



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
PRÓ REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

DECLIVIDADE DE SISTEMAS HIDROPÔNICO E AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE ALFACE

Vinícius Vítor Oliveira Mendonça

MORRINHOS - GOIÁS
2020

VINÍCIUS VÍCTOR OLIVEIRA MENDONÇA

**DECLIVIDADE DE SISTEMAS HIDROPÔNICO E
AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE ALFACE**

ORIENTADOR: Prof. Dr. César Antônio da Silva

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM OLERICULTURA, ao Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos - Área de Concentração: Olericultura.

**MORRINHOS – GOIÁS
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

M539d Mendonça, Vinícius Vítor Oliveira

Declividade de sistemas hidropônico e aquapônico no cultivo de alface. /
Vinícius Vítor Oliveira Mendonça. Morrinhos, GO: IF Goiano, 2020.
51 f.: il. color.

Orientador: Dr. César Antônio da Silva

Dissertação (mestrado) - Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos,
Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Olericultura, 2020.

1. Vazão. 2. *Lactuca sativa* L. 3. Macronutrientes. I. Silva, César Antônio da.
II. Instituto Federal Goiano. III. Título.

CDU: 635.52

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
PRÓ REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA

DECLIVIDADE DE SISTEMAS HIDROPÔNICO E AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE ALFACE

Autor: Vinícius Vítor Oliveira Mendonça
Orientador: Prof. Dr. César Antônio da Silva

TITULAÇÃO: Mestre em Olericultura - Área de Concentração em Sistemas de Produção em Olerícolas

Aprovado em 13 de agosto de 2020.

.....
Prof. Dr. César Antônio da Silva
Presidente da Banca

.....
Prof. Dr. Carlos André Gonçalves
Avaliador Externo
Instituto Luterano de Ensino Superior – ILES/ULBRA Itumbiara

.....
Prof. Dr. Cícero José da Silva
Avaliador Interno
Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos

Documento assinado eletronicamente por:

- Carlos André Gonçalves, Carlos André Gonçalves - Professor Avaliador de Banca - Aelbra Educação Superior Graduação e Pós-Graduação S. a (88332580002885), em 13/08/2020 16:36:20.
- Cicero Jose da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/08/2020 16:30:38.
- Cesar Antonio da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/08/2020 16:22:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/08/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 174174
Código de Autenticação: b8e0c402d3



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, não somente nestes anos como aluno, mas em todos os momentos por ser o maior Mestre que alguém pode conhecer.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos, a seu corpo docente, à direção e à administração, que oportunizaram a janela pela qual hoje vislumbro um horizonte superior, com base na confiança e no mérito e ética aqui presentes. Agradeço a todos os professores, por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, pelo tanto que se dedicaram a mim, não somente por me terem ensinado, mas por me terem feito aprender a palavra mestre. Nunca farei justiça aos professores dedicados, os quais, sem nominar, terão meus eternos agradecimentos. Ao meu orientador e amigo, Dr. César Antônio, pelo tempo dedicado a todas as instruções e mentorias realizadas para o desenvolvimento desse projeto.

Agradeço à minha mãe Adailma Mendonça, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Ao meu pai Amauri Gomes Mendonça, que, apesar de todas as dificuldades, me fortaleceu e, para mim, foi muito importante. À minha esposa e discente Claudia Mendonça e filhos Anna Victória Mendonça e Vinícius Filho, meus agradecimentos. Nos momentos mais difíceis, que foram raros neste último ano, sempre me fazendo acreditar que chegaríamos ao final desta difícil, porém gratificante etapa de minha vida. Agradeço a toda minha família por estar comigo nesse momento.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Vinícius Víctor Mendonça, filho de Amauri Mendonça e Adailma Mendonça, nasceu em 11 de novembro de 1992, na cidade de Goiatuba-Goiás. Concluiu o Ensino Médio no Instituto Francisco de Assis, em Itumbiara-GO, em 2009. Tem graduação em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara (2014). Atualmente, é Professor do Curso de Agropecuária, no Centro Tecnológico Paula Pasquale, onde já ministrou as disciplinas Grandes Culturas, Nutrição Animal, Suinocultura, Irrigação e Drenagem, Fruticultura e Horticultura. Também dá consultorias na área agrícola. Iniciou o Curso de Mestrado Profissional em Olericultura em março de 2018.

ÍNDICE GERAL

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Hidroponia e Aquaponia.....	4
2.2 Técnica do fluxo laminar de nutrientes: <i>Nutrient Film Technique</i> (NFT).....	6
2.3 Tilápia do Nilo	7
2.4 Nitrificação bacteriana.....	8
2.5 Alface: resposta em cultivos hidropônicos e/ou aquapônicos	9
2.6 Referências Bibliográficas	12
3 CAPÍTULO I	18
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES	35
4 CONCLUSÃO GERAL.....	39

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperatura horária internamente no viveiro durante o ciclo da alface. Itumbiara, GO	21
Figura 2. Esquema de instalação dos sistemas hidropônico/aquapônico e da casualização das águas e declividades (%) nos blocos. Itumbiara-GO.....	22
Figura 3. Vazão nas canaletas aos 25 dias após transplântio (A) e comprimento de raiz (B) de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades e águas de sistemas hidropônico (●) e aquapônico nas dietas de 15 (◇) e 18% (■) de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020	30
Figura 4. Massas fresca (A) e seca (B) da parte aérea de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades e águas de sistemas hidropônico (●) e aquapônico nas dietas de 15 (◇) e 18% (■) de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020.....	31
Figura 5. Massas fresca (A) e seca (B) de raízes de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades, e águas de sistemas hidropônico e aquapônico nas dietas de 15 e 18% de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020.....	32
Figura 6. Razão entre massas seca de raiz e parte aérea (MSR/MSPA) de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades, e águas de sistemas hidropônico e aquapônico nas dietas de 15 e 18% de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020.....	32
Figura 7. Razão dos macronutrientes N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de águas, e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico (●) e aquapônico nas dietas de 15 (◇) e 18% (■) de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020.....	35

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de alface, determinados aos 35 dias após a transplantio	26
Tabela 2. Concentração de elementos químicos nas águas dos sistemas aquapônico e hidropônico no vigésimo quinto dia	26
Tabela 3. Resumo de análises de variância (F calculado) da vazão aos 25 dias após transplantio (Q_{25} , $L h^{-1}$), matéria fresca (MFPA), seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca (MFR) e seca das raízes (MSR), em $g planta^{-1}$, comprimento do sistema radicular (CR, cm), relação MSR/MSPA e razão dos macronutrientes N-folha/N-água, P-folha/P-água e K-folha/K-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de águas e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico e aquapônico. Itumbiara - GO, 2020	27
Tabela 4. Vazão aos 25 dias após transplantio (Q_{25} , $L h^{-1}$), matéria fresca (MFPA), seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca (MFR) e seca das raízes (MSR), em $g planta^{-1}$, comprimento do sistema radicular (CR, cm), relação MSR/MSPA e relação dos macronutrientes N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de águas e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico e aquapônico. Itumbiara - GO, 2020	27
Tabela 5. N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de águas e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico e aquapônico. Itumbiara - GO, 2020	33

RESUMO

MENDONÇA, VINÍCIUS VÍCTOR OLIVEIRA. Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos, agosto de 2020. **Declividade de sistemas hidropônico e aquapônico no cultivo de alface.** Orientador: Prof. Dr. César Antônio da Silva

A aquaponia consiste no cultivo de plantas em águas de reúso provenientes da criação de organismos aquáticos, principalmente peixes, situação em que as plantas absorvem nutrientes essenciais, retornando água de melhor qualidade aos peixes. A concentração de nutrientes na água depende da ração fornecida e da dieta alimentar dos peixes, enquanto o desenvolvimento das plantas é função da inclinação da bancada, vazão e tempo de escoamento. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a produção de alface (*Lactuca sativa* L.) americana, cv. Lucy Brown, em sistemas hidropônico e aquapônico com produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), no sul Goiano. O experimento foi conduzido em viveiro com tela de sombreamento, em Itumbiara, de novembro de 2019 a abril de 2020. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas subdivididas 3 x 5, sendo três tipos de águas (hidroponia convencional e duas águas residuárias de tilápia, sendo dieta com 18 e 15% de proteína bruta) nas parcelas e cinco declividades (2, 4, 6, 8 e 10%) de tubos PVC nas subparcelas. A quantidade de ração foi definida em função do peso dos peixes. As águas dos tanques de peixes passaram por decantação de sólidos e filtro biológico, e bombeadas para as canaletas do sistema NFT – *Nutrient Film Technique*. Foram avaliados a vazão ($L h^{-1}$) nos tubos, aos 25 após transplante da alface, parâmetros físico-químicos da água, de produção das plantas e análise química foliar. A declividade de 8% propiciou maior massa fresca da parte aérea de alface, em média, $466,8 g planta^{-1}$. Entre as águas, a água proveniente da dieta de 18% de proteína bruta proporcionou maior rendimento e maior acúmulo de macronutrientes (N e P) na parte aérea da alface. Maiores declividades

propiciaram maiores vazões e menor tempo de contato da solução nutritiva com as raízes, por consequência, maior massa de raízes e da parte aérea.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L., *Oreochromis niloticus*, dieta alimentar, fluxo laminar de nutrientes, macronutrientes, vazão

ABSTRACT

MENDONÇA, VINÍCIUS VÍCTOR OLIVEIRA. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Goiás State (GO), Morrinhos Campus, Brazil, August 2020. **Declivity of hydroponic and aquaponic systems in lettuce crop.** Advisor: Prof. Dr. Silva, César Antônio da.

The aquaponic system consists in cultivating plants in residual water resulted from aquatic organism creation, mainly fish, case in which plants absorb essential nutrients, returning water of better quality to the fish. The nutrient concentration in the water depends on the diet provided to the fish, while the plant development depends on the bench inclination and the flow rate and drainage time. This research aimed to evaluate the lettuce yield (*Lactuca sativa* L.) americana, cv. Lucy Brown, in hydroponic and aquaponic systems along with producing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in southern Goiás State (GO), Brazil. The experiment was carried out in a fishpond with a shading screen, in Itumbiara municipality (GO), from November 2019 to April 2020. The experimental design was in randomized block, three replicates, 3 x 5 scheme, split plots, three types of water (hydroponics, conventional, and two residual water of tilapia with 18 and 15% crude protein diet) in the plots and five slopes (2, 4, 6, 8, and 10%) of PVC tubes in the subplots. The amount of feed was calculated according to the fish weight. The waters of the fishponds were decanted from solids, filtered by biological filter, and pumped into the nutrient film technique (NFT) channels. The flow rate ($L h^{-1}$) in the tubes at the 25th day after lettuce transplantation, water physical-chemical parameters, plant yield, and foliar chemical analysis were evaluated. The slope of 8% provided greater lettuce aerial part fresh mass, 466.8 g plant⁻¹ on average. The water from the 18% crude protein diet provided greater yield and greater accumulation of macronutrients (N and P)

in the lettuce aerial part. Higher slopes provided greater flows rates and shorter contact time of the nutrient solution with the roots, resulting in greater root and aerial part mass.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L., *Oreochromis niloticus*, flow rate, food diet, macronutrients, Nutrient Film Technique

1 INTRODUÇÃO GERAL

Espera-se que a população mundial atinja cerca 9 de bilhões de habitantes até o ano de 2050. Esse número indica a necessidade de fornecer grandes quantidades de alimentos diante de uma população crescente, diminuição de áreas disponíveis ao cultivo e urbanização (ONU, 2020). A resposta mais óbvia para esse problema é utilizar técnicas de agricultura intensiva, de alto rendimento, uso de insumos, fertilizantes e pesticidas. No entanto, essas atividades são associadas a vários problemas ambientais, de esgotamento de recursos naturais, a grandes quantidades de agroquímicos que ameaçam a saúde humana (DIEM *et al.*, 2017). Assim, é vital o investimento em projetos de agricultura sustentável, a exemplo da aquaponia (CASTELLANI *et al.*, 2009).

Diante da escassez hídrica, do crescimento da população mundial e, conseqüentemente, do alto consumo de alimentos de origem vegetal e animal, torna-se evidente a necessidade de novas formas de cultivo com economia de água. Uma das alternativas é a aquaponia, que combina o cultivo de organismos aquáticos e de plantas em sistemas de recirculação de água e nutrientes (GODDEK *et al.*, 2015).

Em virtude de suas características, a aquaponia é uma técnica promissora, sustentável, capaz de propiciar alta qualidade dos produtos e menos impactos ao meio ambiente pela interação peixe-bactéria-plantas (DIVER, 2006; ESPINAL; MATULIĆ, 2019; GEISENHOF *et al.*, 2016).

Entre os sistemas de cultivo, a Técnica do Filme de Nutrientes, conhecida por NFT (*Nutrient Film Technique*), é um método em que as plantas são cultivadas em tubos, geralmente de PVC, paralelos entre si, com declividade suficiente para escoamento de uma solução nutritiva com todos os nutrientes essenciais. A NFT é uma técnica de cultivo hidropônico adaptada à aquaponia por causa de seu design simples, adequado ao cultivo de diferentes olerícolas, especialmente folhosas como a alface (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O sistema NFT é posicionado em altura mais elevada do que o tanque de peixes. Uma fina camada de água flui continuamente por tubos, fornecendo água, oxigênio e

nutrientes às raízes das plantas. Quando a água chega ao final da tubulação, ela retorna ao tanque de peixes por gravidade. Geralmente, é utilizado um reservatório paralelo para controle de pH, a partir do qual é feito o rebombeamento da água para o tanque de peixes. Uma das principais vantagens do sistema NFT é sua ergonomia, pois as canaletas são dispostas em bancadas na altura da cintura, proporcionando condições de trabalho adequadas aos funcionários no transplante e na colheita (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Em sistema hidropônico, os nutrientes são fornecidos na forma mineralizada, em misturas otimizadas, com total monitoramento e substituição da solução a cada duas a três semanas. Conforme Canastra (2017), os métodos convencionais de cultivo de olerícolas em solo são habituais em grandes ambientes de produção e pequenas hortas. Hidroponia ou cultivo sem solo é um método viável de produzir olerícolas a baixo custo, a curto prazo. Outra vantagem da hidroponia sobre a agricultura convencional é a menor necessidade de área. Um sistema hidropônico produz a mesma quantidade de vegetais em um quinto da área necessária no plantio convencional (LENZ, 2016).

As plantas cultivadas em hidroponia têm sistemas radiculares menores do que as plantas cultivadas em solo, possibilitando menor espaçamento entre plantas e maior população de plantas por unidade de área, pois não necessitam desenvolver grande volume de raízes para absorção de nutrientes, já que eles estão em contato direto com o sistema radicular (JORDAN *et al.*, 2016; KANO *et al.*, 2012).

No sistema aquapônico, as plantas obtêm os nutrientes através de resíduos dos peixes, sendo o fornecimento de ração o princípio do sistema. Conforme Carneiro *et al.* (2015), a quantidade média diária de ração consumida pelos peixes é de cerca de 1,5% de seu peso vivo. Os resíduos sólidos e líquidos na água, como fezes, urina, desperdícios de ração não consumida e excreções das brânquias, são convertidos em nutrientes essenciais às plantas.

A amônia (NH_3) é o principal resíduo do metabolismo dos peixes e da degradação da matéria orgânica na água (HUNDLEY, 2013). Isso faz com que haja possibilidade de reúso de águas de aquicultura no cultivo de olerícolas, devido ao elevado consumo de água na produção de hortaliças. Entretanto, ainda é incerta a dieta alimentar dos peixes que melhor atende a necessidade nutricional das plantas e qual a melhor declividade das canaletas do sistema hidropônico. Para sua utilização, as águas de aquicultura devem passar por um módulo de filtragem, constituído de decantador/clarificador para remoção de sólidos; filtro biológico, onde bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrosospira* convertem amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-) e bactérias

Nitrobacter e Nitrospira convertem nitrito em nitrato (NO_3^-), a principal forma do nitrogênio absorvida pelas plantas; e, finalmente, tanque de aeração para eliminação de gases e oxigenação da água (FRANCIS-FLOYD *et al.*, 2015; TOKUYAMA *et al.*, 2004).

O presente trabalho vem contribuir de forma significativa com as boas práticas de manejo em sistemas aquapônicos pela avaliação de vazão, tempo de escoamento da solução nutritiva e monitoramento da qualidade da água (pH, condutividade elétrica, composição da água e presença de íons). Tal informação será útil para monitorar a reposição de água, a população de peixes nos reservatórios e a necessidade de complementação de nutrientes no sistema aquapônico. A aquaponia é uma atividade promissora, com geração de empregos e renda, produzindo alimentos com economia de água e menor impacto ao meio ambiente. Com base nessas informações, o objetivo dessa pesquisa será avaliar a produção de alface em função de declividades nos sistemas aquapônico e hidropônico no sul Goiano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Hidroponia e Aquaponia

Conforme a etimologia, o termo hidroponia (do grego: hydro = água e ponos = trabalho) quer dizer trabalho com água. No entanto, hidroponia é o conjunto de técnicas utilizadas no cultivo de vegetais sem uso do solo, sendo os nutrientes minerais essenciais adicionados às plantas sob a forma de solução nutritiva (FURLANI *et al.*, 2009).

Dentre as vantagens do cultivo hidropônico, destacam-se o melhor controle da composição dos nutrientes aplicados e o aumento da produtividade em sistemas com escala comercial. A hidroponia é uma opção para o problema que acontece em meses de seca por não utilizar o solo para cultivar algumas culturas. Por outro lado, é possível fornecer às plantas a quantidade de nutrientes necessários sem lixiviação e com maior eficiência no uso da água (BEZERRA NETO; BARRETO, 2000; CARNEIRO *et al.*, 2015).

Segundo Espinal e Matulić (2019), as limitações do sistema são o alto valor inicial das instalações, elevado grau de tecnologia, necessidade de assistência técnica e a fácil disseminação de patógenos por meio da própria solução nutritiva. A falta de nutrientes afetará o sistema radicular assim como o topo da planta, sendo os sintomas mais difíceis de serem observados. Um dos problemas está relacionado com a CE e o pH na zona da raiz, ocorrendo um elevado índice de doenças radiculares em razão da qualidade da água, também necessitando de energia elétrica ou de sistema alternativo de bombeamento.

Aquaponia é a relação mútua entre peixes, bactérias e plantas, em sistema de recirculação de água, por meio de simbiose, em que as bactérias atuam na decomposição dos resíduos dos peixes, convertendo amônia em nitrato, e as plantas absorvem o nitrato, reduzindo os níveis de nitrogênio na água, que retorna ao reservatório dos peixes (ROOSTA; AFSHARIPOOR, 2012). A aquaponia possibilita a produção sustentável de

peixes e hortaliças em pequenas áreas, a nível de agricultura familiar, nas proximidades de perímetros urbanos, a baixo custo, com alta eficiência no uso da água, ocasionando redução no preço final de hortaliças (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

O volume de água utilizado para recirculação neste sistema é consideravelmente pequeno se comparado à olericultura convencional e à criação de aquícolas em tanques escavados. As perdas de água para a atmosfera se dão pela transpiração foliar e evaporação direta da água no filtro de nitrificação e no tanque de peixes (DALSGAARD *et al.*, 2013).

Na aquaponia, os reservatórios de criação de peixes são interligados a um sistema de filtragem. É comum esse módulo ser constituído por tanque munido de sistema de aeração, decantador/clarificador para remoção de sólidos, e de filtro biológico para reciclagem de nutrientes. A aeração promove a circulação da água do tanque e, simultaneamente, sua oxigenação (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Nos sistemas de filtragem, existe um tanque “sump” para recolher a água das bancadas de hidroponia. Um tanque é interligado ao “sump” para colocar o hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ e/ou hidróxido de potássio (KOH) para controle do pH. Uma bomba elétrica é instalada no interior do “sump” para recirculação da água para os tanques de criação de peixes (CANASTRA, 2017).

O tanque “sump” também pode ser instalado após o filtro, bombeando a água com pH corrigido para as bancadas de hidroponia. Na sequência, a água desce por gravidade para os tanques de criação de peixes. É utilizado essencialmente em sistemas construídos em terrenos planos, com cultivo hidropônico em canaletas ou em cama com substrato, em cota mais alta que os tanques de piscicultura (ROOSTA; AFSHARIPOOR, 2012).

Um ponto importante nos sistemas aquapônicos é a estabilização do pH, uma vez que é indispensável para todos os seres vivos dentro de um sistema de recirculação que inclui peixes, plantas e bactérias. São necessárias informações sobre o pH ideal para cultura e para os peixes no criatório. A maioria das plantas requer valor de pH entre 6 e 6,5 para aumentar a absorção de nutrientes (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Entre os sistemas de hidroponia, destacam-se: o sistema floating, onde as plantas flutuam numa “piscina” com solução nutritiva; o sistema de subirrigação, pelo preenchimento temporário de uma bancada de cultivo com solução, com posterior drenagem, por tempo preestabelecido; sistema de gotejamento, por tubogotejadores em vasos, sendo o excesso de água escoado em canaletas; sistema de aeroponia, que consiste

na nebulização de solução hidropônica no sistema radicular em ambiente fechado; e sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), o mais utilizado mundialmente (CARNEIRO *et al.*, 2015).

2.2 Técnica do fluxo laminar de nutrientes: *Nutrient Film Technique* (NFT)

A técnica do fluxo laminar de nutrientes, denominada “*Nutrient Film Technique*” (NFT), foi desenvolvida por Allen Cooper em 1965, sendo atualmente o sistema mais utilizado no Brasil. Consiste no escoamento de uma lâmina de solução nutritiva por uma canaleta ou cano de PVC, abrangendo as raízes das plantas, fornecendo os nutrientes necessários ao desenvolvimento vegetal. Os sistemas de produção hidropônica comercial sem substratos sólidos, em sua maioria, usam atualmente a técnica NFT. O sistema se resume em uma canaleta ou calha, geralmente suspensa a uma altura de aproximadamente um metro, podendo ser instalada com diversos materiais, como fibrocimento e tubos de PVC (FURLANI *et al.*, 2009).

As bancadas devem ter uma inclinação de 2-5% para propiciar o fluxo de solução por gravidade (FAQUIN *et al.*, 1996). Por outro lado, Carneiro *et al.* (2015) recomendam que as canaletas, representadas por tubos de PVC, sejam dispostas paralelamente, com desnível entre 8 e 12%.

As canaletas podem conter substratos, sendo mais comuns brita e argila expandida, que servem de sustentação às plantas. Esses substratos foram utilizados no passado, mas, em razão da necessidade de limpeza no sistema após cada cultivo, atualmente vêm sendo pouco empregados (CANASTRA, 2017).

A sustentação das plantas é feita por um suporte com furos (isopor, lona plástica de dupla face ou “tetrapak”) que também tem a função de evitar a entrada de luz e a elevação da temperatura nas raízes das plantas (TEIXEIRA, 1996; FURLANI *et al.*, 2009). Existem empresas no mercado que têm colocado canais de cultivo em forma de tubos de polipropileno achatados, com furos para conter as raízes das plantas.

São várias as vantagens dos sistemas com tubos perfurados em comparação aos que empregam substratos tais como: redução de custos, maior rapidez e menor custo de implantação (MARTINEZ, 2006); ergonomia, pois as canaletas são geralmente dispostas à altura da cintura, facilitando o manejo da cultura como transplante, colheita e limpeza dos tubos. Portanto, é possível monitorar a injeção de substâncias reguladoras e o crescimento do sistema radicular (FURLANI *et al.*, 2009).

Na aquaponia, a água que sai dos tanques de piscicultura precisa passar por um sistema de filtragem de sólidos para evitar que partículas sejam depositadas nas raízes das plantas e, com isso, surjam problemas de nutrição e oxigenação. Adicionalmente, é vital que haja um filtro biológico, uma vez que a superfície molhada das canaletas não é suficientemente grande para o processo de nitrificação da amônia produzida pelos peixes (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Entre as espécies de peixes mais indicadas aos sistemas aquapônicos, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a mais utilizada nas regiões tropicais por ser tolerante a variações na temperatura e pH da água, apresentar baixo índice de mortalidade, boa conversão alimentar e tolerar altas densidades nos tanques em comparação com outras espécies (SÁTIRO *et al.*, 2018). Além disso, tem pacote tecnológico de cultivo, melhoramento genético, reprodução e de nutrição (KUNITA *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015; TEOTÔNIO, 2017). Mais detalhes sobre essa espécie são descritos a seguir.

2.3 Tilápia do Nilo

Segundo Silva, G. *et al.* (2015), as tilápias são originárias da África, onde pesquisas para a criação desta espécie tiveram início no Zaire. Ao longo dos anos, se espalhou para praticamente todos os países em razão de sua ampla capacidade de adaptação a diferentes ambientes (WATANABE *et al.*, 2002).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi introduzida no Brasil, em 1971, na Região Nordeste, tendo apresentado ampla expansão por todo o país nas últimas cinco décadas pelo seu potencial produtivo (CARVALHO *et al.*, 2010; DIAS, 2019; VICENTE *et al.*, 2014).

Entre 2005 e 2015, a produção do peixe mais cultivado no Brasil, tilápia (*Oreochromis niloticus*), deu um salto de 223%, com a modernização e a intensificação da produção, tanto em sistemas intensivos, como tanques-rede em reservatórios, quanto em viveiros escavados. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, espécie que representa 57% da produção nacional. Em 2015, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) calculou a produção da espécie em 219.329 toneladas. Já, em 2018, a produção nacional de tilápia foi de aproximadamente 400 mil toneladas, um crescimento significativo do mercado nesse período (REVISTA SAFRA, 2019).

Carneiro *et al.* (2015) aponta que a tilápia do Nilo é uma espécie vantajosa em relação a outras espécies de peixes para comercialização, pois é tolerante a várias doenças

e suporta oscilações do pH da água entre 3,7 e 11. A espécie é tolerante a alta população, seu cultivo é disseminado em vários países, por ter bom valor comercial e ser uma espécie tolerante a diferentes níveis de pH, fatores que contribuem para ser o peixe mais utilizado em sistemas de aquaponia, com resultados satisfatórios (SÁTIRO *et al.*, 2018).

A tilápia do Nilo tem valor agregado no mercado consumidor, tendo como excelência a alta concentração de nutrientes, sólidos solúveis e ausência de espinhos em sua carne. Barroso *et al.* (2014) afirmam que a predominância dessa espécie em cultivos advém de suas características de rusticidade e de resistência a baixo nível de oxigênio e a altos níveis de amônia na água.

Sátiro *et al.* (2018) fizeram um levantamento de espécies de peixes que podem ser introduzidas nos sistemas aquapônicos comerciais. Entre as espécies, a tilápia é a que melhor resiste a altas e baixas temperaturas, adaptando-se adequadamente em águas de 20-30 °C, sendo a faixa de conforto térmico, maior consumo de ração e crescimento, em temperaturas de 27 a 32 °C (MACIEL JÚNIOR, 2006). Também se destaca pela qualidade de sua carne, sendo preferida a nível mundial em virtude do baixo teor de gordura (0,9 g 100 g⁻¹ de carne) e de calorias (117 kcal 100g⁻¹ de carne), elevado rendimento de filé (35-40%) e por não ter espinhos em forma de “Y” (mioceptos). Isso faz com que a tilápia seja a espécie mais recomendada e adequada para industrialização (BARROSO *et al.*, 2014; CYRINO; CONTE, 2006).

Além dessas vantagens, são cada vez mais utilizados os consórcios de tilapicultura com olerícolas, como a alface, em sistemas aquapônicos. Em virtude da alta fertilização da água com excrementos de peixes e restos de ração, as águas residuárias nos tanques de criação propiciam alta disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas, como nitrogênio e fósforo, após a decomposição da matéria orgânica por bactérias (CANI *et al.*, 2013).

2.4 Nitrificação bacteriana

O nitrogênio orgânico nos resíduos de ração não consumida pelos peixes e nos dejetos sólidos dos peixes é decomposto em amônia por vários microrganismos heterotróficos existentes na água. A amônia, em alta concentração no sistema, é tóxica aos peixes e às plantas, sendo necessária a transformação da amônia acumulada no sistema (HU *et al.*, 2013).

Parte da amônia produzida é volatilizada, parte é nitrificada e absorvida pelas plantas, uma vez que plantas utilizadas em hidroponia ou em filtros biológicos têm capacidade reduzida de absorção de amônia. Entretanto, é necessário o uso de bactérias nitrificantes (VAN RIJN, 2013).

A nitrificação é a oxidação biológica dos compostos nitrogenados sintetizados, formados durante o processo de decomposição. Neste processo, a amônia é oxidada, formando o nitrato. A nitrificação ocorre em duas etapas. Na primeira etapa, as bactérias Nitrosomonas oxidam amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-); na segunda etapa, o nitrito é oxidado a nitrato (NO_3^-) pelas bactérias Nitrobacter (COURTENS *et al.*, 2014).

As bactérias nitrificantes têm pH ótimo acima de 7. Elas têm eficiência de nitrificação com crescimento linear de 13% por unidade de pH, na faixa de pH entre 5,0 e 9,0, com maior atividade oxidante de amônio em pH 8,2. O pH ótimo para nitrificação é de aproximadamente 7,8. Existem três principais espécies de bactérias nitrificantes, para as quais as condições ótimas de pH são as seguintes: Nitrobacter (7,5), Nitrosomonas (7,0-7,5) e Nitrospira (8,0-8,3) (DAIMS *et al.*, 2015).

Analisando esses valores de pH, juntamente com o pH adequado à tilápia e à espécie vegetal, é possível fazer a prevenção do acúmulo de amônia, sendo o valor ideal de pH no sistema entre 6,8 e 7,0. Embora a absorção de nitrato pela raiz aumente o pH, pois os íons de bicarbonato são liberados na troca, o processo de nitrificação que produz acidez tem um impacto maior no pH do sistema, ocasionando diminuição constante e ligeira do pH da água (VAN RIJN, 2013), o qual deve ser adequado à espécie olerícola no sistema aquapônico.

2.5 Alface: resposta em cultivos hidropônicos e/ou aquapônicos

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família Asteraceae, tendo como centro de origem a região asiática do Mediterrâneo. Foi introduzida no Brasil pelos portugueses no século XVI (BARROS *et al.*, 2014). Em conjunto com o tomate, é uma olerícola apreciada para saladas por ser suave, ter bom sabor e ser de fácil preparo, o que confere à cultura tamanha importância econômica. A alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e a terceira hortaliça em maior volume de produção, cerca de 575.529 toneladas, numa área de aproximadamente 86.856 hectares (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2018).

Entre as hortaliças folhosas, a alface é uma das que apresentam maior necessidade de nutrientes, principalmente nitrogênio. Beninni *et al.* (2002) encontraram teores de nitrato na parte aérea da alface crespa variando de 26 a 2.568 mg kg⁻¹ de peso fresco, tendo as plantas cultivadas em sistema hidropônico apresentado teores superiores em relação às cultivadas em sistema convencional.

A composição ideal de uma solução nutritiva depende não somente das concentrações de nutrientes, mas também de fatores ligados ao cultivo, incluindo o tipo de sistema hidropônico, fatores ambientais, época do ano, estágio fenológico e a cultivar em produção. O cultivo da alface é promissor no sistema hidropônico utilizando a técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (MARTINEZ, 2006).

Entre os nutrientes essenciais, presentes em águas residuárias, oriundas de tanques com tilápia, destacam-se o nitrogênio nas formas de amônia, nitrito e nitrato, em concentrações variáveis, de 2,93 a 14,00 mg L⁻¹, e o fósforo, de 1,2 a 1,9 g L⁻¹ a depender da dieta alimentar, composição de ração e idade dos peixes (SILVA, J., 2017).

Jordan *et al.* (2016) descrevem que o nitrogênio (N) é um macronutriente aniônico presente em grande quantidade na planta, sendo o maior responsável pelo desenvolvimento de área foliar e da massa da parte aérea, estando diretamente ligado ao crescimento vegetativo da alface, adquirindo respostas rápidas. Porém o excedente de N ou o desequilíbrio com outro elemento, macro ou micronutriente, tem efeito prejudicial (CANASTRA, 2017).

O fósforo (P) tem função de relevância no metabolismo da planta, prioritariamente no controle da atividade enzimática. Colabora basicamente com o crescimento do sistema radicular das plantas. Lana *et al.* (2004) constataram que a ausência de fósforo reduziu tanto a matéria seca de raízes (MSR), quanto da parte aérea da alface, cv. Verônica. As reduções da MSR de 1,56-0,93 g planta⁻¹ e da MSPA de 19,68-8,75 g planta⁻¹, em comparação à fonte de fósforo Fosmag, com alta disponibilidade desse elemento, evidenciam a elevada demanda da alface por fósforo.

O potássio (K) é um nutriente importante para a cultura da alface, sendo o elemento de maior quantidade na folha, variando em faixas de 26,5-91,1 g kg⁻¹ (NOGUEIRA FILHO *et al.*, 2003), conforme o tipo de solução hidropônica e/ou aquapônica. Tem a função de ativador enzimático, regulador da transpiração pela abertura e fechamento de estômatos, síntese de proteínas, transporte de fotoassimilados (KANO *et al.*, 2012).

Segundo Jordan *et al.* (2018a), o cálcio (Ca) é fundamental na estrutura e desempenho de membranas celulares, absorção iônica e constituição do pectato. Lenz (2016) relata que o Ca é absorvido pelas raízes como Ca^{2+} , podendo ocorrer redução da absorção desse nutriente quando a concentração de K^+ e de Mg^{2+} no meio for elevada. Os teores foliares de cálcio em alface cultivada em soluções hidropônica e aquapônica variaram, conforme Nogueira Filho *et al.* (2003), de 10,4-18,3 mg kg^{-1} na massa seca da parte aérea.

O Mg é o principal elemento responsável pela fotossíntese, sendo constituinte da molécula de clorofila. Atua como ativador enzimático na respiração, absorção iônica e transporte de energia, conferindo estabilidade aos ribossomos (MALAVOLTA, 2006). Os teores de Mg na massa seca da parte aérea da alface variam de 2,4-5,6 g kg^{-1} , sendo maior com a utilização de água residuária de tilápia, em comparação com misturas de água residuária com solução fertilizante (NOGUEIRA FILHO *et al.*, 2003).

Em cultivo hidropônico de alface, cv. Isabela, no sistema NFT, Martins *et al.* (2009), utilizando nitrato de cálcio (15% N- NO_3 e 19% Ca), nitrato de potássio (13% N- NO_3 e 44% K), sulfato de magnésio (11% S e 9% MgO), URFOS 44 (17% NH_2 e 44% P_2O_5), e micronutrientes Quelatec AZ (7,5% Fe; 3,5% Mn; 0,7% Zn; 0,28% Cu; 0,65% B e 0,3% Mo), respectivamente nas dosagens de 260, 260, 160, 120 e 60 g m^{-3} de água, obtiveram produtividade máxima de 5,12 kg m^{-2} aos 30 dias após transplântio.

No mesmo trabalho, avaliando a curva de absorção de nutrientes, Martins *et al.* (2009) concluíram que o crescimento inicial da alface é lento com pequeno acúmulo de nutrientes nos primeiros 12 dias e maior demanda no período de 24 e 30 dias. Encontraram quantidades de nutrientes acumuladas ao longo do ciclo de 295,4 mg planta^{-1} para o nitrogênio, de 31,9 mg planta^{-1} para o fósforo e de 641,7 mg planta^{-1} para o potássio.

Silva (1999) propõe concentrações de referência para macronutrientes em tecido foliar de alface de 30-50, 4-7, 50-80, 15-25, 4-6 g kg^{-1} de N, P, K, Ca e Mg e de micronutrientes 7-20, 30-150 e 30-100 mg kg^{-1} de Cu, Mn e Zn, respectivamente. Beninni *et al.* (2002), avaliando amostras de alface crespa comercializada, verificaram teor médio de nitrato de 1588 mg kg^{-1} de peso fresco, em plantas cultivadas em hidroponia, tendo sido os valores máximos e mínimos de 2568 e de 471 mg kg^{-1} , respectivamente.

Cortez *et al.* (2009), avaliando a resposta de três cultivares de alface em sistema aquapônico com bancadas a 2% de declive e criação intensiva de matrinxã (*Brycon cephalus*), concluíram que a água residuária não foi capaz de atender as cultivares de

alface por nutrientes, principalmente potássio e magnésio. Isso faz com que novas pesquisas sejam necessárias, em outras declividades do sistema e espécie de peixe.

Jordan *et al.* (2018b), utilizando sistema aquapônico NFT, com criação de tilápias, e declividade de tubos a 3%, obtiveram aos 35 dias após transplântio da alface cv. Pira Verde valores máximos de produtividade de 39,9 t ha⁻¹, matéria fresca total de 275,9 g planta⁻¹, matéria fresca da parte aérea 199,4 g planta⁻¹ e número de folhas igual a 29,2. Jordan *et al.* (2018a) obtiveram teores foliares de N variando de 44,8-46,5 g kg⁻¹ em sistema aquapônico e de 50,5-55,8 g kg⁻¹ em sistema hidropônico.

2.6 Referências Bibliográficas

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI / KIST, B. B.; SANTOS, C. E. dos; CARVALHO, C. de; BELING, R. R.; BELING, R. R. (ed.). **Folhosas**: alface tem a maior representatividade no segmento, com 50% do total. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2018. 96p. Disponível em: http://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2019/07/HortiFruti_2019_DUPLA.pdf Acesso em: 29 jul. 2020.

BARROSO, R. M.; PEDROZA FILHO, M. X.; RÍOS, J. L. **O mercado da tilápia em 2014**. Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.

BARROS, T. M. P.; MOREIRA, W. M. Q.; CAMELO, A. D. Estudo da literatura sobre as metodologias de produção e cultivo da alface. **Revista Fafibe On-Line**. Bebedouro, v. 7, n. 1, p. 26-34, 2014.

BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J.; FONSECA, I. C. B. Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 183-186, 2002.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Técnicas de cultivo hidropônico**. Recife. UFRPE. 2000.

CANASTRA, I. I. de O. **Aquaponia**: construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático. Dissertação (Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017, 142p.

CANI, A. C. P.; AZEVEDO, R. V. de; PEREIRA, R. N.; OLIVEIRA, M. A. de; CHAVES, M. A.; BRAGA, L. G. T. Phytodepuration of the effluents in a closed system of fish production. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v. 14, n. 2, p. 371-381, 2013.

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 27p.

CARVALHO, E. D.; CAMARGO, A. L. S.; ZANATTA, A. S. Desempenho produtivo da tilápia do nilo em tanques-rede numa represa pública: modelo empírico de classificação. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, p. 1616-1622, 2010.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F. M.; ABIMORAD, E. G. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. **Bioikos**, v. 23, n. 2, p. 67-75, 2009.

CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C. de; BELLINGIERI, P. A.; DALRI, 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.

COURTENS, E.N.P.; BOON, N.; DE SCHRYVER, P.; VLAEMINCK, S.E. Increased salinity improves the termo tolerance of mesophilic nitrification. **Environmental Biotechnology**, v. 98, p. 4691-4699, 2014.

CYRINO, J.E.P; CONTE, L. Tilapicultura em gaiolas: produção e economia. *In*: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C. (ed.). AquaCiência 2004: Tópicos Especiais em Biologia Aquática e Aqüicultura. Jaboticabal: **Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática**, 2006.

DAIMS, H.; LEBEDEVA, E. V.; PJEVAC, P.; HAN, P.; HERBOLD, C.; ALBERTSEN, M.; JEHMLICH, N.; PALATINSZKY, M.; VIERHEILIG, J.; BULAEV, A.; KIRKEGAARD, R. H.; VON BERGEN, M.; RATTEI, T.; BENDINGER, B.;NIELSEN, P. H.; WAGNER, M. Complete nitrification by Nitrospira bacteria. **Nature**, v. 528, p. 504-509, 2015.

DALSGAARD, J.; LUND, I.; THORARINSDOTTIR, R.; DRENGSTIG, A.; ARVONEN, K.; PEDERSE. P. B: Cultivo de diferentes espécies em RAS nos países nórdicos: Situação atual e perspectivas futuras. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 2-13, 2013.

DIAS, M. T. **A introdução da tilápia em ambientes diversos de sua origem e as consequências negativas**. Macapá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019, 4p. (Nota Técnica 003). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197073/1/CPAF-AP-2019-NT-003-Introducao-tilapias.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.

DIEM, T.N.T., Konnerup, D.; Brix, H. Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. **Aquacultural Engineering**, v.78, part B, p.95-104, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.002>

DIVER, S. **Aquaponics**: integration of hydroponics with aquaculture. ATTRA: National Sustainable Agriculture Information. 2006. 28p. Disponível em: <https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=56>. Acesso em: 18 mar. 2019.

- ESPINAL, C. A.; MATULIĆ, D. Recirculating aquaculture technologies. *In*: GODDEK, S.; JOYCE, A.; KOTZEN, B.; BURNELL, G. (ed.). **Aquaponics food production systems**. Springer, 2019, p. 35-76. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_3
- FAQUIN, V.; FURTINI, N. A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996.
- FRANCIS-FLOYD, R.; WATSON, C.; PETTY, D.; POWDER, D. B. **Ammonia in aquatic systems**. University of Florida: Fisheries and Aquatic Sciences Department. Document FA16, 5p. 2015. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FA/FA03100.pdf>. Acesso em: ago. 2018.
- FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm. Acesso em: ago. 2019.
- GEISENHOFF, L. O.; JORDAN, R. A.; SANTOS, R. C.; OLIVEIRA, R. C. DE; GOMES, E. P. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 2, p. 291-299, 2016.
- GODDEK, S.; DELAIDE, B.; MANKASINGH, U.; RAGNARSDOTTIR, K. V.; JIJAKLI, H.; THORARINSDOTTIR, R. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. **Sustainability**, Basel, Switzerland, v. 7, p. 4199-4224, 2015.
- HUNDLEY, G. C. **Aquaponia: uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes**. 2013. 57f., il. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- HUNDLEY, G. C.; NAVARRO, R. D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 52-61, 2013.
- HU, Z.; LOTTI, T.; KREUK, M.; KLEERBEZEM, R.; VAN LOOSDRECHT, M.; KRUIT, J.; JETTEN, M. S. M.; KARTAL, B. Nitrogen removal by a nitrification-anammox bioreactor at low temperature. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 8, p. 2807-2812, 2013.
- JORDAN, R. A.; GEISENHOFF, L. O.; OLIVEIRA, F. C.; SANTOS, R. C.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 27-31, 2018b.
- JORDAN, R. A.; RIBEIRO, E. F.; OLIVEIRA, F. C. DE; GEISENHOFF, L. O.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 525-529, 2018a.

JORDAN, R. A.; CAVICHIOLO, F.; GEISENHOF, L.; SANTOS, R. C.; SILVEIRA JÚNIOR, V.; NEVES FILHO, L. DE C.; GIORDANO, E. B.; OLIVEIRA, R., FIGUEIREDO, M.; SANTOS, K.; SANTOS, H.; MIRANDA, C. **Aquicultura em sistema fechado e controlado-integração biodigestor/aquaponia-produção sustentável de peixes, hortaliças e bioenergia**. 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/2814159-Aquicultura-em-sistema-fechado-e-controlado-integracao-biodigestor-aquaponia-producao-sustentavel-de-peixes-hortalicas-e-bioenergia.html>. Acesso em: 29 jul. 2020.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BOAS, R. L. Acúmulo de nutrientes e resposta da alface à adubação fosfatada. **Revista Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 39-47, 2012.

KUNITA, N. M.; OLIVEIRA, C. A. L.; OLIVEIRA, S. N.; YOSHIDA, G. M.; RIZZATO, G. S.; RESENDE, E. K.; RIBEIRO, R. P. Avaliação genética de características morfométricas em tilápias do Nilo cultivadas. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, p. 555-566, 2013.

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

LENZ, G. L. **Produção de alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico com tilápias (*Oreochromis niloticus*) em bioflocos e baixa salinidade**, 2016, 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MACIEL JÚNIOR, A. **Efeitos da temperatura no desempenho e na morfometria de tilápia, *Oreochromis niloticus*, de linhagem tailandesa**, 2006, 51f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINEZ, H. E. P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: UFV, 2006, 271p.

MARTINS, C. M.; MEDEIROS, J. F. DE.; LOPES, W. DE A. R.; BRAGA, D. F.; AMORIM, L. B. DE. Curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 123-128, 2009.

NOGUEIRA FILHO, H.; SANTOS, O.; BORCIONI, E.; SINCHAK, S.; PUNTEL, R. Aquaponia: interação entre alface hidropônica e criação superintensiva de tilápias. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, Suplemento CD, julho, 2003.

OLIVEIRA, C. A. L. DE; YOSHIDA, G. M.; OLIVEIRA, S. N. DE; KUNITA, N. M.; SANTOS, A. I. DOS; ALEXANDRE FILHO, L.; RIBEIRO, R.P. Avaliação genética de tilápias do nilo durante cinco anos de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 871-877, 2015.

ONU - Organização das Nações Unidas. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU**. 2020. Disponível em <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/amp/>. Acesso em: 15 maio 2020.

REVISTA SAFRA. **Tilápia: Brasil é 4º maior produtor mundial**. 2019. Disponível em: <http://revistasafra.com.br/tilapia-brasil-e-4o-maior-produtor-mundial/>. Acesso em: 2 ago. 2020.

ROOSTA, H. R.; AFSHARIPOOR, S. Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysiological trait and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. **Advances in environmental biology**, v. 6, n. 2, p. 543-555, 2012.

SÁTIRO, T. M.; RAMOS NETO, K. X. C.; DELPRETE, S. E. Aquaponia: sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 11, n. 1, p. 38-54, 2018.

SILVA, G. F. DA; MACIEL, L. M.; DALMASS, M. V.; GONÇALVES, M. T. **Tilápia-do-nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná**. Curitiba: GIA, 2015, 290p. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/12/Livro-pronto.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.

SILVA, J. R. A. DA. **Uso da água do cultivo de tilápia do nilo *Oreochromis niloticus* Linnaeus (1758) na fertirrigação de alface (*Lactuca sativa* L.cv. Brida)**, 2017, 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2017.

TEIXEIRA N. T. **Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas**. Guaíba: Agropecuária, 1996, 86p.

TEOTÔNIO, S. B. B. **Avaliação de rações comerciais para juvenis de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*), em tanques-rede**, 2017, 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/2534/1/SBBT20021017.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.

TOKUYAMA, T.; MINE, A.; KAMIYAMA, K.; YABE, R.; SATOH, K.; MATSUMOTO, H.; TAKAHASHI, R.; ITONAGA, K. Nitrosomonas communis strain YNSRA, an ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizosphere in an aquaponics plant. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 98, n. 4, p.309-312, 2004.

VAN RIJN, J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 49-56, 2013.

VICENTE, I. S. T.; ELIAS, F.; FONSECA-ALVES, C. E. Perspectivas da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 37, n. 4, p. 392-398, 2014.

WATANABE, W. O.; LOSORDO, T. M.; FITZSIMMONS, K.; HANLEY, F. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trends and challenges. **Reviews in Fisheries Science**, v. 30, p. 465-498, 2002.

3 CAPÍTULO I

(Normas de acordo com a revista Brasileira de Ciências Agrárias)

Cultivo de alface em hidroponia e aquaponia, em diferentes declividades do sistema NFT

Resumo: A aquaponia integra a produção de plantas e peixes num ambiente em que as águas residuárias são utilizadas para suprir nutrientes essenciais às plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o cultivo de alface, em função de declividades dos sistemas hidropônico e aquapônico, em fluxo laminar de nutrientes (NFT). O experimento foi instalado em Itumbiara, Goiás, em viveiro com cobertura e laterais de tela a 80% de sombreamento. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, no esquema 3 x 5, em parcelas subdivididas, sendo três tratamentos de solução nutritiva e cinco declividades (2, 4, 6, 8 e 10%) dos tubos PVC. As águas foram compostas de solução hidropônica convencional e duas águas residuárias provenientes de dietas alimentares de tilápia a 15% e 18% de proteína bruta, sendo 50% fornecida às 9 h e a outra metade, às 16 h. As soluções nutritivas provenientes da dieta com 18% de proteína bruta na ração propiciaram maior produção de alface, em média 466,8 g planta⁻¹, e maior acúmulo de nutrientes (N e P) na parte aérea das plantas. Tubos instalados na declividade de 8% proporcionaram maior produção de raízes e parte aérea da alface americana, cv. Lucy Brown, em sistemas hidropônico e aquapônico.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., *Oreochromis niloticus*, dieta alimentar, fluxo laminar de nutrientes, vazão

Lettuce cultivation in hydroponics and aquaponics, in different slopes the NFT system

Abstract: The aquaponic system integrates plant crops and fish production in an environment in which residual water is used to supply essential nutrients to plants. This

paper aimed to evaluate the lettuce cultivation in function the slopes the hydroponic and aquaponic systems, in nutrient film technique (NFT). The experiment was carried out in Itumbiara municipality, Goiás State (GO), Brazil, in a covered fishpond with screen sides, so 80% shaded. A randomized block design, three replicates, 3 x 5 scheme, split plots with three water treatments and five slopes (2, 4, 6, 8 and 10%) of the PVC tubes were used. The waters were composed of conventional hydroponic solution and two residual waters from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets at 15 and 18% crude protein, being 50% provided at 9 o'clock and the other half at 16 o'clock. The residual water from the diet with 18% of crude protein provided greater lettuce yield, 466.8 g plant⁻¹ in average, and greater nutrient accumulation (N and P) in the plant aerial parts. Pipes installed on the slope at 8% provided greater roots and aerial part yield of the lettuce, cv. Lucy Brown, in hydroponic and aquaponic systems.

Keywords: *Lactuca sativa* L., *Oreochromis niloticus*, flow rate, food diet, nutrient film technique

INTRODUÇÃO

Diante da escassez hídrica, a produção de alface em sistema aquapônico surge como alternativa frente à crescente necessidade de produção de alimentos, com economia de água e nutrientes. Os sistemas aquapônicos NFT – *Nutrient Film Technique*, consistem na recirculação de águas residuárias provenientes da aquicultura, em canaletas de cultivo em ambiente protegido, as quais podem fornecer parcial ou totalmente os nutrientes essenciais às plantas, diminuindo a utilização de fertilizantes químicos em comparação aos cultivos convencionais, tendo como principal vantagem a economia de até 90% de água (Martins *et al.*, 2010).

O cultivo de plantas integrado à piscicultura por meio da técnica do fluxo laminar de nutrientes, é utilizado nos Estados Unidos, Austrália e países europeus. No Brasil, não há relatos de produção comercial em sistema aquapônico. No entanto, em razão das particularidades do sistema, como as características nutricionais da ração, das espécies cultivadas, da ciclagem de nutrientes, da declividade de tubos e da vazão de escoamento, são necessárias pesquisas que otimizem a produção integrada de plantas e peixes (Carneiro *et al.*, 2015; Diem *et al.*, 2017).

A aquaponia por fluxo laminar de nutrientes consiste em sistemas de piscicultura intensiva com hidroponia, considerando a recirculação de águas residuárias e a ciclagem

de nutrientes (Roosta & Afsharipoor, 2012). Esse sistema apresenta uma relação simbiótica, na qual os peixes fornecem os nutrientes para o cultivo de plantas e as plantas removem compostos presentes na água, que, em excesso, são prejudiciais aos peixes (Martins *et al.*, 2010; Roosta & Afsharipoor, 2012).

A declividade das bancadas é um dos aspectos que mais pode influenciar na produção aquapônica e hidropônica. Nos últimos anos, surgiram novas recomendações quanto às declividades adotadas no sistema NFT, influenciando significativamente a produtividade e o rendimento de olerícolas. Tanto a aquaponia quanto a hidroponia são compostos basicamente por um tanque de solução nutritiva e filtros biológicos. No caso da aquaponia, é constituído por um sistema de bombeamento de águas residuárias para canaletas de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque, podendo o escoamento ser por gravidade ou bombeamento (Carneiro *et al.*, 2015).

Nas canaletas de cultivo, a solução nutritiva escoar em baixa vazão, conforme a declividade, formando uma lâmina de solução que irriga as raízes. Segundo Furlani *et al.* (2009), em meados dos anos 90 eram adotadas declividades entre 2 e 4%, com tamanho máximo de bancada de 12 m de comprimento. Nesse contexto, bancadas com essas declividades tinham uma altura inicial de 0,98 m e finalizavam com 0,50 m, considerando 4% de declividade, com a implantação do sistema em um terreno plano.

Segundo Canastra (2017), a instalação de bancada com declividade de 8 a 10%, com um comprimento de 12 m, ocasiona um problema ergonômico em relação à postura do trabalhador. Além disso, em altas declividades, a velocidade de escoamento é elevada, proporcionando menor absorção de nutrientes em razão do menor tempo de contato da solução nutritiva com o sistema radicular.

Em virtude da recirculação da solução nutritiva, a quantidade de água necessária no sistema é minimizada em comparação com os cultivos convencionais com uso de irrigação. Em média, 98% da água em sistemas aquapônicos é reciclada durante a operação (Inoue *et al.*, 2018). O cultivo de alface utiliza no sistema convencional cerca de 25 litros de água por planta durante o ciclo. Já no sistema hidropônico, a mesma cultivar utiliza cerca de 4 litros (Furlani *et al.*, 2009).

Resíduos sólidos e líquidos na água como fezes, urina, desperdícios de ração não consumida e excreções das brânquias são convertidos em nutrientes essenciais às plantas. A amônia (NH_3) é o principal resíduo do metabolismo dos peixes e da degradação da matéria orgânica (rações) na água (Geisenhiff *et al.*, 2016). A água residuária da criação intensiva de tilápia fornece nutrientes suficientes para a produção de alface, não sendo

necessária complementação da fertilização com produtos comerciais. No sistema aquapônico, há possibilidade de cultivo não apenas de folhosas, como a alface (Jordan *et al.*, 2018a; Sirakov *et al.*, 2017), mas também de hortaliças de fruto como o tomateiro (Schmautz *et al.*, 2016) e o morangueiro (Afsharipoor & Roosta, 2010; Roosta & Afsharipoor, 2012).

A alface foi selecionada nesta pesquisa por ser uma cultura de ciclo curto, alta necessidade nutricional e adaptação aos sistemas. As diferentes declividades permitem também a avaliação da vazão ($L h^{-1}$) nos tubos PVC e sua relação direta com a massa de raízes, mostrando a importância da declividade para obter altas produções. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o cultivo de alface hidropônica e aquapônica em diferentes declividades do sistema NFT.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em Itumbiara, Goiás, a $18^{\circ}24'58.6''$ S e $49^{\circ}15'12.8''$ W, numa altitude de aproximadamente 885 m, sendo conduzido de março a abril de 2020. O viveiro tinha dimensões de 7 x 15 m, com pé direito de 2 m de altura, e cobertura e laterais de tela a 80% de sombreamento.

A classificação climática do local é Aw, conforme Kottek *et al.* (2006), apresentando clima tropical com estação seca de inverno, característico do bioma cerrado, onde a temperatura média do mês mais frio do ano é maior que $18^{\circ}C$, a temperatura média anual é de $24,6^{\circ}C$ e a precipitação do mês menos chuvoso inferior a 60 mm. A temperatura interna do viveiro foi monitorada por meio de termômetro digital em diferentes horários durante o ciclo da alface (Figura 1).

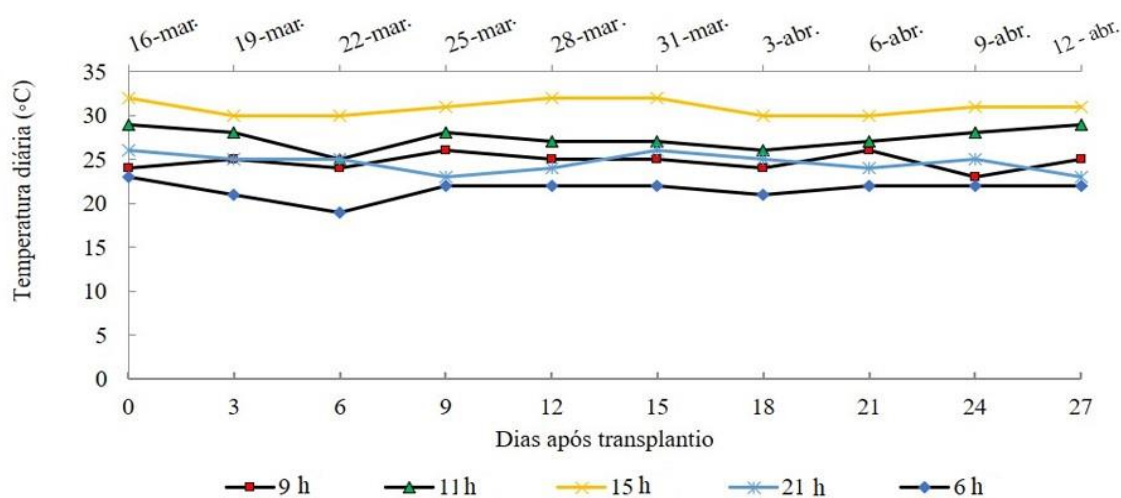


Figura 1. Temperatura horária internamente no viveiro durante o ciclo da alface. Itumbiara, GO

Para a instalação do sistema, foram utilizados tubos de policloreto de vinila (PVC) de 100 mm de diâmetro, instalados em diferentes declividades, em nove bancadas de 1,2 m de largura x 3 m de comprimento, com altura média de 1,0 m. As bancadas foram espaçadas 1,0 m entre si e, na sua construção, utilizados páletes, ripas de madeira e pregos para obter as declividades.

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, no esquema 3 x 5, em parcelas subdivididas, sendo três soluções nutritivas e cinco declividades (2, 4, 6, 8 e 10%) de tubos PVC utilizados no cultivo. As soluções foram compostas de solução hidropônica convencional e duas águas residuárias provenientes de dietas alimentares de tilápia a 15 e 18% de proteína bruta, sendo 50% da ração fornecida às 9 h e a outra metade, às 16 h. Conforme Canastra (2017), o consumo de ração depende da temperatura da água, que deve estar em torno de 25-30 °C. A solução hidropônica convencional era composta por um mix de macro e micronutrientes essenciais. A solução hidropônica convencional foi preparada conforme Gualberto *et al.* (1999), aplicando por litro 236,3 mg de N, 39,0 mg de P, 224,9 mg de K, 228,0 mg de Ca, 33,7 mg de Mg, 46,3 mg de S, 0,24 mg de B, 0,02 mg de Cu, 5,0 mg de Fe, 0,23 mg de Mn, 0,03 mg de Mo e 0,05 mg de Zn.

Cada subparcela foi constituída de tubo PVC de 3,0 m de comprimento e 100 mm de diâmetro, com perfurações espaçadas em 25 cm entre si, totalizando 10 plantas. O espaçamento entre tubos paralelos foi de 30 cm (Figura 2).

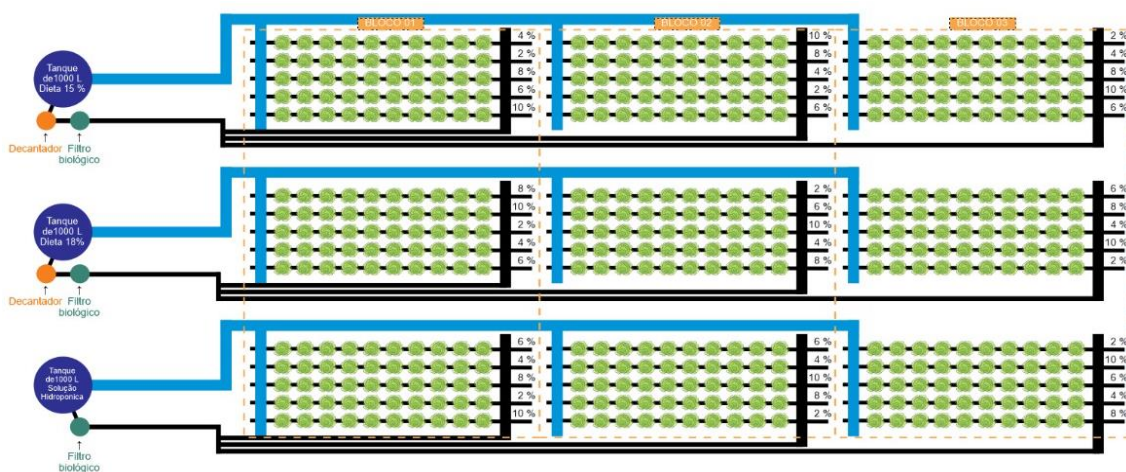


Figura 2. Esquema de instalação dos sistemas hidropônico/aquapônico e da casualização das águas e declividades (%) nos blocos. Itumbiara-GO

Do lado externo da casa de vegetação, foram posicionadas três caixas d'água de 1000 L, de forma que o nível da água nas caixas ficasse um metro abaixo da cota média dos

tubos PVC nas bancadas, possibilitando o retorno da água por gravidade nos tubos PVC de 100 mm. Uma caixa foi destinada ao preparo de solução hidropônica convencional e outras duas caixas, ao cultivo de tilápia, sendo colocados 60 juvenis por caixa, para uma densidade final de estocagem de 60 kg de peixe vivo por m³ de água. A recirculação e a renovação diária da água foram aproximadamente seis vezes o volume da caixa, conforme recomendações de Somerville *et al.* (2014).

A água de cada tanque de peixes passava por sistema de decantação de sólidos e filtro biológico de 200 L, com 67,1 L de argila expandida para abrigar colônias de bactérias, conforme metodologia de Canastra (2017). Após passar pelo filtro biológico, a solução nutritiva era recalçada por motobomba submersa nos tanques, às canaletas de cultivo, retornando aos tanques de peixe. No recalque utilizou-se mangueira de polietileno de 13 mm, enterrada no interior da casa de vegetação, com derivações para cada parcela. Nas parcelas foram utilizados conectores e microtubos flexíveis de 5 x 7 mm, para alimentar as subparcelas com as respectivas soluções nutritivas.

Após introdução dos juvenis de tilápia, foram necessários 30 dias para que as bactérias se multiplicassem no filtro biológico e o ciclo de nitrificação se encontrasse em equilíbrio para introduzir as plantas. Foram utilizadas mudas de alface americana, cv. Lucy Brown, obtidas em viveiro comercial, cultivar esta adaptada às condições de clima local.

A ração utilizada, a quantidade e a granulometria foram organizadas em função do peso vivo e do desenvolvimento da tilápia (fase de juvenil, crescimento e engorda), com percentuais de proteína bruta variando de 15 e 18%, aplicando, em média, 75 g dia⁻¹ de ração na primeira semana para 60 tilápias de 100 g em média. A quantidade de ração foi aumentada até 200 g dia⁻¹, gradativamente, até a nona semana, sendo a alimentação e o número de peixes controlados em função do monitoramento semanal de amônia e nitrato no sistema.

Foi utilizada a técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT - *Nutrient Film Technique*), conforme Geisenhoff *et al.* (2016), aplicando fluxos intermitentes de solução nutritiva a cada 20 min, ficando as motobombas inativas por outros 40 min no horário das 6 às 20 h. No período noturno, as motobombas foram acionadas por 20 min, às 22, 1 e às 4 h. Para controlar os tempos de fluxo, foi utilizado um “timer” digital de 40 programações, acionando e desligando as três motobombas centrífugas de 1000 L h⁻¹, de altura manométrica 23 mca e potência unitária de ½ hp.

Realizou-se o preparo da solução nutritiva, a determinação da condutividade elétrica (CE) de 1,8 mS cm⁻¹, estabelecendo o pH entre 6,4 e 6,8. Foram monitoradas diariamente

as seguintes variáveis da solução nutritiva: temperatura, utilizando termômetro com datalogger, condutividade elétrica (CE), pH, oxigênio dissolvido (O₂) e amônia livre. Foram feitas análises físicas e químicas da água durante o cultivo para determinar a quantidade de sais existentes no sistema e a quantidade de resíduos presentes nas soluções. Quando necessário, era feita a limpeza dos resíduos sólidos nos filtros e tanques.

Os ajustes do pH foram feitos com reservatório de rocha calcária, retirada ou com adição de peixes conforme a necessidade, assim como a complementação de nutrientes essenciais caso necessário, considerando a condutividade elétrica abaixo de 1,8 mS e as fases de desenvolvimento da alface. Foi mantida concentração de amônia inferior a 2,0 mg L⁻¹ e de nitrito inferior a 0,5 mg L⁻¹ para não estressar os peixes. O teor de nitrato foi mantido em torno de 10 mg L⁻¹ por meio de Prodac Teste de Fita Ph Gh Kh NO₂ NO₃ Cl₂ (Speedy Test) para assegurar o bom desenvolvimento das olerícolas, conforme recomendação de Queiroz *et al.* (2017).

As perdas de água no sistema foram complementadas nos tanques a cada 2 dias, e a água foi renovada a cada 30 dias, substituindo 50% do volume de cada tanque. A vazão (L h⁻¹) nas canaletas foi avaliada em função das declividades dos tubos PVC em antecedência ao transplântio, tendo sido obtidos os valores de 16,5; 18,1; 20,3; 21,6 e de 23,4 L h⁻¹ nas declividades de 2, 4, 6, 8 e 10%, respectivamente. Aos 25 dias após transplântio, fez-se nova medição de vazão nas canaletas com presença de sistemas radiculares, em função do tipo de água utilizada e das declividades.

A colheita da alface foi feita aos 26 dias após o transplântio. Foram avaliados a matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA), a matéria fresca (MFR) e seca de raízes (MSR), em g planta⁻¹, o teor de macro e micronutrientes e de elementos químicos na água. Foram estimadas a razão MSR/MSPA e a razão dos macronutrientes N-folha/N-água, P-folha/P-água e K-folha/K-água acumulados ao longo do ciclo.

Os parâmetros avaliados, com exceção dos teores de nutrientes e elementos químicos na água, foram submetidos à análise de variância nas significâncias p<0,01 e p<0,05. Os parâmetros significativos tiveram os tratamentos primários (águas) comparados por meio de teste de Tukey (p<0,05) e os tratamentos secundários (declividades) analisados por equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH da água residual nos sistemas aquapônicos apresentou, após a passagem pelos tanques de tilápia, valor médio de 7,5. Após o biofiltro, o pH foi reduzido para valores

médios de 6,0 a 6,5, dependendo do processo de nitrificação, como descrito por Courtens *et al.* (2014). Durante as amostragens periódicas, o pH oscilou entre 5,5 e 6,9, valores estes controlados e semelhantes aos utilizados por Van Rijn (2013). Segundo esse autor, essa oscilação diz respeito à maior quantidade de ração fornecida e à maior quantidade de dejetos gerados, proporcionando também crescimento dos peixes. Os referidos valores de pH estão dentro da faixa considerada ideal para o cultivo de alface em sistema NFT na aquaponia, sobrevivência dos peixes e para uma melhor desempenho das bactérias nitrificantes.

O pH da solução no sistema hidropônico apresentou valor médio de 6,5 após o biofiltro. Segundo Furlani *et al.* (2009), na hidroponia convencional, o sistema radicular é considerado biofiltro, pois faz absorção de íons. Consequentemente, o pH foi reduzido para 5,7 em razão da absorção de nutrientes pelas plantas. Após passagem pelo reservatório “sump” de rocha calcária, o pH foi elevado para 6,2, em média, comprovando a viabilidade desse reservatório para controle do pH da solução.

A condutividade elétrica nos reservatórios aquapônico e hidropônico apresentou variação de 1,2 a 2,0 mS cm⁻¹, permanecendo na faixa adequada para o bom desenvolvimento da alface. A alteração da CE das soluções nutritivas, após escoamento dos tanques até as canaletas foi insignificante.

Comparando a concentração de nutrientes dissolvidos nas águas residuais e solução nutritiva (Tabela 1), a maioria dos nutrientes nas águas oriundas de dietas a 15 e 18% de proteína bruta estava em quantidade próxima ou superior à encontrada na solução hidropônica, com exceção do potássio e do manganês.

A concentração de micronutrientes nas águas residuárias foi superior à obtida na solução nutritiva proposta por Gualberto *et al.* (1999). Na maioria dos estudos que integram a criação de peixes e o cultivo de plantas, os resultados foram semelhantes, a exemplo do trabalho de Cortez *et al.* (2009).

As concentrações de macro e micronutrientes na parte aérea da alface (Tabela 2) oscilaram nas três soluções, sendo os teores de N na dieta a 18%, Fe e Mn nas dietas de 15% e 18% de proteína bruta, similares aos encontrados nas soluções nutritivas nos tanques. A absorção de nutrientes pela alface não segue o mesmo padrão dos teores nas soluções, certamente devido à redução no pH e aumento da CE no percurso dos tanques até as canaletas.

Tabela 1. Concentração de elementos químicos nas soluções nutritivas, nos tanques dos sistemas aquapônico e hidropônico no vigésimo quinto dia

Macronutrientes, micronutrientes e metais pesados	Água residuária 15% PB	Água residuária 18% PB	Solução hidropônica
N*	0,193	0,247	0,239
P*	0,071	0,070	0,064
K*	0,0728	0,071	0,426
Ca*	0,2835	0,28	0,170
Mg*	0,165	0,17	0,026
S*	0,0459	0,046	0,036
Cu**	0,32	0,33	0,045
Fe**	18,5	19,0	5,00
Mn**	1,3	1,0	0,48
Zn**	0,312	0,33	0,30
B**	0,615	0,62	0,32
Cd**	-	-	-
Pb**	0,013	0,012	-
Ni**	0,014	0,011	-
Cr**	-	-	-

*g kg⁻¹; **mg kg⁻¹; PB - proteína bruta. Análises feitas no Laboratório Venturo - Análises Ambientais, Araraquara, SP.

Tabela 2. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de alface, determinados aos 26 dias após o transplântio, em condutividade elétrica estabilizada em 1,8 dS m⁻¹ ± 0,2 nos tanques

Nutrientes	Água residuária 15% PB	Água residuária 18% PB	Solução hidroponia
N*	17,90	21,03	20,3
P*	6,54	5,65	7,35
K*	58,10	67,30	59,10
Ca*	17,30	14,90	18,05
Mg*	8,20	6,90	7,50
S*	2,12	2,81	3,11
Cu**	47,6	44,8	44,3
Fe**	1284	1498	1168
Mn**	203	162	141
Zn**	235	267	301

*g kg⁻¹; **mg kg⁻¹ Análises feitas no Laboratório de Análise Foliar e de Fertilizantes (LAFF), Universidade Federal de Goiás - Campus Samambaia, Goiânia, GO.

Fatores como a população de peixes, a qualidade e a quantidade de ração fornecida aos peixes durante o período de engorda influenciam no teor de nutrientes das águas. Canastra (2017) apresenta resultados em que os peixes são capazes de fornecer níveis significativos de nutrientes essenciais às plantas, exceto potássio e magnésio, independentemente da espécie de peixe utilizada. Por consequência, torna-se necessária a suplementação mineral de K e Mg para suprir as necessidades nutricionais da cultura da alface.

O resumo da análise de variância dos parâmetros monitorados nas bancadas indica efeito significativo ($p < 0,01$) das soluções nutritivas e declividades sobre todos os parâmetros avaliados, com exceção da razão K-folha/K-água (Tabela 3). Houve interação significativa ($p < 0,01$) entre águas e declividades sobre os mesmos parâmetros, exceto a razão K-folha/K-água, acumulada durante o ciclo da alface.

Tabela 1. Resumo de análises de variância (F calculado) da vazão aos 25 dias após transplântio (Q, L h⁻¹), matéria fresca (MFPA), seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca (MFR) e seca das raízes (MSR), em g planta⁻¹, comprimento do sistema radicular (CR, cm), relação MSR/MSPA e razão dos macronutrientes N-folha/N-água, P-folha/P-água e K-folha/K-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de soluções nutritivas e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico e aquapônico. Itumbiara - GO, 2020

Parâmetros avaliados	Fonte de variação				CV _A (%)	CV _D (%)	Média geral
	Bloco	Solução (S)	Declividade (D)	S x D			
	GL:	2	4	8			
Q	1,4 ^{NS}	92,3 ^{**}	4466,4 ^{**}	14,9 ^{**}	1,04	0,85	17,0
CR	1,2 ^{NS}	1121,8 ^{**}	3340,7 ^{**}	41,5 ^{**}	0,37	0,63	15,8
MFPA	1,5 ^{NS}	224,5 ^{**}	8618,8 ^{**}	11,8 ^{**}	0,97	1,23	324,8
MSPA	1,3 ^{NS}	1326,3 ^{**}	21982,2 ^{**}	156,8 ^{**}	0,57	0,52	14,1
MFR	0,4 ^{NS}	425,7 ^{**}	4767,2 ^{**}	61,8 ^{**}	0,96	0,64	53,8
MSR	1,2 ^{NS}	629,1 ^{**}	1030,0 ^{**}	25,4 ^{**}	2,77	3,92	2,4
MSR/MSPA	0,1 ^{NS}	375,6 ^{**}	132,4 ^{**}	9,6 ^{**}	2,63	5,40	0,16
N-folha/N-água	0,6 ^{NS}	656,3 ^{**}	240,5 ^{**}	46,1 ^{**}	1,73	0,94	19,6
P-folha/P-água	0,12 ^{NS}	142,8 ^{**}	173,6 ^{**}	80,2 ^{**}	1,61	1,67	6,8
K-folha/K-água	1,0 ^{NS}	0,2 ^{NS}	1,3 ^{NS}	1,4 ^{NS}	16,62	16,63	61,4

NS = não significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; CV_A - coeficiente de variação das parcelas (Águas); CV_D - coeficiente de variação das subparcelas (Declividades).

Comparando as vazões (Q) nas canaletas, aos 25 dias após transplântio, foi superior na dieta 18%, em declividades de 2 e 10%. Embora as vazões nas declividades de 4,0; 6,0 e 8% não tenham diferido da solução hidropônica convencional (Tabela 4).

A solução oriunda da dieta dos peixes com 18% de proteína proporcionou maiores valores de MFPA, MSPA, MFR, MSR, CR e MSR/MSPA, independentemente da declividade das bancadas, embora a razão MSR/MSPA na declividade de 6,0% não tenha se diferido das demais soluções. Assim como na declividade de 8,0%, não houve diferença estatística da MSR/MSPA entre a solução da dieta 18% e a solução hidropônica. A solução proveniente da dieta com 15% de proteína na ração dos peixes mostrou-se ineficiente para a produção de alface, conforme os parâmetros avaliados (Tabela 4).

Tabela 2. Vazão aos 25 dias após transplântio (Q, L h⁻¹), matéria fresca (MFPA), seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca (MFR) e seca das raízes (MSR), em g planta⁻¹, comprimento do sistema radicular (CR, cm), relação MSR/MSPA e relação dos macronutrientes N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de soluções nutritivas e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico e aquapônico. Itumbiara - GO, 2020

Soluções	Declividade (%)					DMS	Média	
	2,0	4,0	6,0	8,0	10			
Q	Dieta 15	12,5 c	14,2 b	17,2 b	18,5 c	20,1 b	0,31	16,5
	Dieta 18	13,2 a	14,8 a	17,9 a	19,3 b	21,6 a		17,4
	Hidroponia	12,9 b	14,7 a	18,1 a	19,6 a	20,4 b		17,1
MFPA	Dieta 15	149,7 b	243,5 c	348,5 b	448,3 c	385,0 c	7,75	315,0
	Dieta 18	160,7 a	267,1 a	365,7 a	483,6 a	414,7 a		321,0
	Hidroponia	146,8 b	256,0 b	333,5 c	468,6 b	399,8 b		338,4
MSPA	Dieta 15	8,6 b	12,6 c	14,1 b	18,3 b	15,0 b	0,15	13,7
	Dieta 18	9,0 a	13,2 a	15,6 a	19,7 a	17,5 a		15,0
	Hidroponia	8,7 b	12,8 b	14,0 b	17,9 c	14,8 b		13,7
MFR	Dieta 15	39,8 b	51,1 b	53,2 c	58,1 c	53,9 c	0,79	51,7
	Dieta 18	42,1 a	56,1 a	59,1 a	65,8 a	61,5 a		56,9

(Continua...)

Tabela 4.

		Declividade (%)					(Conclusão)	
Soluções		2,0	4,0	6,0	8,0	10	DMS	Média
MFR	Hidroponia	40,5 b	51,7 b	56,6 b	61,2 b	56,2 b		52,8
MSR	Dieta 15	0,95 b	1,38 b	2,7 b	3,1 c	2,3 b	0,18	2,1
	Dieta 18	1,38 a	2,31 a	3,1 a	4,1 a	3,7 a		2,9
	Hidroponia	1,01 b	1,45 b	2,8 b	3,8 b	2,4 b		2,3
CR	Dieta 15	12,5 b	15,4 b	16,1 b	17,5 b	17,1 b	0,19	15,6
	Dieta 18	13,2 a	15,8 a	16,7 a	18,5 a	17,8 a		16,4
	Hidroponia	12,4 b	15,2 b	15,9 b	16,5 c	16,5 c		15,5
MSR/MSPA	Dieta 15	0,11 b	0,11 b	0,19 a	0,17 b	0,15 b	0,02	0,14
	Dieta 18	0,15 a	0,17 a	0,20 a	0,21 a	0,21 a		0,19
	Hidroponia	0,11 b	0,11 b	0,20 a	0,21 a	0,16 b		0,16

Dieta 15 - água oriunda de dieta alimentar com ração Guabi® com 15% de proteína bruta; Dieta 18 - água oriunda da dieta alimentar com ração Guabi® com 18% de proteína bruta; Hidroponia - solução hidropônica preparada conforme Gualberto *et al.* (1999). DMS - Diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, para cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A água residuária com 18% de proteína bruta propiciou maior MFPA e MSPA certamente em razão dos maiores teores de N e Mg, nutrientes que, conforme Vasconcelos *et al.* (2014), influenciam na área foliar, sendo o Mg constituinte da molécula de clorofila. Maior desenvolvimento das plantas foi observado principalmente a partir da segunda semana de cultivo.

A maior razão da MSR/MSPA com utilização de água oriunda da dieta 18%, demonstra maior desenvolvimento do sistema radicular em detrimento da parte aérea quando ocorre maior concentração de fósforo solúvel na água e menor teor de nitrogênio. Esse resultado diverge do obtido por Lana *et al.* (2004), uma vez terem obtido maior MSR na cv. Verônica quando utilizaram fontes de fertilizantes com maior disponibilidade de P.

O menor desenvolvimento da parte aérea das plantas, na solução a 15% de proteína bruta provavelmente se deve ao menor teor de N solúvel nessa água residuária, conforme apresentado na Tabela 1. Além dos baixos teores de Ca e Mg, a menor disponibilidade de P na solução hidropônica, comparada à água da dieta 18%, também evidencia, conforme Fátima *et al.* (2018), a menor fitomassa de parte aérea e raízes.

A equações quadráticas se ajustaram melhor aos dados de CR (Figura 3B). As declividades ótimas foram estimadas em 9,2; 8,0 e 9,0% para solução hidropônica, água na dieta 15% e água na dieta 18%, as quais resultaram CR máximo de 17; 17,1 e 18 cm, respectivamente. Nas declividades de 2 e 4%, verificou-se menor desenvolvimento radicular, o que pode ser justificado pelo maior efeito osmótico, conforme Paulus *et al.* (2010), ocasionado pelo maior tempo de contato das raízes com as soluções.

A vazão escoada nas canaletas do sistema aquapônico foi influenciada tanto pelas soluções quanto pela declividade dos tubos, havendo possível interferência do comprimento e da massa de raízes da alface na vazão, sobretudo na declividade de 8%, quando os maiores valores de MFR e CR na dieta 18% ocasionaram redução da vazão, em comparação à solução hidropônica.

A faixa de salinidade das três soluções, com CE mantida entre 1,2 e 2,0 mS cm⁻¹, provavelmente reduziu o CR, a MFR, a MSR e a relação MSR/MSPA na declividade de 2%, uma vez que nessa inclinação, a raiz permaneceu por mais tempo em contato com as soluções nutritivas, causando maior estresse salino e, conseqüentemente, menor desenvolvimento do sistema radicular. Esse efeito salino também foi constatado por Paulus *et al.* (2010), avaliando duas cultivares de alface, ao verificarem que águas salinas com maiores condutividades elétricas ocasionaram redução linear das massas fresca e seca de raiz, assim como da massa seca de folhas e caule das plantas. Conforme esses autores, o efeito da salinidade nas raízes é menor do que na parte aérea em alface hidropônica. Tal efeito, segundo Shalhevet *et al.* (1995), está associado a um ajuste osmótico mais rápido e a uma perda de turgidez mais lenta nas raízes, em comparação às folhas.

As vazões de escoamento nos tubos apresentaram efeito linear crescente com o aumento da inclinação, mesmo na presença de sistema radicular aos 25 dias após transplantio. Para cada 1% de aumento da declividade, são estimados aumentos na Q de 0,97-1,05 L h⁻¹ nas águas residuárias a 15 e 18% de proteína bruta, respectivamente. Os resultados indicam que a instalação dos tubos em nível proporcionaria vazões dessas soluções de 10,67 e 11,05 L h⁻¹, respectivamente (Figura 3A).

A equações quadráticas melhor se ajustaram aos dados de CR (Figura 3B). As declividades ótimas foram estimadas em 9,2; 8,0 e 9,0%, para solução hidropônica, água na dieta 15% e água na dieta 18%, as quais resultaram CR máximo de 17; 17,1 e 18 cm, respectivamente.

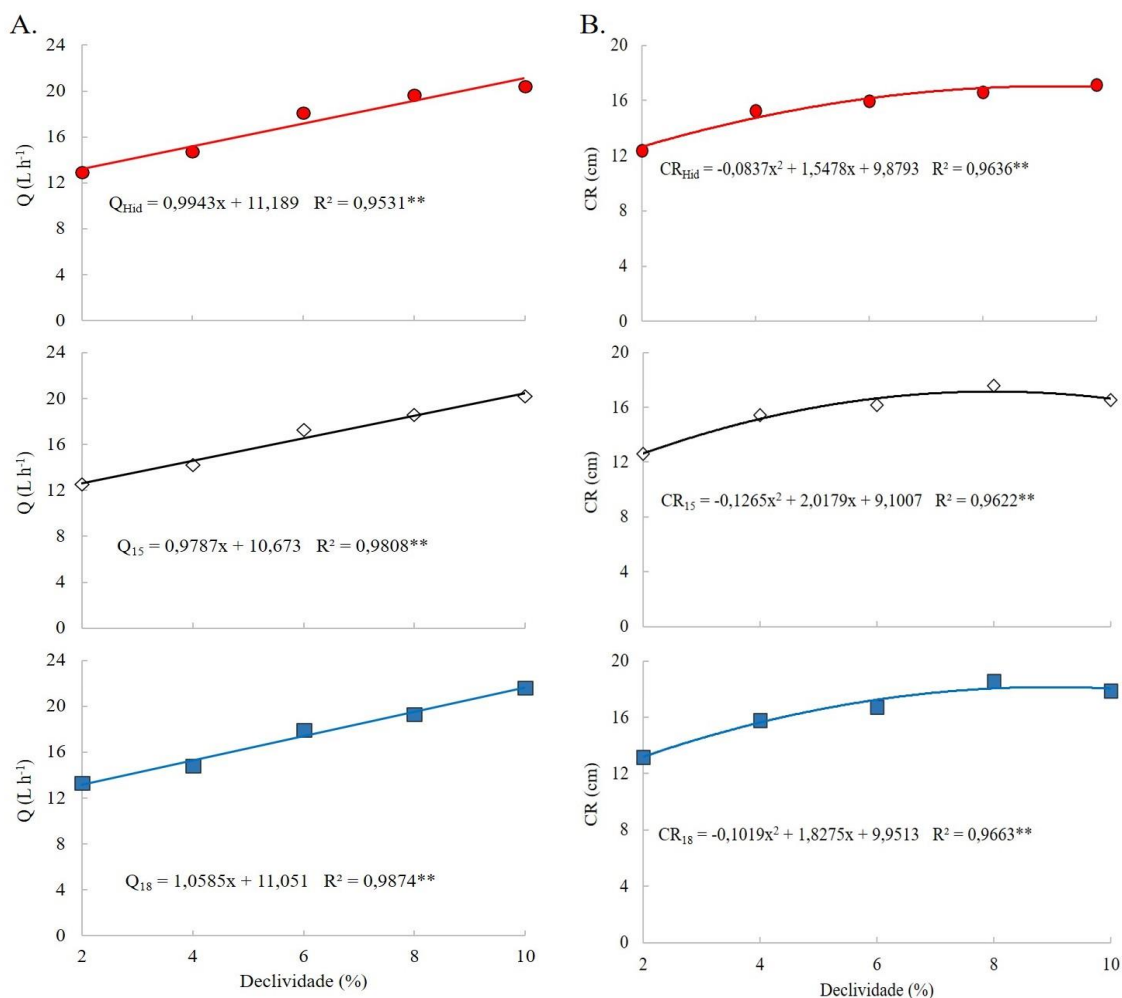


Figura 3. Vazão nas canaletas aos 25 dias após transplântio (A) e comprimento de raiz (B) de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades e soluções de sistemas hidropônico (●) e aquapônico nas dietas de 15 (◊) e 18% (■) de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020

Na declividade de 8%, foram observados os maiores valores de MFPA e MSPA para a cv. Lucy Brown em todas as soluções nutritivas, enquanto as plantas mantidas em declives de 2 e 4% apresentaram menores fitomassas da parte aérea. As equações apresentadas indicam maior MFPA em declividades ótimas variando de 9,0-9,4%, e maior MSPA em inclinações de 8,1-9,0%, dependendo do tipo de solução (Figura 4).

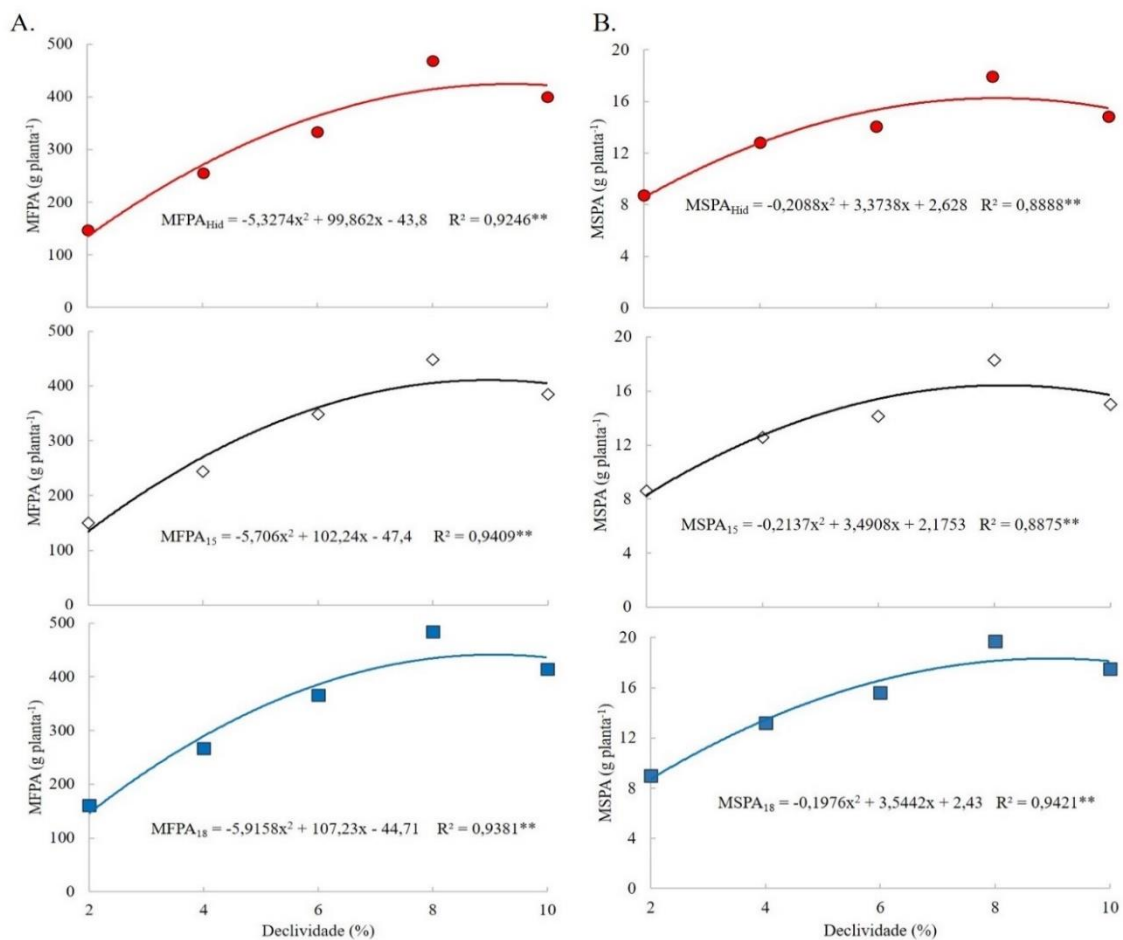


Figura 4. Massas fresca (A) e seca (B) da parte aérea de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades e águas de sistemas hidropônico (●) e aquapônico nas dietas de 15 (◇) e 18% (■) de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020

Os valores máximos de MFPA e MSPA, de 441,2 e 18,3 g planta⁻¹, respectivamente, foram estimados em declividade de 9%, em água proveniente de dieta alimentar de tilápia com 18% de proteína. Esses dados são superiores à MFPA de alface, de 199,4 g planta⁻¹, obtida por Jordan *et al.* (2018b) em declividade de 3%, provavelmente não só pela diferença entre a cultivar Lucy Brown, utilizada neste trabalho, e a cultivar Pira Verde, utilizada pelos autores, mas também em função do ambiente de cultivo, como o tipo de cobertura, substrato e composição da solução nutritiva utilizada pelos autores.

O maior tempo de escoamento das soluções nutritivas na declividade de 2% aumentou a salinidade da água e promoveu um acréscimo linear na condutividade elétrica da solução e no potencial osmótico. Por consequência, o maior tempo de contato com o sistema radicular é a principal evidência de maior efeito osmótico nas raízes, o que, segundo Paulus *et al.* (2010), pode estar associado à menor absorção de nutrientes como o N, por fluxo de massa, e à consequente diminuição da massa seca da parte aérea. Na alface, os

sintomas de toxidez por sódio foram evidenciados pelo nanismo das plantas, folhas coriáceas com coloração verde mais intensa, com o aumento da concentração salina.

As linhas de tendência da massa fresca (MFR) e seca de raízes (MSR) e da razão MSR/MSPA apresentaram maiores valores estimados em declividades de 7,4-8,1% para MFR, de 7,8-9,7% para MSR e de 7,5-9,8% para a razão MSR/MSPA, tendo apresentado maiores valores estimados em declividades ótimas entre 8 e 9% (Figuras 5 e 6), dependendo do tipo de solução utilizada.

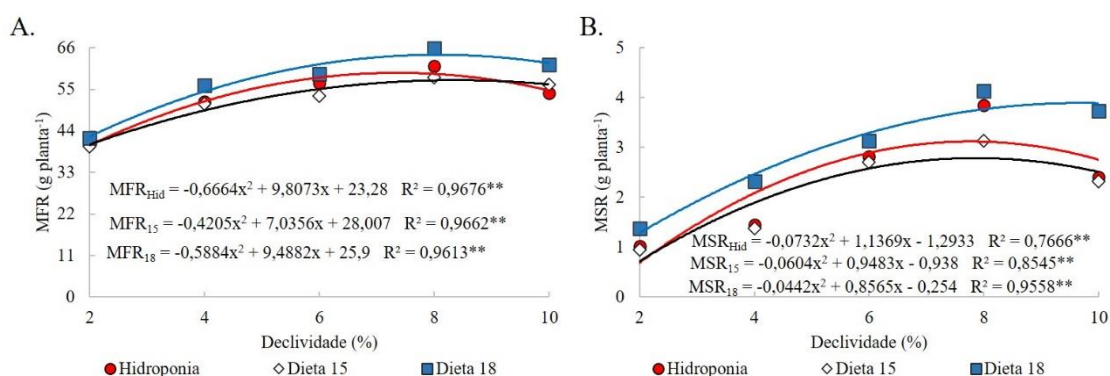


Figura 5. Massas fresca (A) e seca (B) de raízes de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades, e águas de sistemas hidropônico e aquapônico nas dietas de 15 e 18% de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020

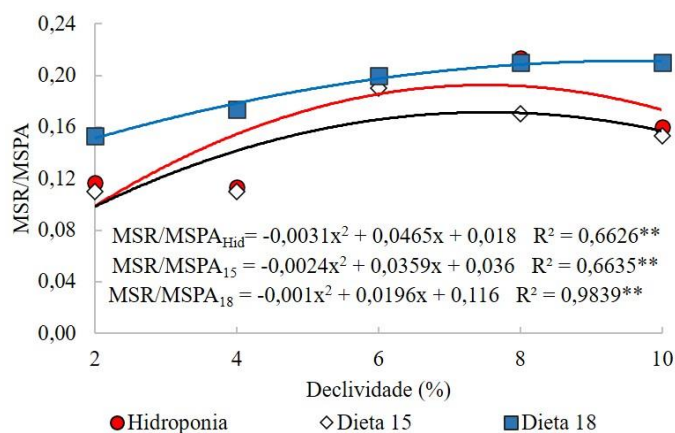


Figura 6. Razão entre massas seca de raiz e parte aérea (MSR/MSPA) de alface americana, cv. Lucy Brown, em função de declividades, e águas de sistemas hidropônico e aquapônico nas dietas de 15 e 18% de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020

Constatou-se que a declividade ótima foi maior quando se utilizou água residuária da criação de peixes com dieta 18% na maioria dos parâmetros da alface, incluindo MSPA, MFR, MSR, relação MSR/MSPA e razão dos macronutrientes N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados durante o ciclo.

Em todas as declividades, o acúmulo de N e P nas folhas de alface (N-folha/N-água e P-folha/P-água) foi maior na água originada da dieta 18%. Exceto o P-folha/P-água na declividade de 2,0%, a solução proveniente da dieta 15% e solução hidropônica apresentaram valores mais altos, e na declividade de 4,0%, os valores de P-folha/P-água não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 5).

Tabela 3. N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de águas e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico e aquapônico. Itumbiara - GO, 2020

Parâmetro avaliado	Água	Declividade (%)					DMS	Média
		2,0	4,0	6,0	8,0	10		
N-folha/N-água	Dieta 15	17,73 b	18,01 b	18,56 b	19,52 b	17,80 b	0,47	18,32
	Dieta 18	21,06 a	22,35 a	20,47 a	24,55 a	22,35 a		22,15
	Hidroponia	17,66 b	17,97 b	18,48 b	19,60 b	17,45 b		18,23
P-folha/P-água	Dieta 15	6,37 a	6,66 a	7,15 b	6,38 b	6,38 b	0,23	6,59
	Dieta 18	5,59 b	6,70 a	7,80 a	8,27 a	7,55 a		7,18
	Hidroponia	6,23 a	6,62 a	7,34 b	6,28 b	6,55 b		6,60

Dieta 15 - água oriunda de dieta alimentar com ração Guabi® com 15% de proteína bruta; Dieta 18 - água oriunda da dieta alimentar com ração Guabi® com 18% de proteína bruta; Hidroponia - solução hidropônica preparada conforme Gualberto *et al.* (1999). DMS - Diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, para cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Conforme Fátima *et al.* (2018), os níveis foliares de nitrogênio encontrados em ambos os tratamentos de água residuária, são adequados, assim como os níveis de potássio, na faixa de 17,9-21,0 g kg⁻¹ de N e 58,1-67,3 g kg⁻¹ de K. Kano *et al.* (2012) obtiveram resultados superiores. Utilizando o sistema convencional de solo, esses autores relataram concentrações variando de 32-37 g kg⁻¹ de N e 57-62 g kg⁻¹ de K. No entanto, Almeida *et al.* (2011) obtiveram concentrações reduzidas de N em folhas da cv. Verônica, em hidroponia, com N variando de 9,5-23,2 g kg⁻¹, e K variando de 3,2-8,9 g kg⁻¹.

A concentração de P nas folhas de alface encontrada neste trabalho variou de 5,65-7,35 g kg⁻¹ de matéria seca (Tabela 1). A recomendação, segundo Silva (1999), está na faixa de 4-7 g kg⁻¹. Martins *et al.* (2009), ao determinarem a curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica, obtiveram concentração de P de 31,9 mg planta⁻¹. Considerando a MSPA média de 14,1 g planta⁻¹ e que são necessárias cerca de 71 plantas para obter 1,0 kg de matéria seca, a concentração obtida por Martins *et al.* (2009) é equivalente a 2,26 g kg⁻¹, portanto, inferior à obtida nesta pesquisa.

Kano *et al.* (2012) encontraram em cultivo convencional de alface no solo teores de fósforo nas folhas de 2,1-5,0 g kg⁻¹. Tal variação possivelmente se deve ao meio em que o sistema radicular de encontra, solo ou água, sendo a absorção do P predominantemente por difusão em direção à raiz e maior na água, conforme Fátima *et al.* (2018).

Comparando as declividades, a maior absorção de N foi estimada nas declividades de 6,4 e 6,6% nas soluções de hidroponia e dieta a 15% (Figura 7A). Já, na água com dieta a 18%, houve efeito linear da declividade na razão N-folha/N-água, indicando que quanto maior a velocidade do escoamento, menor é o estresse osmótico e, por consequência, maior é a absorção do nitrato (NO_3^-) por fluxo de massa. Apesar de ter utilizado declividade de apenas 3%, Jordan *et al.* (2018a) obtiveram teores foliares de N variando de 44,8-46,5 g kg⁻¹ em sistema aquapônico e de 50,5-55,8 g kg⁻¹ em sistema hidropônico, valores superiores aos encontrados neste trabalho.

A razão de acúmulo do P-folha/P-água durante o ciclo apresentou declividades ótimas de absorção de 5,8; 6,2 e 7,8% nas soluções provenientes da dieta de 15%, solução hidropônica e solução na dieta de 18%, respectivamente (Figura 7B).

A análise química foliar em amostragens de plantas cultivadas nas três soluções nutritivas teve indicadores da concentração de nutrientes absorvidos e acumulados em quantidades próximas ao recomendado por Sobreira Filho (2012). Por outro lado, em trabalho de Cortez *et al.* (2009), a água residual do sistema de criação de matrinxã não foi capaz de atender à demanda de três cultivares de alface por nutrientes, principalmente potássio e magnésio, indicando que não só a qualidade da ração mas também a espécie de peixe são fundamentais para o sucesso do sistema NFT.

Conforme os resultados apresentados, as canaletas do sistema NFT em declividade de aproximadamente 8% confirmaram melhores resultados de produção de alface em sistema hidropônico e aquapônico, apesar de o maior declive dos tubos, segundo Canastra (2017), ocasionar postura inadequada ao trabalhador durante as etapas de manejo da cultura da alface como o transplantio e a colheita.

Como descrito por Carneiro *et al.* (2015), os parâmetros de matéria fresca e seca da parte aérea, matéria fresca e seca raízes, comprimento do sistema radicular apresentados, comprovam que a aquaponia, fornecendo ração com 18% de proteína bruta, é capaz de satisfazer as necessidades nutricionais da alface de forma que a cultivar possa expressar seu potencial genético produtivo.

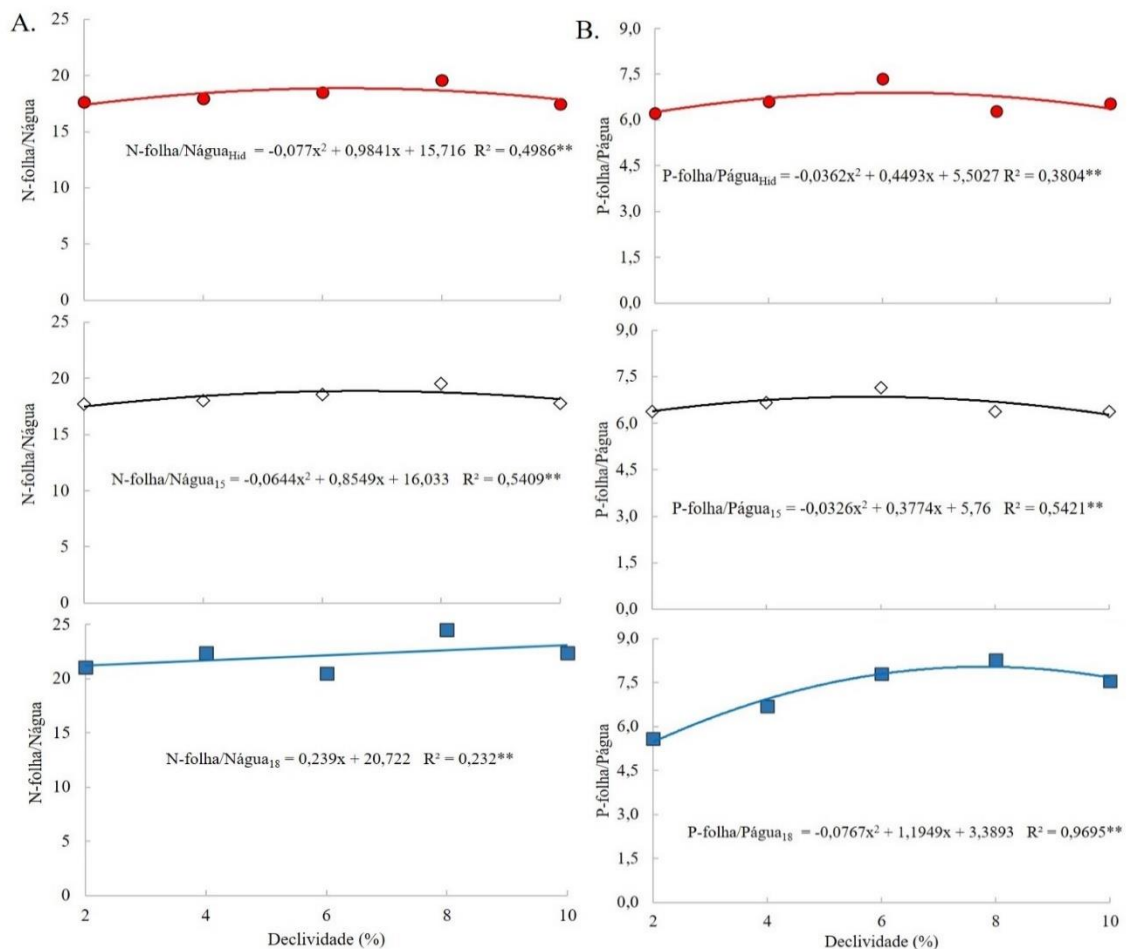


Figura 7. Razão dos macronutrientes N-folha/N-água e P-folha/P-água acumulados ao longo do ciclo da alface americana, cv. Lucy Brown, em função de águas, e declividades (%) de sistemas de cultivo hidropônico (●) e aquapônico nas dietas de 15 (◇) e 18% (■) de proteína bruta. Itumbiara - GO, 2020

A aquaponia, comparada a sistemas de produção convencional já existentes, mostra que a criação de peixes em recirculação ou com sistemas hidropônicos é mais complexa, exigindo maior conhecimento e acompanhamento técnico. Muitos produtores deixam a hidroponia pela sua complexidade, entretanto, diante da escassez de água para cultivo, essa pesquisa mostrou que o sistema aquapônico de produção integrada de alface com tilápia é promissor.

CONCLUSÕES

A solução proveniente da dieta a 18% de proteína na ração de tilápia, propiciou maior produção e maior acúmulo de nutrientes (N e P) na parte aérea da alface.

Tubos de PVC com declividade de 8% proporcionaram maior produção de alface americana, cv. Lucy Brown, podendo ser recomendada em sistemas hidropônico e aquapônico.

O acúmulo de K na parte aérea da alface não foi influenciado pela declividade e pelas soluções nutritivas.

A água residuária de tilápia, proveniente da dieta com 15% de proteína bruta na ração, não se mostrou eficiente na produção de alface.

LITERATURA CITADA

Afsharipour, S.; Roosta, H.R. Effect of different planting beds on growth and development of strawberry in hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Plant Ecophysiology*, v.2, p.61-66, 2010.

Almeida, T.B.F. de; Prado, R. de 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. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2011v24n2p27>

Canastra, I.I. de O. Aquaponia: construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático, 2017, 142p. Dissertação (Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

Carneiro, P.C.F.; Nunes, M.U.C.; Maria, A.N.; Fujimoto, R.Y. Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

Cortez, G.E.P.; Araújo, J.A.C. de; Bellingieri, P.A.; Dalri, 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. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400019>

Courtens, E.N.P.; Boon, N.; DE Schryver, P.; Vlaeminck, S.E. Increased salinity improves the termo tolerance of mesophilic nitrification. *Environmental Biotechnology*, v.98, p.4691-4699, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5540-y>

Diem, T.N.T., Konnerup, D.; Brix, H. Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, v.78, part B, p.95-104, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.002>

Fátima, R.T. de; Jesus, E.G. de; Guerrero, A.C.; Rocha, J.L.A.; Brito, M.E.B. Crescimento e trocas gasosas em alface cultivada sob regimes hídricos e adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, n.3, p.2683-2691, 2018. [10.7127/rbai.v12n300854](https://doi.org/10.7127/rbai.v12n300854)

Furlani, P.R.; Silveira, L.C.P.; Bolonhezi, D.; Faquin, V. Cultivo hidropônico de plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico, 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm. Acesso em: 5 ago. 2020.

Geisenhoff, L.O.; Jordan, R.A.; Santos, R.C.; Oliveira, R.C. de; Gomes, E.P. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. *Engenharia Agrícola*, v.36, n.2, p.291-299, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p291-299/2016>

Gualberto, Ronan, Resende, Francisco Vilela, & Braz, Leila Trevizan. Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico 'NFT' em três diferentes espaçamentos. *Horticultura Brasileira*, v.17, n.2, p.155-158, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0102-05361999000200016>

Inoue, L.A.K.A.; Silva, T.S. de C.; Lima Filho, O.F. de. Aquaponia. *In: Pezarico, C.R.; Retore, M. (Ed.). Tecnologias para a agricultura familiar. 3.ed. rev. e atual. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018, p.157-160. (Documentos 122). Disponível em: <https://document.onl/documents/tecnologias-para-a-agricultura-familiar-irrigacao-na-agricultura-familiar.html>. Acesso em: 2 ago. 2020.*

Jordan, R.A.; Geisenhoff, L.O.; Oliveira, F.C.; Santos, R.C.; Martins, E.A.S. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.8, p.27-31, 2018b. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p525-529>

Jordan, R.A.; Ribeiro, E.F.; Oliveira, F.C. de; Geisenhoff, L.O.; Martins, E.A.S. Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.8, p.525-529, 2018a. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p525-529>

Kano, C.; Cardoso, A.I.I.; Villas Boas, R.L. Acúmulo de nutrientes e resposta da alface à adubação fosfatada. *Revista Biotemas*, v.25, n.3, p.39-47, 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n3p39>

Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Berlin, Stuttgart: Meteorologische Zeitschrift, v.15, n.3, p.259-263, 2006.

Lana, R.M.Q.; Zanão Junior, L.A.; Luz, J.M.Q.; Silva, J.C. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, v.22, n.3, p.525-528, 2004.

Martins, C.M.; Medeiros, J.F. de.; Lopes, W. de A.R.; Braga, D.F.; Amorim, L.B. de. Curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica. *Revista Caatinga*, v.22, n.4, p.123-128, 2009.

Martins, C.I.M.; Eding, E.H.; Verdegem, M.C.J.; Heinsbroek, L.T.N.; Schneider, O.; Blancheton, J.P.; Roque d'Orbcastel, E.; Verreth, J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability/ *Aquacultural Engineering -The Foundation for Science and Technology*, Portugal, v. 43, p. 83-93, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>

Paulus, D.; Dourado Neto, D.; Soares, T.M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. *Horticultura Brasileira*, v.28, n.1, p.29-35, 2010.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362010000100006>

Queiroz, J.F. de; Freato, T.A.; Luiz, A.J.B.; Ishikawa, M.M.; Friguetto, R.T.S. Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia. 1.ed. eletrônica, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017, 29p. (Documentos 113)

Roosta, H.R.; Afsharipour, S. Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysio local trait sand nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Advances in Environmental Biology*, v.6, n.2, 2012.
<https://pdfs.semanticscholar.org/3103/f53bf4f771a4bf66b7b6889cdd981e678e80.pdf>

Schmautz, Z.; Loeu, F.; Liebisch, F.; Graber, A.; Mathis, A.; Griessler Bulc, T.; Junge, R. Tomato productivity and quality in aquaponics: comparison of three hydroponic methods. *Water*, v.8, n.11, 533, p.1-21, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8110533>

Shalhevet, J.; Huck, M.G.; Schroeder, B.P. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. *Agronomy Journal*, v.87, p.512-516, 1995.
<https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030019x>

Silva, F.C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. SILVA, F.C. da (org.). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999, 370p.

Sirakov, I.; Velichkova, S.; Stoyanova, S.; Lavcheva-Sirakova, D.; Staykov, Y. Comparison between two production technologies and two types of substrates in an experimental aquaponic recirculation system. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, v.6, p.98-103, 2017. <http://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2017/Art17.pdf>

Sobreira Filho, M.G. Manual de cultivo das hortaliças em horta doméstica, educativa e comunitária. Recife: [s.e.], 2012. 84p.

Somerville, C.; Cohen, M.; Pantanella, E.; Stankus, A.; Lovatelli, A. Small-scale aquaponic food production. *Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper n.589*. Rome, FAO, 2014. 262p.

Van Rijn, J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, v.53, p.49-56, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010>

Vasconcelos, L.S.B. de; Bezerra Neto, E.; Nascimento, C.W.A. do; Barreto, L.P. Desenvolvimento de plantas de coentro em função da força iônica da solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.19, n.1, p.11-19, 2014.
<https://doi.org/10.12661/pap.2014.003>

4 CONCLUSÃO GERAL

Nas condições em que foi realizada a pesquisa, águas residuárias provenientes da dieta alimentar da tilápia, com 18% de proteína bruta, foi a que melhor atendeu as necessidades nutricionais da alface.

As declividades influenciaram no tempo de contato do sistema radicular com a solução nutritiva e, conseqüentemente, na absorção, acúmulo de nutrientes e desenvolvimento de plantas de alface.

Os sistemas aquapônicos, utilizando a técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT), são promissores, em virtude da ciclagem de nutrientes e alta eficiência no uso da água.

Dada a complexidade dos sistemas aquapônicos, são necessárias futuras pesquisas sobre o tema, no que se refere aos parâmetros da água, como pH, condutividade elétrica, temperatura, teor de oxigênio e nutrientes. Também são fundamentais os estudos sobre população e crescimento de peixes e de plantas, consumo de ração, vazão e tempo de escoamento da solução nutritiva e melhor aproveitamento das águas residuárias.