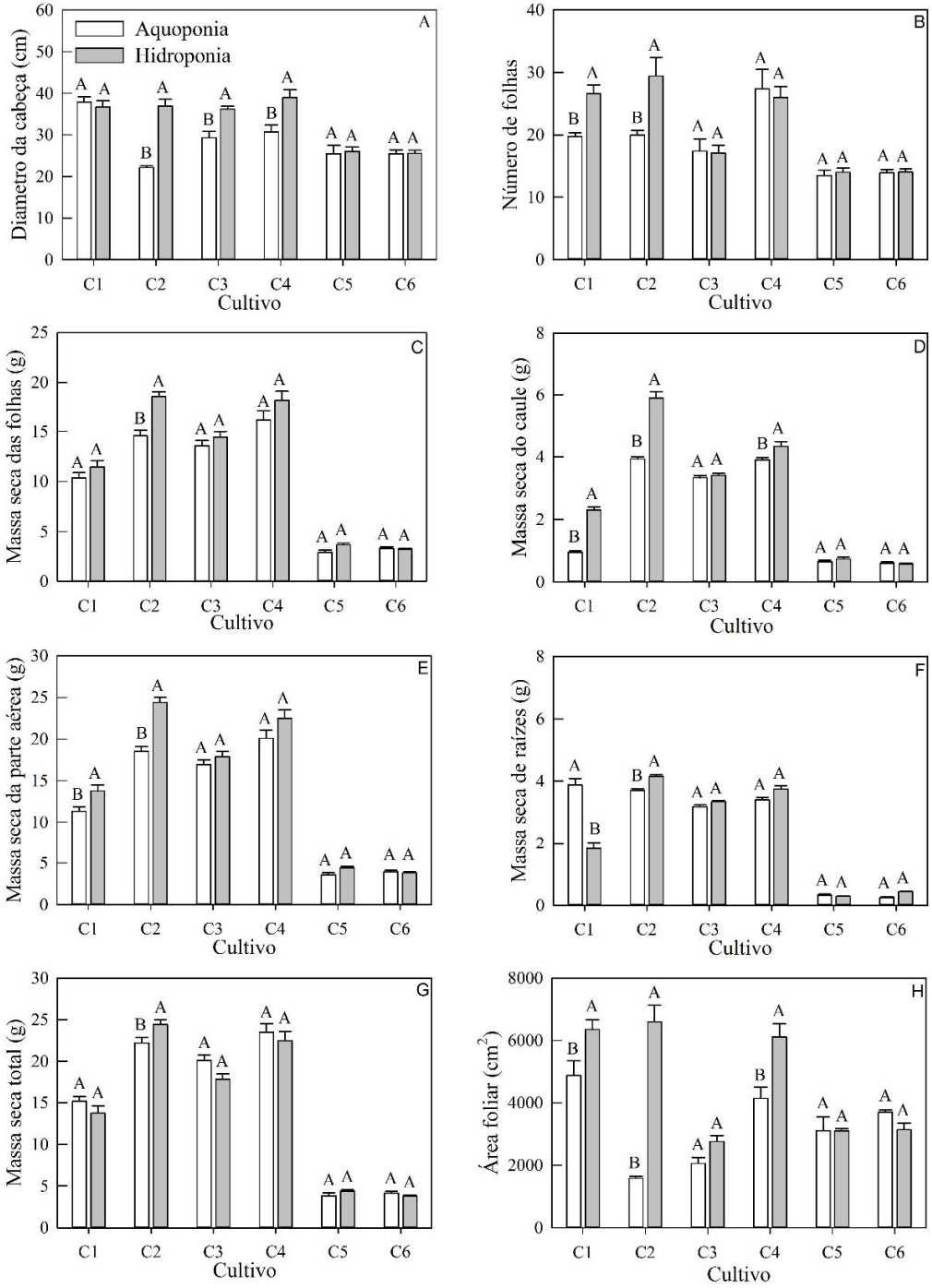


Figura 3- Diâmetro de "cabeça", número de folhas, massa seca de folhas, de caules, da parte aérea, de raízes, total e área foliar de plantas de alface em seis cultivos de 30 dias, em sistema de aquaponia e hidroponia. Barras de cores diferentes com erro padrão, seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de F ($p \leq 0{,}01$).

As plantas do cultivo C3, C5 e C6 da aquaponia apresentaram massa seca de caule igual às plantas da hidroponia (Figura 3D), refletindo em um maior comprimento das plantas, quando comparadas as do cultivo C1, C2 e C4.

Com exceção do cultivo C1 e C2 os demais cultivos da aquaponia a massa seca da parte aérea foi semelhante às plantas cultivadas na hidroponia (Figura 3E). A massa seca da parte aérea (Figura 3E), não sofreu influência negativa do pH mais alcalino do sistema de aquaponia.

Um maior aporte de nutrientes favoreceu o aumento da massa seca das raízes, possibilitando até mesmo as plantas da aquaponia do cultivo C1 superar as plantas da hidroponia (Figura 3F). No cultivo C2, a massa seca das raízes foi inferior a da hidroponia e já nos demais cultivos (C3, C4, C5 e C6) igualou-se.

No cultivo C1 devido ausência de suplementação mineral, o teor nutricional (Tabela 2) ficou abaixo do demandado pela planta causando aparecimento de sintomas visuais de deficiência nutricional de Fe e B.

Na aquaponia nos cultivos C5 e C6 o teor de nutrientes na folha ficou adequado a faixa crítica da cultura, para todos os macronutrientes (Figura 4A, B, C, D, E e F) e para os micronutrientes Fe, Mn e Zn (Figura 4I, J e L). Para o B e o Cu o teor ficou abaixo faixa crítica (Figura 4G e H).

O N foi o nutriente com maior acumulo na massa seca total, cultivo C5 e C6, na aquaponia (Figura 5A). As plantas de alfaces cultivadas no sistema de aquaponia, cultivos C5 e C6, apresentaram um acúmulo total de macronutrientes semelhante quando comparadas a hidroponia (Figura 5A, B, C e F), com exceção do Ca (Figura 5D) que superou a hidroponia e do Mg que foi inferior (Figura 5 E).

O Fe foi o micronutriente mais demandado pela aquaponia (Figura 5I), chegando a aparecer sintomas visuais de deficiência no cultivo C1, quando não suplementado. As plantas de alfaces cultivadas no sistema de aquaponia, cultivos C5 e C6, apresentaram um acúmulo total de micronutriente semelhante de B, Fe e Mn (Figura 5G, I e J), e inferior de Cu e Zn (Figura 5H e L), quando comparadas a hidroponia.

Nos cultivos C5 e C6 a ordem decrescente da soma do acúmulo dos macronutrientes da alface na aquaponia e hidroponia foi: N > K > Ca > P > Mg > S. Nos micronutrientes da alface na aquaponia foi: Fe > Zn > Mn > B > Cu e na hidroponia foi: Mn > Fe > Zn > B > Cu.

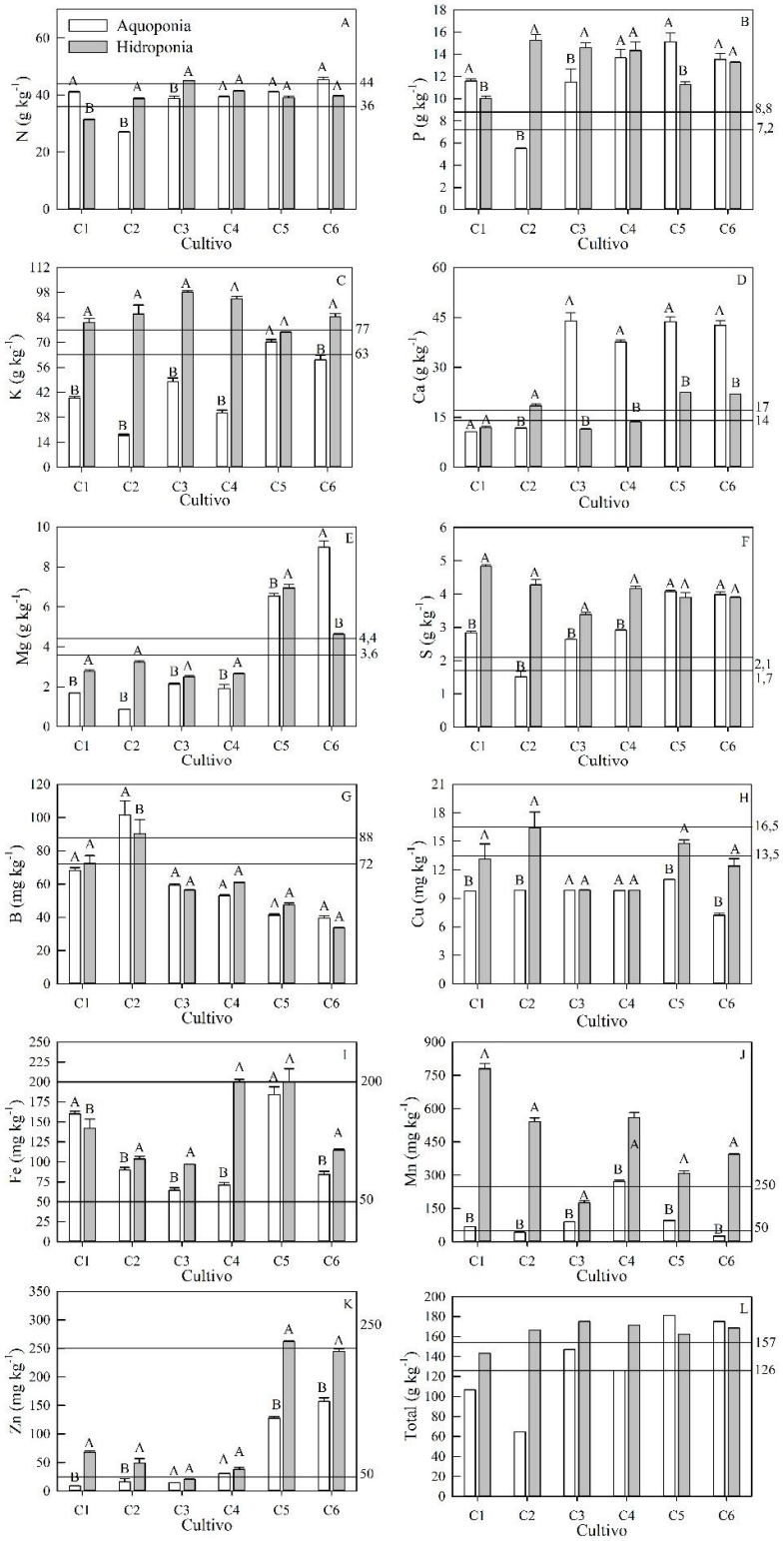


Figura 4- Teor de nutrientes nas folhas de plantas de alface em seis cultivos de 30 dias em sistema de aquaponia e hidroponia. Faixa crítica do nutriente da cultura representada pelas linhas perpendiculares. Barras de cores diferentes com erro padrão, seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de F ($p \leq 0{,}01$).

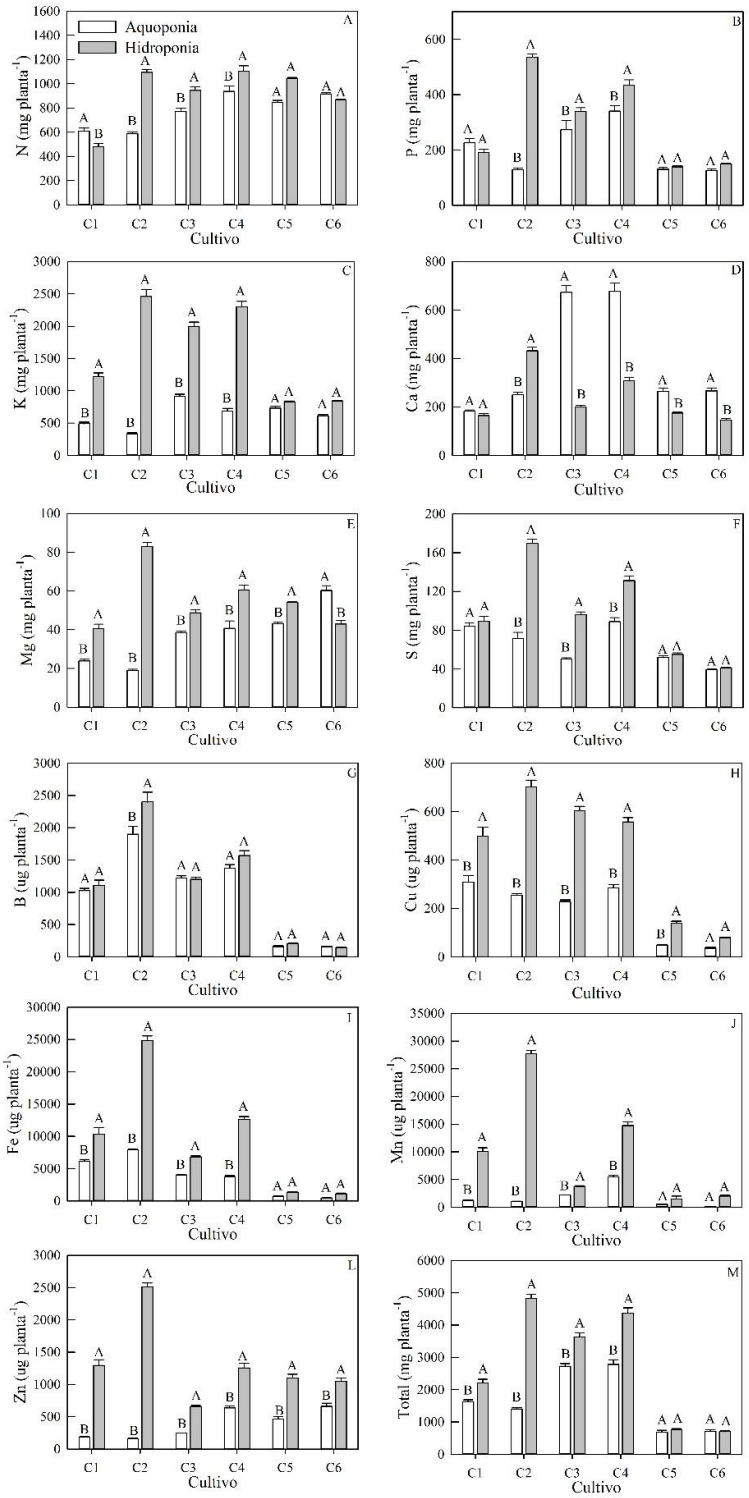


Figura 5- Acúmulo de nutrientes na massa seca total de plantas de alface em seis cultivos de 30 dias em sistema de aquaponia e hidroponia. Barras de cores diferentes com erro padrão, seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de F ($p \leq 0{,}01$).

5 DISCUSSÃO

Devido ao fato de três organismos muito distintos (peixes, plantas e bactérias), com necessidades diferentes de pH para sua sobrevivência, ocuparem o mesmo corpo d´água na aquaponia, o pH deve ser mantido numa faixa entre 6,5 e 7,0, para atender satisfatoriamente a todos os componentes biológicos presentes no sistema (SOMERVILLE et al., 2014, CARNEIRO et al., 2015). Nos seis cultivos da aquaponia o pH ficou entre 7,0 a 7,7 com média de pH 7,4 (Tabela 2). Variações de pH entre 7,2 a 7,8 tendo como média pH 7,5 é relatado na literatura (LENZI et al., 2017). Mas dentro do cultivo a oscilação do pH foi pequena, estando em colaboro com cultivos de peixes-plantas de até 20 dias (ZOU et al., 2016). Essa pequena oscilação está relacionada com o poder tampão da alcalinidade. Algumas impurezas presentes na água e os sais adicionados ao sistema, são capazes de reagir com ácidos podendo neutralizar certa quantidade desses reagentes, conferindo a água característica de alcalinidade, o que permite o equilíbrio acido-básico (poder tampão) do sistema de cultivo ficar abaixo de 100 mg L^{-1} (SOMERVILLE et al., 2014).

O pH é um ponto crítico na aquaponia, por influenciar a disponibilidade dos nutrientes na solução de cultivo (SOMERVILLE et al., 2014). A maioria das plantas suportam variações de pH entre 5,5 e 6,5 (BUGBEE, 2003), assim para o pH acima de 7,0 considerado ideal para o desenvolvimento de peixes e bactérias, passa a interferir diretamente na solubilidade e disponibilidade de nutrientes na água de cultivo. Nutrientes como Fe, Mn, B, Zn e Cu decrescem drasticamente em disponibilidade, em níveis de pH superiores a 7,0 (SOUZA, 2010). Entretanto o pH do cultivo C5 e C6 ficou próximo de 7,2, pH este que possibilita uma melhor disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas em sistema de aquaponia (CEROZI; FITZSIMMONS, 2016).

No sistema de aquaponia em todos os cultivos, o nível de amônio ficou abaixo de 4 mg L^{-1} e o de nitrato abaixo de 20 mg L^{-1} (Figura 2A e B), o que demonstra a eficiência da conversão da amônia excretada em nitrato, pela filtragem biológica utilizada no experimento (CARNEIRO et al., 2015). Já na hidroponia os maiores níveis de nitrato são oriundos da utilização de reagentes a base de nitrato de cálcio e nitrato de potássios utilizados na formulação da solução nutritiva, que acaba tendo níveis de N maiores que as águas “residuais” do cultivo dos peixes. Esses reagentes associados com pH 6,2 do sistema, ideal para a planta (SOMERVILLE et al., 2014), potencializou a absorção de N pela alface hidroponica.

A maturação do sistema de aquaponia por no mínimo 30 dias, cultivo C3, é necessário para um aumento no aporte de nutrientes. A entrada das plantas juntamente com os

peixes no cultivo C2, demonstra que não houve tempo suficiente para a maturação do sistema, o que influenciou na baixa disponibilidade de nutrientes na água de cultivo (Tabela 2), ficando com teor inferior ao da solução hidroponica, comprometendo o crescimento da alface representado pela massa seca da parte aérea (Figura 3E). O maior aporte de nutrientes na água tem efeitos significativos no sistema de aquaponia aumentando a biomassa vegetal produzida (ZOU et al., 2016). Conforme o sistema aquaponia foi sendo maturado, do cultivo C3 ao C6 (Tabela 2), aumentou o aporte de nutrientes favorecendo o aumento na massa seca das raízes (Figura 3F). Esse desenvolvimento de raízes é desejável, pois possibilita uma maior área de absorção dos nutrientes (ALMEIDA et al., 2011) proporcionando um maior acúmulo de nutrientes nas plantas de alface (Figura 5).

No cultivo C1 da aquaponia apesar do maior aporte de nutrientes provenientes da água de reuso da piscicultura utilizada na maturação do sistema e do filtro biológico (Tabela 2), o teor dos nutrientes: K, Ca, Mg, Cu, B e Zn nas folhas da planta de alface (Figura 4C, D, E, G, H E L) ficou abaixo da faixa crítica da cultura, o que impediu que a plantas conseguisse expressar sua máxima produção. Clorose generalizada com nervuras verdes em folhas novas, foi um dos primeiros sintomas de deficiência nutricional a aparecer no cultivo C1 da aquaponia pela falta de Fe, facilmente identificado devido fato do Fe ser um elemento relativamente imóvel no floema com baixa taxa de translocação (TAIZ et al., 2017). A deficiência de Fe diminuiu o número de folhas e a massa seca da parte aérea do cultivo C1 (Figura 3B e E), e causa modificações nos processos fisiológicos da planta, como reação redox desequilibrada, respiração anormal e alteração na fotossíntese (LI; WANG; YANG, 2015).

Apesar do período de maturação ter sido adequada nos cultivos C3 e C4 o desbalanceamento da solução nutritiva comprometeu o diâmetro da “cabeça” e o número de folhas da alface (Figura 3 A e 3B). Somente com a disponibilidade adequada de nutrientes, cultivo C5 e C6, a alface da aquaponia conseguiu expressar todo o seu potencial produtivo. Para isso foi necessário tempo adequado de maturação do sistema e a incorporação de micronutrientes na água de cultivo da Tilápia, tornando-a balanceada. Assim a alface equiparou-se a hidroponia em relação ao diâmetro de “cabeça”, número de folhas, massa seca de folhas, de caules, da parte aérea, de raízes e total da planta (Figura 3A, B, C, D, E, F e G).

A igualdade em relação à área foliar das plantas de alface da aquaponia com a hidroponia, no cultivo C5 e C6 (Figura 3H), demonstra que as plantas de ambos os sistemas tiveram a mesma condição fotossintética para a produção de carboidratos. O processo fotossintético que ocorre diretamente nas folhas para formação de carboidratos, depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química (TAIZ et al., 2017).

O acúmulo de nutriente está relacionado com a eficiência de absorção pelas células radiculares, no transporte e na utilização desses pela planta (TAIZ et al., 2017). As concentrações dos compostos nitrogenados (NH_3, NO_2^- e NO_3^-) são determinados pela ação das bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016) que estão presentes no biofiltro; e neste experimento potencializaram as taxas de nitrificação devido ao pH mais alcalino da água (Tabela 2) como já demonstrado em literatura (LENZI et al., 2017). As rações comerciais utilizadas no cultivo de peixes apresentam uma grande proporção de proteína que é fonte de compostos nitrogenados na água. O N orgânico presente nos resíduos de ração e a amônia excretada pelos peixes, são convertidos pelas bactérias em amônio (NH_4^+), posteriormente a nitrito (NO_2^-) e finalmente a nitrato (NO_3^-) (DUARTE et al., 2013), principal forma de assimilação, com absorção direta pelas raízes onde é metabolizado ou transportado para a parte aérea da planta (ZOU et al., 2016).

O N presente no sistema de aquaponia no cultivo C5 e C6, foi o macronutriente com maior acúmulo pelas plantas (Figura 5A). A forma de disponibilização e o volume fornecido de N na aquaponia facilitou o acúmulo pelas plantas de alface. Entretanto o aumento na disponibilização causou inibição não competitiva com o Mg e o B (RAMOS et al., 2011), diminuindo consideravelmente a absorção destes nutrientes, chegando a surgir sintomas de deficiência nutricional de B, na ausência da suplementação com adubo mineral (cultivo C1). Mas a adição de adubo mineral na água de cultivo e a maturação do sistema foram suficientes para minimizar o efeito da inibição do B.

Em pH entre 3,0 a 5,5 ocorre a maior disponibilidade de P solúvel reativo (ortofosfato) na solução de cultivo (CEROZI; FITZSIMMONS, 2016). Entre tanto o teor de 24 e 20,5 g kg^{-1} de P presente na ração de 32 e 42 g Kg^{-1} de PB fornecida foi suficiente para que no cultivo C5 e C6 mesmo com o pH mais alcalino, manter o teor foliar (Figura 4B) e acúmulo (Figura 5B) adequados para a planta, permitindo a massa seca das raízes e da parte aérea igualar se a hidroponia; demonstrando que não há necessidade de suplementação com P.

A alface possui elevada exigência por P, principalmente na fase final de seu ciclo, o que em casos de ausência, carência ou ação do pH, ocorre a redução no peso da matéria fresca da parte aérea e seca de raízes, marcante redução do diâmetro de plantas, má formação da "cabeça" e elevada redução dos teores de P acumulado nas folhas (LANA et al., 2004).

A água residual proveniente de sistema de criação de peixes não é capaz de atender toda à demanda nutricional da alface (CORTEZ, 2009), no cultivo C1 o teor de K ficou abaixo da faixa crítica (Figura 4C) e com a absorção inferior as da hidroponia (Figura 5C), o que causou uma diminuição no diâmetro da "cabeça" da alface. O K é um dos macronutrientes mais

extraídos pelas plantas de alface, desempenha várias funções fisiológicas na planta, estando diretamente associado à qualidade do produto (ALMEIDA et al., 2011). A sua deficiência ocasiona reduções no crescimento e má formação da "cabeça" (PETRAZZINI et al., 2014). A utilização do cloreto de potássio (KCl) na solução da hidroponia favoreceu o seu acúmulo. O íon Cl^- atua como acompanhante, facilitando a entrada do K na epiderme radicular (ALBUQUERQUE, 2012), potencializando dessa forma a absorção de K pela alface hidropônica.

Em soluções com pH alcalino ocorre aumento na concentração de Ca, os níveis elevados de Ca na água da aquaponia (Tabela 2), contribui para diminuir a absorção de Mg e Mn, devido a inibição competitiva (MOREIRA et al., 2000). Podendo afetar também a absorção de P pela planta por causa da diminuição da solubilidade e disponibilidade de íons fosfato na solução, uma vez que o Ca reage com o fosfato formando complexos como $CaHPO_4$ e CaH_2PO_4 (NOLLA; ANGHINONI, 2006).

O Ca é muito importante na formação dos tecidos, na estabilidade da epiderme e desenvolvimento de raízes (PETRAZZINI et al., 2014). As quantidades presentes na ração dos peixes, permitiu que as plantas da aquaponia acumulassem uma quantidade superior à da hidroponia (Figura 5D), contribuindo para evitar a redução na produção de massa seca de folha, caule, parte aérea, raízes e total (Figura 3C, D, E, F e G).

A absorção de S no cultivo C6 da aquaponia igualou-se ao da hidroponia (Figura 5F) com o teor de 2,1 g kg^{-1}, ficando acima da faixa crítica. No cultivo C2 o teor ficou abaixo 1,7 kg^{-1} o que pode ter contribuído para a redução no número de folhas. É importante manter níveis adequados de S no sistema de aquaponia, uma vez que esse nutriente está diretamente ligado ao número de folhas e altura da planta (ALMEIDA et al., 2011) parâmetros comercias importantes.

O Fe foi o micronutriente mais acumulado pela alface na aquaponia (Figura 5I). No cultivo C5 e C6 o teor foliar do Fe ficou adequado a faixa crítica (Figura 4I) e o acúmulo igualou-se ao da hidroponia (Figura 5I). Isso pode ser explicado pois o processo de quelatização do Fe^{2+}com EDTA, neutraliza as cargas positivas do Fe resultando em um quelato com carga residual negativa, que aumenta a disponibilidade do Fe impedindo a precipitação devido ao efeito do pH (MORUZZI; REALI, 2012). Mas o quelato pode ter sofrido decomposição devido à ação de bactérias presentes no sistema, liberando o Fe^{2+} na solução de cultivo, que quando oxidado a Fe^{+3} precipita com o $H_2PO_4^-$. O comportamento químico do Fe e a sua solubilidade dependem da intensidade da oxidação ou redução que ocorre no sistema, influenciados por fatores físico-químicos, tais como, pH e micro-organismos (TAIZ et al., 2017). Em soluções

com maior alcalinidade e com pH acima de 6,5, condições similares as dos nossos cultivos na aquaponia, os sais de Fe apresentam uma constante de baixa estabilidade (SOMERVILLE et al., 2014), precipitando facilmente na solução aquosa (LENZI et al., 2017). Os carbonatos presentes na solução interagem com o Fe^{+2} formando $Fe(OH)_2$ ou $FeCO_3$, e o Fe^{+3} pode formar $Fe(OH)_3$ ficando assim indisponíveis para a planta (MORUZZI; REALI, 2012).

Apesar do acumulo de Cu e Zn ter sido inferior a hidroponia (Figura 5H e L) e do teor de Cu e Mn ter ficado abaixo da faixa crítica nos cultivos C5 e C6 da aquaponia (Figura 4H, J), isso não influenciou no crescimento da planta e não houve sintomas visuais de deficiência, uma vez que a grande demanda por esses nutrientes não ocorre no estágio de desenvolvimento vegetativo, e sim na fase reprodutiva da alface, chegando a um acúmulo de mais de 50 % desses nutrientes no florescimento (KANO; CARDOSO; VILAS BOAS, 2011).

Mesmo com o pH mais alcalino, a CE inferior ao da solução hidropônica e o fato da ração comercial fornecida para os peixes não suprir toda a demanda nutricional das plantas de alface, é possível através de técnicas de manejo adequado, atingir produções iguais as hidropônicas em sistema de aquaponia, com o ajuste do teor de nutrientes na água. Entretanto para que isso seja possível é necessário antes do início do cultivo, adicionar adubo mineral na água, aumentar o aporte de nutriente com a maturação do sistema, utilizar taxas adequadas de arraçoamento e respeitar a densidade de peixes e de plantas por área de cultivo. Assim enquanto os peixes atingirem tamanho adequado para o mercado, o produtor consegue gerar renda com cultivos sucessivos da alface, amortecendo custos de produção do peixe.

6 CONCLUSÃO

Para a produção de alface em sistema de aquoponia é necessária realizar a maturação da água de cultivo por no mínimo 30 dias, aliado a suplementação de micronutrientes na forma de adubo mineral, com uma densidade adequada das Tilápias (*Oreochromis niloticus*), alimentadas com ração comercial contendo entre 32 e 42 g Kg^{-1} de proteína bruta, respeitando a relação de 60 g de ração para cada m^2 de cultivo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. S; SILVA, F. F. E; NETO, E. B; SOUZA, A. R.; SANTOS, A. N. Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Horticultura Brasileira.** v.30, n.4, p.681-687, 2012.

ALMEIDA, T. B. F.; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Biotemas**. v.24, n.2, p.27-36, 2011.

BUGBEE, B. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. **Acta Horticultura.** v.648, n.1, p.99-112, 2003.

CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; NUNES, M. U. C.; FUJIMOTO, R. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 30 p.

CEROZI, B. S.; FITZSIMMONS, K. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. **Bioresource Technology**. v.219, n.1, p.778–781, 2016.

CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C.; BELLINGIERI, P. A.; DALRI1, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.13, n.4, p.494–498, 2009.

DUARTE, E.; PEDREIRA, M. M.; SANTOS, A. E.; MOREIRA, F. C.; MOTTA, N. C. Post-larval culture of Nile tilapia with different ratios of calcareous hell/gravel substrate in biofilters. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**. v.20, n.1, p.43-48, 2013.

KANO, C; CARDOSO, A. I. I; VILLAS BOAS, R. L. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira.** v.29, n.1, p.70-77, 2011.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**. v.22, n.3, p.525-528, 2004.

LENZI, G. L.; DURIGON, E. G.; LAPA, K. R.; EMERENCIANO, M. G. C. Produção de alface (Lactuca sativa) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. **Boletim Instituto da Pesca.** v.43, n.4, p.614-630, 2017.

LI, H.; WANG, L.; YANG, Z. M. Co-expression analysis reveals a group of genes potentially involved in regulation of plant response to iron-deficiency. **Gene**. v.554, n.1, p.16-24, 2015.

MORUZZI, R. B; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Eecnologia.**v.4, n.1, p.29-43, 2012.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.30, n,1, p.955-963, 2006.

PETRAZZINI, L. L.; SOUZA, G. A; RODAS, C. L.; EMRICH, E. B.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. J. Deficiências de nutrientes em alface americana cultivada em hidroponia. **Horticultura Brasileira**. v.32, n.3, p.310-313, 2014.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. 3. ed. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química, 2005. 602 p.

MARTINEZ, H. E. P. Hidroponia. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais:** 5ª aproximação. 1. ed. Viçosa: CFSEMG, 1999, 131-166 p.

MEDIA CYBERNETICS. Image-Pro Plus - application notes. Silver Spring: Media Cybernetics; 2019. Disponível em: www.mediacy.com/action.htm. Acesso em: 05 out. 2019.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; MORAES, L. A. C.; SALVADOR, J. O. Efeito da relação cálcio e magnésio do corretivo sobre micronutrientes na alfafa. **Pesquisa agropecuaria brasileira**. v.35, n.10, p.2051-2056, 2000.

RAMOS, M. J. M.; MONNERAT, P. H.; PINHO, L. G. R.; SILVA, J. A. Deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro 'Imperial': Composição mineral. **Revista Brasil Fruticultura**. v.33, n.1, p.261-271, 2011.

RIBEIRO, H.; JAIME, P. C.; VENTURA, D. Alimentação e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v.31, n.89, p.185-198, 2017.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**. v.30, n,1, p.187-194, 2012.

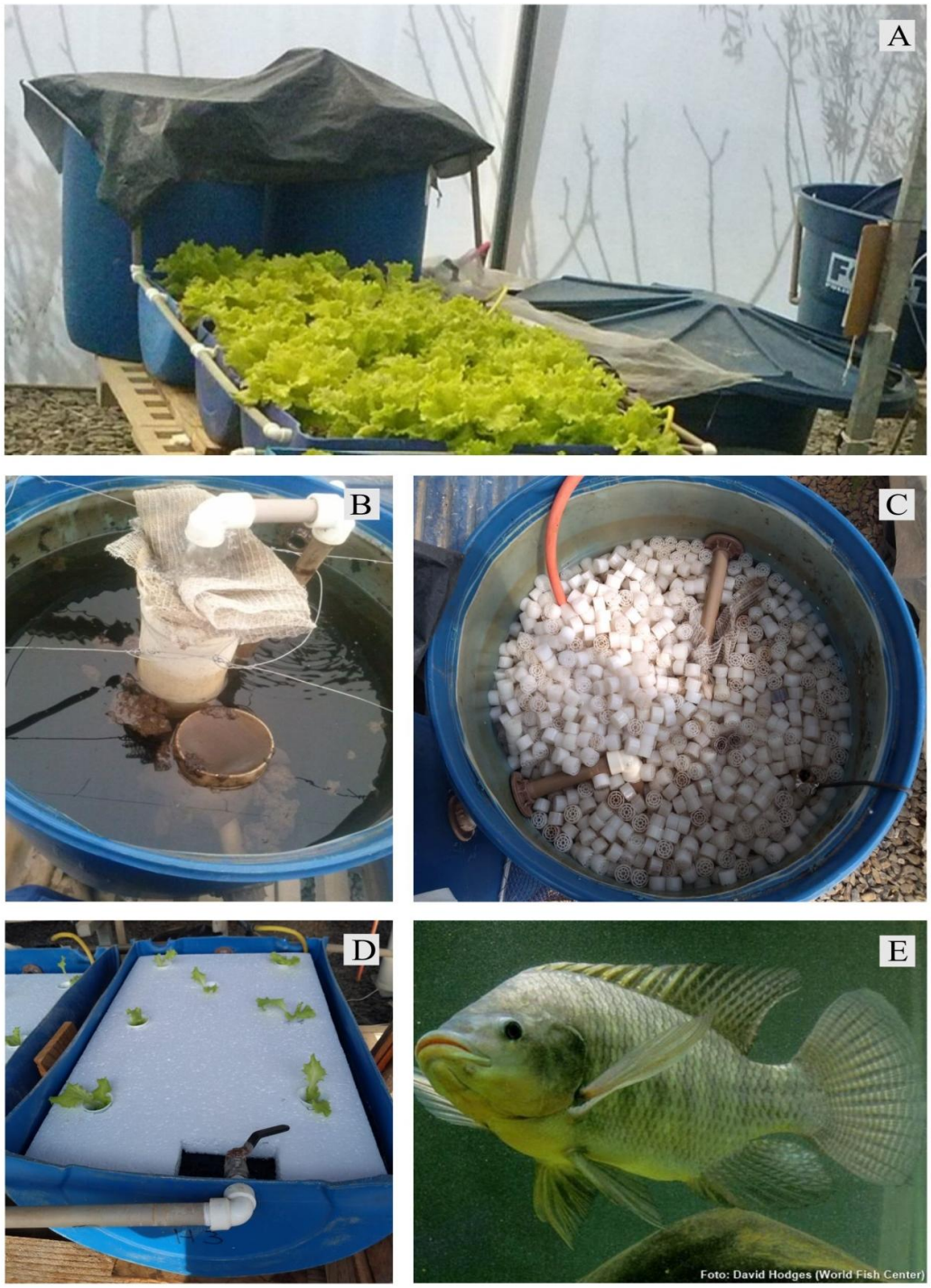
SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming**. 1. ed. Roma: FAO Fisheries and Aquaculture Technical, 2014. 262 p.

SOUZA, L. H.; FERREIRA NOVAIS, R.; ALVAREZ V.; VÍCTOR H.; ALBUQUERQUE V.; ECILA MERCÊS de. Efeito do ph do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.34, n.5, p.641-1652, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

ZOU, Y.; HU, Z.; ZHANG, J.; XIE, H.; GUIMBAUD, C.; FANG, Y. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. **Bioresource Technology**. v.210, n.1, p.81-87, 2016.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, Á. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitaria Ambiental**. v.21, n.1, p.29-42, 2016.

Apêndice- Sistema de aquaponia constituído de um tanque para peixes de $1m^3$, um filtro de resíduo sólidos de $0,2\ m^3$, um filtro biológico de $0,2m^3$ e três mesas de cultivo (A), Filtro de resíduos sólidos (B), Filtro biológico preenchido com biomídia (C), Mesa de cultivo com mudas de alface (D), Tilápia (E).