



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

LETÍCIA ANDRADE CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FERRO PARA PRODUÇÃO DE
CULTIVARES DE ALFACE EM SISTEMA AQUAPÔNICO COM TILÁPIA DO NILO**

FORTALEZA

2023

LETÍCIA ANDRADE CAVALCANTE

AVALIAÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FERRO PARA PRODUÇÃO DE
CULTIVARES DE ALFACE EM SISTEMA AQUAPÔNICO COM TILÁPIA DO NILO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C364a Cavalcante, Leticia Andrade.

Avaliação da suplementação de ferro para produção de cultivares de alface em sistema aquapônico com tilápia do Nilo / Leticia Andrade Cavalcante. – 2023.

57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

1. Aquaponia. 2. Oreochromis niloticus. 3. Lactuca sativa. 4. BRS Leila. 5. Luminosa. I. Título.

CDD 639.2

LETÍCIA ANDRADE CAVALCANTE

AVALIAÇÃO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FERRO PARA PRODUÇÃO DE
CULTIVARES DE ALFACE EM SISTEMA AQUAPÔNICO COM TILÁPIA DO NILO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Pesca do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Pesca.

Aprovado em 05/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Daniele Ferreira Marques
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Suzete Roberta da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Nira e Assis.

A minha vó Deinha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por todo discernimento, sabedoria e força. Aos meus pais Maria Luzanira (Nira) e Francisco de Assis por terem me proporcionado os estudos, por serem meu porto seguro, pelo amparo, por todo apoio e esforço que fazem por mim até hoje. Ao meu irmão Hiury por sempre me apoiar, incentivar e pelos risos. A minha vó Maria Ódelia (Deinha) por sempre me incentivar em tudo, pelo cuidado e por estar presente. Aos meus avós Maria Margarida e Antônio Moreira e as minhas tias Adriana e Fabiana pelo cuidado. E a todos da minha família.

Ao meu namorado Dyjhorg Lucas por me apoiar, por me ajudar na pesquisa, por me distrair nas horas do cansaço e pelo companheirismo.

Às minhas amigas de graduação Jessica Leite, Juliana Maia e Maria Leonília, por todos esses anos de curso, por terem feito a graduação ser mais leve e por todo companheirismo. E a todos amigos de graduação que foram importantes nesses anos de curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto por todos ensinamentos, pela paciência e pelos anos de orientação na Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa.

Aos membros da minha banca, em especial, Prof.^a Dra. Daniele Ferreira Marques, por ser crucial na execução do trabalho, por acompanhar desde o início até a finalização me orientando, por todos ensinamentos, pelo tempo dedicado às correções deste trabalho e pela paciência.

À Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa que contribuiu na minha graduação e por conceder o material necessário para execução deste trabalho. À minha equipe, Heloisa Campelo e Rakner de Sousa por toda ajuda prestada nas atividades realizadas desta pesquisa. A todos integrantes da estação que ajudaram na realização desta pesquisa, Adalberto Paz, Caio Vinícius, Daniel Maia, Dyjhorg Lucas, Emerson Forte, Gabriel Rodrigues, Igor Raul, Jonnathan Wenderson, Kimberlly Niccoli, Lucas Batalha e Paulo Henrique. Aos vigilantes da Estação de Aquicultura, em especial, Francisco Eugênio, por toda atenção ao sistema e pelos momentos de distração.

Ao Programa de Educação Tutorial da Engenharia de Pesca (UFC) e a todos os membros por toda a contribuição na minha graduação, pelos ensinamentos e momentos de ajuda durante a realização da pesquisa.

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a suplementação de ferro em sistema aquapônico para criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e cultivo de alface (*Lactuca sativa*), variedades verde (BRS Leila) e roxa (Luminosa) em dois tratamentos: com suplementação de ferro (CF) e sem suplementação de ferro (SF). A suplementação de ferro foi realizada com ferro quelado EDDHA mantendo a concentração no valor de 2 mg/L. A pesquisa foi realizada na Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa da Universidade Federal do Ceará (UFC). O experimento foi conduzido em dois sistemas aquapônicos independentes. Cada sistema foi composto por três tanques de alvenaria (repetições), quatro calhas hidropônicas, um decantador, um filtro mecânico pressurizado, um reator biológico, um desgaseificador e sistema de aeração. Em cada tanque foram estocados 100 peixes, com peso médio de aproximadamente 25 g, totalizando 300 indivíduos por tratamento. A bancada hidropônica de cada tratamento foi composta por 75 alfaces verdes (BRS Leila) e 25 alfaces roxas (Luminosa). Foram mensurados diariamente a temperatura, o oxigênio dissolvido e o pH. A alcalinidade total, o nitrogênio amoniacal total e o nitrito foram avaliados a cada cinco dias. A análise estatística dos dados foi realizada aplicando o teste *t* de Student (amostras independentes), utilizando o Programa BioEstat (versão 5.3), ao nível de significância de 5%. Ao final do período experimental (46 dias) foram produzidas tilápias do Nilo com peso médio de aproximadamente 150 g. Para os parâmetros de desempenho zootécnico, foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) no comprimento total final, fator de condição alométrico e taxa de crescimento específico. Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para todos os parâmetros de desempenho fitotécnico avaliados, exceto o número de folhas defeituosas, em ambas as variedades de alfaces testadas. Com exceção do nitrito, os parâmetros de qualidade da água avaliados mantiveram-se adequados ao desenvolvimento da tilápia do Nilo. A análise dos dados permitiu concluir que a suplementação com ferro é essencial para o bom desenvolvimento de ambas as variedades de alface testadas, sem comprometer o desenvolvimento dos peixes.

Palavras-chave: aquaponia; *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*; BRS Leila; Luminosa.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate iron supplementation in an aquaponic system for raising Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and growing lettuce (*Lactuca sativa*), green (BRS Leila) and purple (Luminosa) varieties in two treatments: with supplementation iron (CF) and without iron supplementation (SF). Iron supplementation was carried out with EDDHA chelated iron, maintaining a concentration of 2 mg/L. The research was carried out at the Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa Aquaculture Station at the Federal University of Ceará (UFC). The experiment was conducted in two independent aquaponics systems. Each system was composed of three masonry tanks (repetitions), four hydroponic troughs, a decanter, a pressurized mechanical filter, a biological reactor, a degasser and an aeration system. 100 fish were stocked in each tank, with an average weight of approximately 25 g, totaling 300 individuals per treatment. The hydroponic bench for each treatment was composed of 75 green lettuces (BRS Leila) and 25 purple lettuces (Luminosa). Temperature, dissolved oxygen and pH were measured daily. Total alkalinity, total ammonia nitrogen and nitrite were evaluated every five days. Statistical analysis of the data was performed using the Student's *t* test (independent samples), using the BioEstat Program (version 5.3), at a significance level of 5%. At the end of the experimental period (46 days), Nile tilapia with an average weight of approximately 150 g were produced. A significant difference ($p < 0,05$) was observed for the zootechnical performance parameters evaluated for Nile tilapia of final total length, allometric condition factor and specific growth rate, the others did not show a significant difference ($p > 0,05$). A significant difference ($p < 0,05$) was observed for all phytotechnical performance parameters evaluated, except the number of defective leaves, in both lettuce varieties tested. With the exception of nitrite, the water quality parameters evaluated remained adequate for the development of Nile tilapia. Data analysis allowed us to conclude that iron supplementation is essential for the good development of both lettuce varieties tested, without compromising the development of the fish.

Keywords: aquaponics; *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*; BRS Leila; Luminous.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Influência do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Linha vermelha: pH operacional para sistemas hidropônicos. Linha azul: pH operacional para sistemas aquapônicos.	24
Figura 2 - Estação de Aquicultura Prof. Dr. Raimundo Saraiva da Costa.	26
Figura 3 - Unidades que compõem o sistema aquapônico tipo NFT da Estação de Aquicultura.	27
Figura 4 - Tanques retangulares de alvenaria revestidos com manta asfáltica e interligados por meio de sifões.	27
Figura 5 - Decantador com escovas filtrantes.	28
Figura 6 - Reator com mídias biológicas. A: tratamento com ferro (CF). B: tratamento sem ferro (SF).	28
Figura 7 - Calhas hidropônicas instaladas acima dos tanques dos peixes.	29
Figura 8 - Desenho esquemático do sistema aquapônico evidenciando a circulação de água entre as unidades.	29
Figura 9 - Aferição do comprimento total (cm) de um exemplar de tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) utilizando um paquímetro durante a realização da biometria.	31
Figura 10 - Aferição da massa (g) de um exemplar de tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) utilizando uma balança digital durante a realização da biometria.	31
Figura 11 - Semeadura de alface em espuma fenólica. A: variedade Luminosa. B: variedade BRS Leila.	33
Figura 12 - A: plântulas alocadas em copos plásticos perfurados. B: espaçamento entre plantas nas calhas hidropônicas.	34
Figura 13 - Aferição do diâmetro (cm) de um exemplar de alface (<i>L. sativa</i>) variedade Luminosa utilizando uma régua durante a realização da biometria.	35
Figura 14 - Aferição da altura (cm) de um exemplar de alface (<i>L. sativa</i>) variedade BRS Leila utilizando uma régua durante a realização da biometria.	35
Figura 15 - Aferição da massa fresca total (g) de um exemplar de alface (<i>L. sativa</i>) utilizando balança digital durante a realização da biometria. A: variedade BRS Leila. B: variedade Luminosa.	36
Figura 16 - Peso médio e comprimento total ao longo das biometrias da tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) criada em sistema aquapônico sem e com suplementação de ferro (SF e CF).	42

Figura 17 - Curva da relação comprimento x peso para tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) criadas em sistema aquapônico com alface (<i>L. sativa</i>), variedades BRS Leila e Luminosa, com e sem suplementação de ferro.	45
Figura 18 - Dias de cultivo da BRS Leila no tratamento com suplementação de ferro. A: folha da alface. B: massa fresca da raíz.	47
Figura 19 - Dias de cultivo da BRS Leila no tratamento sem suplementação de ferro. A: comprimento. B: diâmetro.	48
Figura 20 - Dias de cultivo da Luminosa no tratamento com suplementação de ferro. A: folhas da alface. B: massa fresca da raíz.	50
Figura 21 - Dias de cultivo da Luminosa no tratamento sem suplementação de ferro. A: comprimento. B: diâmetro.	51

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios (média \pm desvio padrão) da temperatura e do oxigênio dissolvido nos períodos da manhã e da tarde da água do sistema de criação de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com alface (*L. sativa*), variedades BRS Leila e Luminosa, com e sem suplementação de ferro 38
- Tabela 2 - Valores médios (média \pm desvio padrão) de alcalinidade total, amônia não-ionizada, nitrito, nitrogênio amoniacal total e potencial hidrogeniônico (pH) da água do sistema aquapônico com cultivo de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) e alface (*L. sativa*), variedades BRS Leila e Luminosa, com e sem suplementação de ferro 40
- Tabela 3 - Valores médios (média \pm desvio padrão) do peso médio inicial (PMi), do peso médio final (PMf), do comprimento total inicial (CMi), do comprimento total final (CMf), da densidade inicial (Di), da densidade final (Df), da biomassa total inicial (BMTi), da biomassa total final (BMTf), do ganho de peso médio diário (GPMD), do ganho de biomassa (GBM), do fator de conversão alimentar (FCA), do fator de condição alométrico (Kn), da taxa de crescimento específico (TCE) e da sobrevivência (S) da tilápia do Nilo (*O. niloticus*) cultivada com alface (*L. sativa*), em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro 43
- Tabela 4 - Valores médios (média \pm desvio padrão) da altura da planta (AP), do diâmetro da cabeça (DC), da massa fresca total (MFT), da massa fresca da parte aérea (MFPA), da massa fresca da raiz (MFR), da massa fresca das folhas (MFF), do número de folhas (NF) e do número de folhas com defeito (NFD) da alface (*L. sativa*), variedade BRS Leila, cultivada com tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro 46
- Tabela 5 - Valores médios (média \pm desvio padrão) da altura da planta (AP), do diâmetro da cabeça (DC), da massa fresca total (MFT), da massa fresca da parte aérea (MFPA), da massa fresca da raiz (MFR), da massa fresca das folhas (MFF), do número de folhas (NF) e do número de folhas com defeito (NFD) da alface (*L. sativa*), variedade Luminosa, cultivada com

tilápia do Nilo (*O. niloticus*), em sistema aquapônico com e sem
suplementação de ferro 49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Sistema de recirculação de água (SRA)	16
2.2 Aquaponia	19
2.2.1 Espécies de peixes	20
2.2.2 Espécies de plantas	21
2.2.2.1 Nutrientes	22
2.2.3.1 Ferro	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Local e período de realização do experimento	26
3.2 Delineamento e descrição do sistema aquapônico experimental	26
3.3 Desempenho zootécnico da Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	30
3.4 Desempenho fitotécnico das alfaces (<i>Lactuca sativa</i>)	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Qualidade de água	38
4.2 Desempenho zootécnico da tilápia do Nilo	41
4.3 Desempenho fitotécnico das alfaces	45
5 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O consumo *per capita* de pescado aumentou ao longo das décadas passando de 14,3 kg em 1990 para 20,2 kg em 2020. Diante disso, o mercado teve que se adequar e atender a demanda de consumo, o que alavancou um aumento de pescado originário da pesca e da aquicultura. No entanto, foi notado pouco crescimento da pesca nas últimas décadas, tendo seu ápice em 2018 e ocorrendo declínio em 2019 e 2020. Por outro lado, a aquicultura teve crescimento contínuo, contribuindo para atender à demanda mundial por pescado (FAO, 2022).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2022), a aquicultura mundial atingiu um volume de 122,6 milhões de toneladas no ano de 2020. Esse dado abrange a produção de peixes, crustáceos, moluscos, algas e outros animais aquáticos provindos de águas marinhas, costeiras e continentais, para uso alimentar ou não. Com relação aos peixes cultivados em águas interiores, foram produzidas 49,1 milhões de toneladas, onde a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi a terceira espécie mais produzida no mundo (4,4 milhões de toneladas).

A tilápia do Nilo é o peixe de água doce mais cultivado no Brasil, representando 63,9% da produção nacional (550.060 toneladas). De acordo com o anuário 2023, publicado pela Associação Brasileira da Piscicultura, o Nordeste produziu no ano de 2022 cerca de 170.065 toneladas de peixes e foi a região que teve crescimento mais expressivo na produção. Nesse cenário, o estado do Ceará encontra-se na vigésima posição do *ranking* nacional, com uma produção de 6.860 toneladas de peixes, sendo a maior parte oriunda da tilapicultura (6.800 toneladas) (PEIXE BR, 2023).

O Ceará já teve visibilidade nacional na piscicultura, tendo destaque na produção de tilápia do Nilo em tanques-rede. Entretanto, o baixo regime de chuvas dos últimos anos e a consequente redução do volume de água nos reservatórios, comprometeram a produção de pescado no estado (PEIXE BR, 2016, 2018). Diante desse cenário de declínio na produção de peixes, devido à escassez de água, torna-se imprescindível a adoção de sistemas que priorizem o melhor aproveitamento da água. Sistemas estes, que possibilitem o máximo de produção de peixes no menor volume de água

possível e que assegurem a manutenção da atividade, não apenas no Ceará, mas em todo o Brasil. Como exemplo de sistemas que visam à manutenção da qualidade da água, a sustentabilidade do cultivo e a preservação dos recursos hídricos, têm a aquaponia (PEIXE BR, 2018).

A aquaponia é um sistema fechado de recirculação de água, no qual existe a integração entre a produção de animais aquáticos (aquicultura) e plantas hidropônicas. Nesse sistema integrado, a maioria dos nutrientes necessários para o crescimento das plantas é proveniente dos resíduos derivados da alimentação dos peixes (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006). Os benefícios da aquaponia são: a) sistema de produção alimentar sustentável e intensivo; b) dois produtos agrícolas (peixe e vegetais) são produzidos a partir de uma fonte de nitrogênio (alimentação animal); c) extremamente eficiente no uso da água; d) não utiliza pesticidas/herbicidas; e) maior controle da produção levando a menores perdas; e f) pode ser usado em terras não aráveis, como desertos, solos degradados ou ilhas arenosas e salgadas (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

No sistema aquapônico a água proveniente da criação de peixes, rica em nutrientes, é utilizada para o desenvolvimento das plantas. Para o máximo crescimento, as plantas requerem 16 elementos essenciais, sendo categorizados em macro e micronutrientes (HAGER *et al.*, 2021). De acordo com Faquin (2005), a diferença entre macro e micronutrientes é a concentração exigida pelas plantas, onde os macronutrientes são aqueles que precisam estar em concentrações de 10 a 5.000 vezes superior à dos micronutrientes. Nos sistemas aquapônicos, a alimentação dos peixes não fornece quantidades adequadas de todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos vegetais e devem, sempre que necessário, ser suplementados. Os nutrientes comumente limitantes na aquaponia são o cálcio, o potássio e o ferro (RAKOCY, 2007).

O ferro (Fe) é um dos micronutrientes essenciais para o desenvolvimento dos vegetais, sendo componente de uma série de enzimas que ocorrem no metabolismo da planta, inclusive age na síntese da molécula da clorofila (FAQUIN, 2005; BRANDÃO FILHO, 2018). Na aquaponia, o ferro está comumente presente na água de duas formas: ferro ferroso (Fe^{2+}) e ferro férrico (Fe^{3+}). O Fe^{2+} é solúvel e está disponível para a absorção pelas

raízes das plantas. Entretanto, em ambientes aeróbicos e em pH neutro a alcalino, o Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} tornando-se insolúvel e limitando o aproveitamento pelos vegetais (BARTELME *et al.*, 2018).

Os sistemas aquapônicos são frequentemente deficientes em ferro devido às baixas quantidades deste elemento nas rações comerciais para peixes (CANASTRA, 2017; KASOZI *et al.*, 2019). A absorção insuficiente de ferro leva a sintomas de deficiência, como clorose internerval nas folhas e margens foliares distorcidas, o que compromete a qualidade e a produtividade da colheita (HAGER *et al.*, 2021). Dessa forma, otimizar a produção vegetal pode exigir a suplementação de ferro.

Os níveis ideais de ferro para a produção de vegetais em sistemas aquapônicos ainda não estão bem estabelecidos. Há um déficit de estudos sobre a adição de ferro nesses sistemas e sua influência no desenvolvimento não apenas das plantas, mas também dos peixes. De modo geral, manter concentrações de ferro em 2 mg/L otimiza o desenvolvimento das hortaliças (RAKOCY, 2004; HAGER *et al.*, 2021). Essa suplementação é feita frequentemente usando diferentes tipos de quelatos de ferro e requer uma gestão equilibrada para evitar desperdícios e manter o ambiente de cultivo saudável.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a suplementação de quelato de ferro para produção de cultivares de alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Especificamente, avaliar: a) o desempenho zootécnico dos peixes; b) o desempenho fitotécnico das cultivares de alface (verde e roxa); e c) os parâmetros de qualidade de água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de recirculação de água (SRA)

Os sistemas de recirculação de água são sistemas sustentáveis projetados para suportar grandes adensamentos de peixes, nos quais o tratamento da água é feito de forma contínua afim de reutilizá-la (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006; ESPINAL; MATULIÉ, 2019). A água que entra no sistema é para repor a que foi perdida por processos de tratamento ou evaporação. Essa perda deve ser em torno de 5% do volume total do sistema por dia (CREPALDI *et al.*, 2006). Várias são as vantagens do SRA, as quais se destacam: a) utilizam de 90 a 99% menos água do que os sistemas convencionais de aquicultura, sendo considerado um dos métodos mais sustentáveis de produção; b) conservam água por meio do reuso desta; c) maior produção por unidade de área e por unidade de trabalhador e; d) produtos mais frescos, seguros e produzidos localmente (EBELING; TIMMONS, 2012).

Os componentes básicos de um SRA são: tanques de cultivo, decantador e filtro mecânico, reator biológico, sistema de aeração/oxigenação, sistema de bombas e tubulações de drenagem e retorno, e unidade de quarentena (KUBITZA, 2006).

Os tanques de cultivo podem ser feitos de diversos materiais, tais como: polietileno, fibra de vidro, módulos de aço galvanizado ou concreto (EBELING; TIMMONS, 2012). Além de apresentarem diversos formatos e *design*, como os tanques circulares e octogonais, que são os mais comuns e facilitam a concentração dos resíduos sólidos no dreno central, e os tanques retangulares ou ovais, que possibilitam um melhor aproveitamento do espaço comparado aos tanques circulares (KUBITZA, 2006). Uma das regras mais importantes para o SRA é que os sólidos precisam ser removidos do tanque da forma mais rápida e eficiente possível para reduzir o impacto dos sólidos na qualidade da água (EBELING; TIMMONS, 2012).

Decantadores e filtros mecânicos são responsáveis por reter os sólidos da água. Esses sólidos são gerados a partir das fezes dos peixes, alimentação não consumida e organismos que crescem no sistema como

algas, bactérias e fungos (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006). Os decantadores removem partículas sólidas decantáveis maiores que 100 μm . Já os filtros mecânicos concentram e removem os sólidos em suspensão, que são partículas entre 40 e 100 μm , e o fracionador de espuma retém e remove do sistema sólidos dissolvidos (partículas menores que 40 μm) (KUBITZA, 2006). Os dispositivos de remoção de sólidos variam em relação à eficiência, tempo de retenção de sólidos, características do efluente (tanto resíduos sólidos quanto água tratada) e taxa de consumo de água (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006).

O reator biológico, também conhecido como biofiltro ou filtro biológico, é um componente essencial de um SRA. Normalmente é um tanque que contém estruturas (mídias biológicas) que servem de substrato para o crescimento de bactérias nitrificantes (THORARINSDOTTIR, 2015). Estas bactérias (*Nitrossomonas*, *Nitrobacter* etc.) são responsáveis pelo processo de nitrificação, onde a amônia é oxidada em nitrito e o nitrito é oxidado e transformado em nitrato (KUBITZA, 2006; EBELING; TIMMONS, 2012). A amônia e o nitrito são compostos nitrogenados tóxicos que podem colocar em risco o desempenho, a saúde e a sobrevivência dos organismos cultivados (SÁ, 2012). Dessa forma, devem ser monitorados rotineiramente para evitar níveis letais (THORARINSDOTTIR, 2015).

O processo de nitrificação é a principal razão de economia de água em SRAs, já que evita o descarte e reabastecimento desta por manter as concentrações de amônia abaixo dos limites tóxicos para os peixes (THORARINSDOTTIR, 2015). As bactérias responsáveis por esse processo necessitam de uma grande área superficial para que possam se desenvolver (EBELING; TIMMONS, 2012; THORARINSDOTTIR, 2015; HAGER *et al.*, 2021). As mídias usadas nos reatores biológicos devem ser inertes, não compressíveis e não biologicamente degradáveis (EBELING; TIMMONS, 2012). Os meios típicos usados são areia ou alguma forma de material plástico ou cerâmico em forma de pequenas esferas ou anéis (EBELING; TIMMONS, 2012). Projetos típicos de reatores biológicos para SRA consistem em uma caixa, tanque, cilindro ou gaiola preenchidos com mídias biológicas (KUBITZA, 2006).

Outro fator chave em um sistema de recirculação aquícola é o suprimento adequado de oxigênio dissolvido. Este pode ser incorporado na água por meio de oxigenação ou aeração. A oxigenação é o ato de incorporar oxigênio puro, que é utilizado para aumentar a taxa de transferência e produzir concentrações supersaturadas de oxigênio. Já a aeração é quando o ar entra em contato com a água, seja borbulhando ar através da água ou forçando pequenas gotas de água através do ar (EBELING; TIMMONS, 2012). O controle do oxigênio dissolvido nos SRAs modernos visa aumentar a eficiência da transferência de oxigênio e diminuir as necessidades de energia deste processo (ESPINAL; MATULIÉ, 2019). O sistema de aeração/oxigenação é composto por sopradores de ar e difusores, aeradores mecânicos de diversos tipos (aeradores de pá ou bombas de água), injeção direta de gás oxigênio ou mesmo uma combinação entre dois ou mais tipos de aeração/oxigenação (KUBITZA, 2006). Ademais, outros gases dissolvidos na água de criação podem afetar o bem-estar dos peixes se não forem controlados, como por exemplo, o dióxido de carbono (CO_2) que é um produto originado da respiração de peixes e bactérias (ESPINAL; MATULIÉ, 2019). Em baixas densidades de estocagem, o dióxido de carbono é removido pela agitação física e exposição da água ao ar, entretanto, em sistemas intensivos, o CO_2 é muitas vezes um fator limitante da densidade populacional (EBELING; TIMMONS, 2012).

Os sistemas de bombas, tubulações de drenagem e retorno são necessários para levar e retornar a água no sistema de recirculação. O dimensionamento de bombas e tubulações deve ser feito por profissionais com bom conhecimento em hidráulica, para evitar sub ou superdimensionamentos no sistema hidráulico do empreendimento (KUBITZA, 2006).

A unidade de quarentena é uma estrutura destinada à recepção de novos peixes que chegam ao empreendimento. Os peixes ficam em observação durante algumas semanas para se certificar de que estão livres de organismos patogênicos (KUBITZA, 2006). Na quarentena podem ser tratados profilaticamente contra parasitas externos usando sal, formalina, permanganato de potássio, dentre outros—(HAGER *et al.*, 2021). Esta unidade deve ser fisicamente separada da unidade de produção, e contar

com seus próprios tanques, filtros, reatores, sistema hidráulico e equipamentos de aeração (KUBITZA, 2006).

Os componentes e os princípios adotados nos sistemas de recirculação de água, tais como remoção de sólidos e tratamento biológico, são utilizados na execução dos projetos de aquaponia.

2.2 Aquaponia

A aquaponia foi desenvolvida a partir do acúmulo benéfico de nutrientes que ocorre nos SRAs (SOMERVILLE *et al.*, 2014). É um sistema autossustentável de produção de alimentos, que combina a aquicultura recirculante com a cultura de plantas na ausência de solo (hidroponia). A produção de peixes em grande volume resulta em água rica em nutrientes que pode ser usada para o cultivo de plantas (HAGER *et al.*, 2021). Os sistemas aquapônicos recirculam e reciclam a água e nutrientes por meio de processos simbióticos, minimizando o descarte de efluentes (THORARINSDOTTIR, 2015). Nesse tipo de sistema, podem ser utilizados diferentes modelos de componentes hidropônicos para o cultivo dos vegetais: a) o *Deep Water Culture* (DWC), também conhecido como *floating* ou cultivo em bandejas flutuantes; b) o *Media-filled bed*, *gravel bed* ou cultivo em substrato e; c) o *Nutrient Film Technique* (NFT) ou fluxo laminar de nutrientes (CANASTRA, 2017).

No sistema DWC os leitos hidropônicos geralmente têm 30 cm de profundidade, o que demanda um maior volume de água. Nestes leitos, as plantas ficam apoiadas em placas de poliestireno, em orifícios espaçados entre si, com suas raízes permanentemente submersas na água (THORARINSDOTTIR, 2015; CANASTRA, 2017). Esse sistema permite uma melhor absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas e minimiza oscilações na temperatura da água. Uma interrupção no bombeamento não afeta o abastecimento de água para as plantas, como acontece nos sistemas que utilizam substrato ou NFT (RAKOCY, 2012).

O cultivo em substrato pode ser feito utilizando diferentes componentes inertes, tais como cascalho, argila expandida ou pedra-pomes. Este sistema baseia-se em regimes de inundação e drenagem, sendo

comum na produção aquapônica de pequena escala. A utilização de substratos permite que estes atuem como meio para a fixação de bactérias nitrificantes, dispensando a necessidade de um reator biológico separado. Entretanto, o substrato pode atuar como meio filtrante de sólidos e acabar colmatando. A colmatção pode resultar em redução na circulação de água, juntamente com a ocorrência de decomposição da matéria orgânica, o que leva à formação de zonas anaeróbicas e prejudica as raízes das plantas (RAKOCY, 2012; THORARINSDOTTIR, 2015).

O sistema NFT baseia-se no cultivo de plantas em canaletas de PVC (canais de plástico longos e estreitos), por onde uma fina película de água flui continuamente. A lâmina de água irriga as raízes das plantas, fornecendo oxigênio e os nutrientes necessários ao desenvolvimento (RAKOCY, 2012; THORARINSDOTTIR, 2015). Nos sistemas aquapônicos que utilizam o NFT, os resíduos sólidos presentes na água, provenientes dos tanques de produção dos peixes, têm de passar por um sistema de filtragem antes de entrar na produção de vegetais (CANASTRA, 2017). Isso evita o acúmulo excessivo de sólidos nas raízes, o que pode prejudicá-las e levar ao fraco crescimento das plantas (RAKOCY, 2012). O NFT é uma técnica que requer um menor volume de água, sendo bastante utilizado em sistemas comerciais por apresentar design simples e facilidade de operação. Neste sistema é comum a produção de hortaliças folhosas, que apresentam alta rotatividade e boa demanda no mercado consumidor (THORARINSDOTTIR, 2015).

2.2.1 Espécies de peixes

A produção piscícola permite a variação das espécies, de acordo com o respectivo desenho do sistema e mercados locais (PALM *et al.*, 2019). Na aquaponia, as espécies mais adequadas são as tolerantes à altas densidades de estocagem e ao manejo frequente (CANASTRA, 2017). As espécies comumente utilizadas são: carpas, robalos, trutas, bagres, peixes ornamentais, tilápias, dentre outros (RAKOCY, 2012; SOMERVILLE *et al.*, 2014). Outros organismos aquáticos, como camarões e lagostins, também foram introduzidos na produção aquapônica (PALM *et al.*, 2019). Entretanto,

a espécie mais produzida e bem-sucedida na aquaponia é a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (THORARINSDOTTIR, 2015; HAGER *et al.*, 2021).

A tilápia do Nilo (*O. niloticus*) é amplamente aceita no mercado consumidor (HAGER *et al.*, 2021). No ano de 2020, foi o terceiro peixe mais produzido no mundo (FAO, 2022) e, em 2022, teve novamente destaque no Brasil, ocupando a primeira colocação (PEIXE BR, 2023). Este sucesso na aquicultura pode ser atribuído a fatores como: resistência à patógenos, parasitas e ao estresse e; tolerância ao adensamento e a baixa qualidade de água (SOMERVILLE *et al.*, 2014; HAGER *et al.*, 2021). Embora sejam mais resistentes que grande parte dos peixes cultivados, as tilápias devem ser mantidas em boas condições de qualidade de água para que o seu crescimento seja rápido, tenham uma conversão alimentar eficiente e sejam resistentes a agentes patogênicos (CANASTRA, 2017).

Dalsgaard *et al.* (2013), relatam algumas condições para a criação de tilápia do Nilo em sistemas de recirculação: temperatura entre 20 a 30 °C; oxigênio dissolvido (OD) de 4 a 6 mg/L; nitrogênio amoniacal total (NAT) menor que 3,0 mg/L; pH de 6,5 a 8,5; nitrito (NO₂-N) entre 0,05 a 1,00 mg/L; nitrato (NO₃-N) entre 100 a 200 mg/L e; densidade de estocagem de 85 a 120 kg/m³.

Hager *et al.* (2021), indicam alguns aspectos a serem considerados na produção de tilápia do Nilo em sistemas aquapônicos, tais como: a temperatura entre 25 a 30 °C; o OD maior que 4,0 mg/L; o NAT menor que 2,0 mg/L; valores de nitrito menores que 1,0 mg/L; a proteína bruta da ração entre 28 a 32% (a depender da fase de criação) e; crescimento de 600 gramas entre 6 a 8 meses de cultivo.

2.2.2 Espécies de plantas

A seleção de plantas tem como prioridade as preferências do mercado alvo, uma vez que é possível desenhar o sistema de aquaponia para produzir praticamente qualquer vegetal, incluindo os de porte médio (CANASTRA, 2017). Contudo, o objetivo é selecionar uma cultura vegetal que gere o nível mais elevado de rendimento por unidade de área, no menor intervalo de tempo (RAKOCY, 2012). As plantas exigem condições ideais

para que expressem o seu máximo desenvolvimento. Luz, oxigênio, dióxido de carbono, pH, temperatura e nutrientes são alguns dos parâmetros essenciais que, quando adequados, garantem um crescimento rápido e saudável (THORARINSDOTTIR, 2015).

Os sistemas aquapônicos possibilitam produzir uma grande variedade de plantas, desde hortaliças, ervas e plantas frutíferas até o cultivo de flores. Entretanto, a alface é uma das hortaliças mais cultivadas neste sistema, já que pode ser produzida em um curto período e, conseqüentemente, está menos sujeita a pragas (RAKOCY, 2012). O mercado possui inúmeras variedades de sementes, o que permite que a alface possa ser cultivada em todas as estações do ano, devido ao melhoramento genético (HENZ; SUINAGA, 2009). Isto juntamente com a apreciação do mercado consumidor brasileiro fez com que a produção brasileira dessa hortaliça em 2017 fosse cerca de 671.509 toneladas (IBGE, 2017).

A alface pode apresentar variações com base na formação de cabeça, com ou sem cabeça; tipo de folhas, lisa e crespa; cor, verde ou roxa; e textura, macia ou dura (HENZ; SUINAGA, 2009). A variedade BRS Leila é caracterizada pela coloração verde-oliva brilhante, bons níveis de resistência ao nematoide-das-galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*), resistência a algumas variantes do vírus do mosaico e grande tolerância ao pendoamento provocado pelo calor (EMBRAPA, 2017). A cultivar Luminosa apresenta coloração intensa, tamanho grande, alta adaptabilidade, folhagem vigorosa, folhas grandes e indicado o plantio o ano todo (AGRISTAR, 2023).

2.2.2.1 Nutrientes

As plantas requerem 16 elementos essenciais, divididos em nutrientes: a) estruturais - carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O); b) macronutrientes - nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) e; c) micronutrientes - ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), molibdênio (Mo), cobre (Cu), zinco (Zn) e cloro (Cl) (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006; HAGER *et al.*, 2021). Esses nutrientes são necessários para a fotossíntese, o crescimento e a

reprodução das plantas (SOMERVILLE *et al.*, 2014). Em sistemas aquapônicos a alimentação dos peixes é responsável por fornecer os nutrientes para as plantas, no entanto, alguns destes são insuficientes: Ca, K e Fe (RAKOCY, 2007; SOMERVILLE *et al.*, 2014; HAGER *et al.*, 2021).

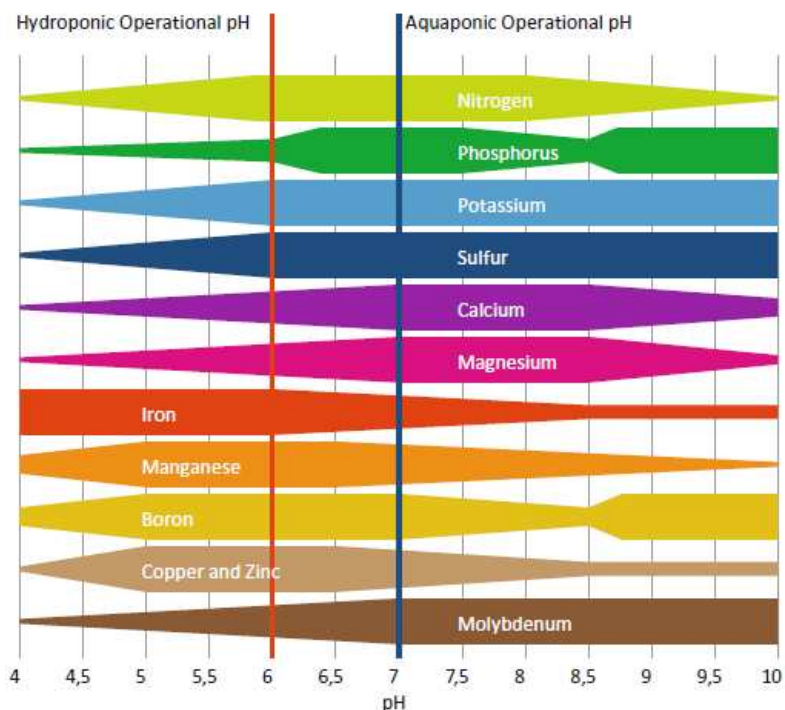
As culturas folhosas e ervas, tais como alface e manjeriço, requerem baixa demanda nutricional em comparação com plantas que produzem bulbos e frutas (tomate, morango *etc.*) (SOMERVILLE *et al.*, 2014). As folhosas têm exigência, principalmente, de fósforo, potássio e nitrogênio, sendo os dois primeiros os mais exigidos durante o cultivo e o último, mais requerido no final do ciclo produtivo (DOS SANTOS; PINTO; DE FREITAS, 2022).

A disponibilidade dos nutrientes está diretamente relacionada às condições de qualidade da água, principalmente o pH. O pH é um importante parâmetro para os vegetais, tanto em sistemas hidropônicos como aquapônicos (SOMERVILLE *et al.*, 2014). Existe uma relação entre os valores de pH e o acesso das plantas aos nutrientes (FIGURA 1). Os macros e micronutrientes estão mais disponíveis para as plantas em pH entre 6,0 – 6,5. Valores fora desse intervalo fazem com que certos nutrientes tenham baixa disponibilidade, como por exemplo o ferro, que tem sua disponibilidade afetada em pH acima de 7,5 (KASOZI *et al.*, 2019).

2.2.3.1 Ferro

O ferro é um dos micronutrientes essenciais para o desenvolvimento dos vegetais. Usado nos cloroplastos e na cadeia de transporte de elétrons é fundamental para uma fotossíntese adequada (SOMERVILLE *et al.*, 2014). Na aquaponia, a baixa quantidade deste elemento nas rações comerciais para peixes, o torna insuficiente para a produção hidropônica de vegetais. As deficiências de ferro são vistas como amarelecimento internerval, seguindo por toda a folhagem tornando-se amarela pálida (clorótica) e eventualmente branca com manchas necróticas e margens distorcidas (SOMERVILLE *et al.*, 2014). Como o Fe é um nutriente imóvel, os sintomas aparecerão nas folhas novas (HAGER *et al.*, 2021).

Figura 1 - Influência do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Linha vermelha: pH operacional para sistemas hidropônicos. Linha azul: pH operacional para sistemas aquapônicos.



Fonte: Lennard; Goddek, 2019.

Na aquaponia, o ferro está comumente presente na água de duas formas: ferro ferroso (Fe^{2+}) e ferro férrico (Fe^{3+}). O Fe^{2+} é solúvel e está disponível para a absorção pelas raízes das plantas. Entretanto, em ambientes aeróbicos e em pH neutro a alcalino, o Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} tornando-se insolúvel e limitando o aproveitamento pelos vegetais (BARTELME *et al.*, 2018). Há um déficit de estudos sobre a adição de ferro nesses sistemas e sua influência no desenvolvimento não apenas das plantas, mas também dos peixes. De forma geral, vários pesquisadores indicam a suplementação com Fe^{+2} quelato para que a concentração nos sistemas aquapônicos seja de 2,0 mg/L (RAKOCY, 2004; RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006; RAKOCY, 2012; SOMERVILLE *et al.*, 2014; HAGER *et al.*, 2021). A vantagem no uso do Fe^{+2} quelato, é que este possui um composto orgânico ligado ao íon metálico para evitar que ele precipite da solução e o torne indisponível para as plantas (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006).

Outra categoria de fertilizante que também pode ser utilizada para fazer a suplementação são os compostos inorgânicos de ferro. O ferro inorgânico na forma de sais, tais como sulfato de ferro (I), cloreto de ferro (II) e nitrato de ferro (III), podem ser utilizados via aplicação foliar para prevenir ou corrigir deficiências (KASOZI *et al.*, 2019). Entretanto, quelatos de ferro são os compostos mais utilizados na aquaponia.

Quelatos são compostos que estabilizam íons metálicos e os protegem da oxidação e da precipitação. A eficácia de um quelato depende, principalmente, da estabilidade, das características do meio e da capacidade de absorção da planta (LUCENA *et al.*, 1990). Os quelatos de ferro são sensíveis à luz, de modo que cultivos protegidos da radiação solar direta, favorecem a estabilidade do ferro na água. Vários quelatos têm sido utilizados na aquaponia. O Fe-EDDHA e o Fe-HBED são os mais comumente usados, pois mantêm a disponibilidade de ferro para as plantas em uma faixa mais ampla de pH e em valores considerados críticos (acima de 8,5) (KASOZI *et al.*, 2019).

É importante ressaltar que, independente do composto utilizado, a suplementação requer uma gestão equilibrada para evitar desperdícios e manter o ambiente de cultivo saudável para peixes, plantas e bactérias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e período de realização do experimento

A pesquisa foi realizada na Estação de Aquicultura Prof. Dr. Raimundo Saraiva da Costa, do Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará (UFC), no período de 31 de julho a 16 de setembro de 2023.

Figura 2 - Estação de Aquicultura Prof. Dr. Raimundo Saraiva da Costa.



Fonte: arquivo pessoal Dyjhorg Lucas Silva de Souza.

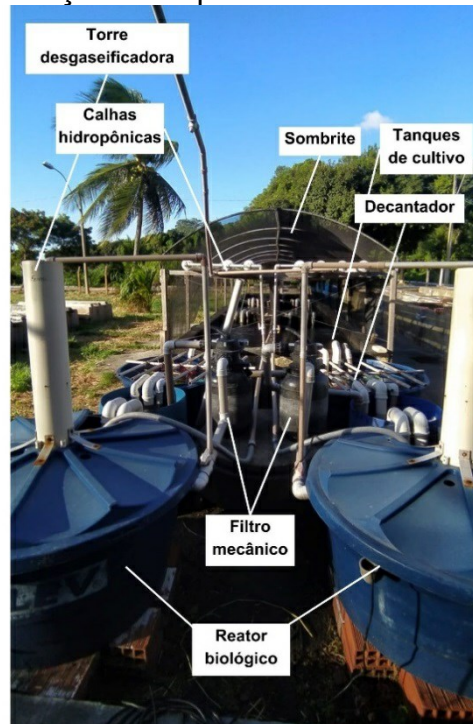
3.2 Delineamento e descrição do sistema aquapônico experimental

Foram avaliados dois tratamentos na produção integrada de tilápia do Nilo e alfaces em sistema aquapônico: 1) sem suplementação de ferro (SF) e; 2) suplementação com 2,0 mg de Fe^{2+}/L (CF). A suplementação foi feita diretamente na água do sistema utilizando quelato de ferro comercial (Fe 6% – EDDHA 50%).

O experimento foi realizado em dois sistemas aquapônicos independentes (FIGURA 3). Cada sistema (tratamento) contava com: três tanques retangulares de alvenaria (FIGURA 4) com aproximadamente 2,0 m³ (repetições); quatro calhas hidropônicas (componente hidropônico do tipo NFT); um decantador (500 L) com 15 escovas filtrantes (FIGURA 5); um filtro mecânico pressurizado ligado a uma bomba de 0,5 cv; um reservatório para bomba (*sump*); um reator biológico (500 L) contendo mídias (BIOTECH 500)

(FIGURA 6); uma torre desgaseificadora; uma bomba submersa (12.000 L/h) para circulação da água entre as unidades do sistema e; sistema de aeração composto por um compressor de ar (4,0 cv) ligado a mangueiras porosas.

Figura 3 - Unidades que compõem o sistema aquapônico tipo NFT da Estação de Aquicultura.



Fonte: Autora.

Figura 4 - Tanques retangulares de alvenaria revestidos com manta asfáltica e interligados por meio de sifões.



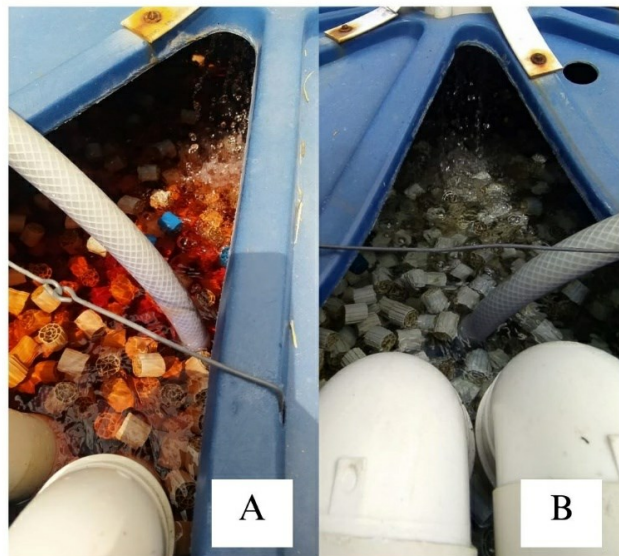
Fonte: Autora.

Figura 5 - Decantador com escovas filtrantes.



Fonte: Arquivo pessoal de Oscar Pacheco Passos Neto.

Figura 6 - Reator com mídias biológicas. A: tratamento com ferro (CF). B: tratamento sem ferro (SF).



Fonte: Autora.

As calhas hidropônicas ficavam posicionadas acima dos tanques de criação dos peixes, sendo ambos cobertos com tela do tipo sombrite (50%). As calhas foram confeccionadas com canos de PVC de 100 mm cortados ao meio e possuíam suportes móveis para acoplar os copos com as plantas (FIGURA 7).

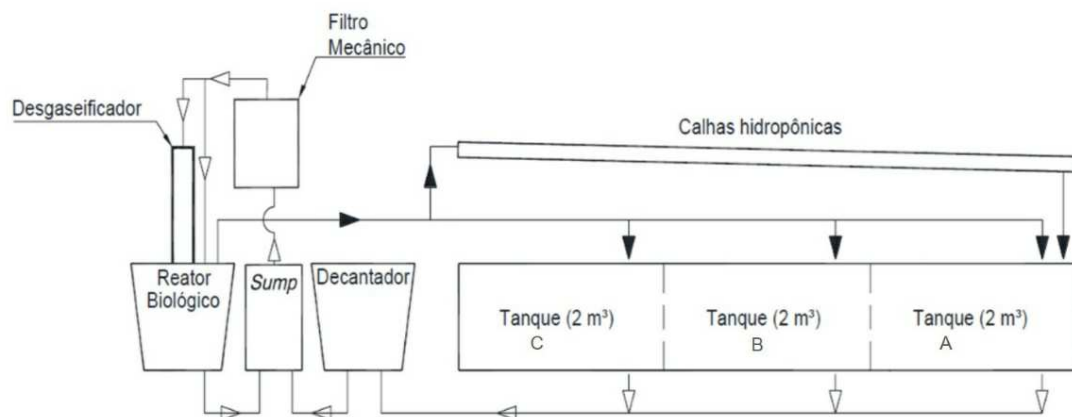
Figura 7 - Calhas hidropônicas instaladas acima dos tanques dos peixes.



Fonte: Autora.

Podemos observar na Figura 8, um desenho esquemático da circulação da água entre as unidades do sistema aquapônico utilizado na presente pesquisa.

Figura 8 - Desenho esquemático do sistema aquapônico evidenciando a circulação de água entre as unidades.



Fonte: Arquivo pessoal de Daniele Ferreira Marques.

Partindo do reator biológico, uma bomba submersa de 10.000 L/h foi conectada a uma tubulação com derivações que forneciam água,

individualmente, para as 4 calhas hidropônicas e os 3 tanques de criação dos peixes. A água percorria as calhas hidropônicas e vertia para o tanque A, do qual percorria para os tanques B e C, por meio de sifões, até chegar ao decantador. No decantador, após passar pelas escovas filtrantes, a água seguia para o *sump*, onde uma bomba submersa de 0,5 cv bombeava a água para o filtro mecânico pressurizado, forçando-a contra o material filtrante. Depois de filtrada, a água seguia para duas unidades: desgaseificador e reator biológico. A água que percorria o desgaseificador fluía para o reator biológico, de onde o padrão de circulação recomeçava.

A manutenção do sistema foi realizada, periodicamente, com a limpeza dos decantadores, escovas filtrantes e retrolavagem dos filtros pressurizados. Não houve renovação de água durante a realização do experimento, limitando-se apenas a repor o volume perdido por evaporação, evapotranspiração e manutenção do sistema.

3.3 Desempenho zootécnico da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Foram utilizados alevinos de tilápia do Nilo (*O. niloticus*), adquiridos de um criatório comercial localizado no município de Guaiúba - CE. Os peixes foram transportados até a Estação de Aquicultura, aclimatados e estocados em um tanque de 20 m³, com aeração constante, onde permaneceram por 26 dias. Durante esse período, os peixes foram alimentados seis vezes ao dia, com ração comercial contendo 36% de proteína bruta.

Para a pesquisa foram utilizadas um total de 600 tilápias do Nilo, com peso médio de aproximadamente 25 g, totalizando 300 indivíduos por tratamento. Cada unidade experimental foi estocada com 100 peixes que foram criados por 46 dias. Os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia (09:00, 11:00, 14:00 e as 16:00 h) com ração comercial contendo 36% de proteína bruta. O cálculo da oferta diária de ração foi feito de acordo com os resultados obtidos nas biometrias e da indicação do fabricante. As biometrias foram realizadas semanalmente com o auxílio de um paquímetro, para a medição do comprimento total (cm) (FIGURA 9), e balança digital,

para medição da massa (g) (FIGURA 10). Para estas biometrias, foi utilizada uma amostra de 20 peixes de cada tanque.

Figura 9 - Aferição do comprimento total (cm) de um exemplar de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) utilizando um paquímetro durante a realização da biometria.



Fonte: Autora.

Figura 10 - Aferição da massa (g) de um exemplar de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) utilizando uma balança digital durante a realização da biometria.



Fonte: Autora.

Ao final do experimento foram avaliados os seguintes parâmetros zootécnicos (EQUAÇÕES 1 – 8):

$$\text{Peso médio (g)} = \frac{\sum \text{Peso dos peixes (g)}}{n^{\circ} \text{ de peixes}}$$

(1)

$$\text{Biomassa (kg)} = \text{Peso médio (g)} \times n^{\circ} \text{ de peixes} \times 1000 \quad (2)$$

$$\text{GPMD (g)} = \frac{\text{Peso médio final (g)} - \text{Peso médio inicial (g)}}{n^{\circ} \text{ de dias}} \quad (3)$$

$$\text{GB (kg)} = \text{Biomassa final (kg)} - \text{Biomassa inicial (kg)} \quad (4)$$

$$\text{FCA (kg/kg)} = \frac{\text{Consumo total de ração (kg)}}{\text{Ganho de biomassa (kg)}} \quad (5)$$

$$\text{Sobrevivência (\%)} = \frac{n^{\circ} \text{ final de peixes}}{n^{\circ} \text{ inicial de peixes}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{TCE (\%/dia)} = \frac{\ln(\text{Peso médio final (g)}) - \ln(\text{Peso médio inicial (g)})}{n^{\circ} \text{ de dias}} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{Fator de condição alométrico} = \frac{\text{Massa do peixe (g)}}{\text{Comprimento total}^b \text{ (cm)}} \times 100 \quad (8)$$

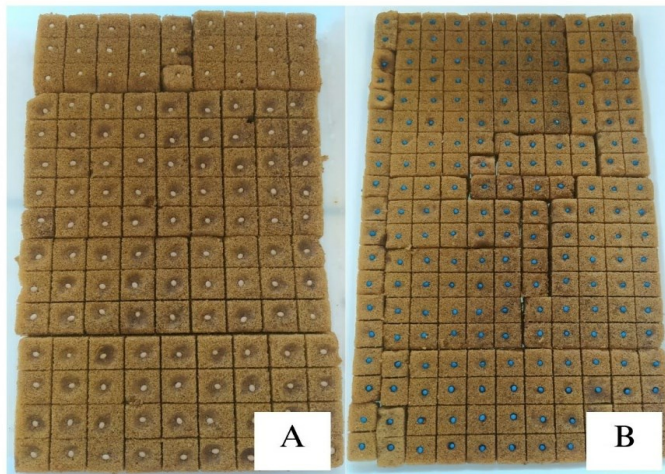
Nas quais, GPMD = ganho de peso médio diário, GB = ganho de biomassa, FCA = fator de conversão alimentar, TCE = taxa de crescimento específico (%) e b = coeficiente de alometria obtido por meio da equação de regressão da relação peso x comprimento (LE CREN, 1951). Para a obtenção da regressão da relação peso/comprimento, os dados de comprimento total e peso foram inseridos no eixo x e y, respectivamente, gerando uma curva que representou a dispersão dos pontos de intersecção entre o eixos x e y, descrito pela equação: $y = a x^b$.

3.4 Desempenho fitotécnico das alfaces (*Lactuca sativa*)

As alfaces foram produzidas na própria Estação de Aquicultura, a partir de sementes peletizadas, adquiridas de loja especializada. Foram utilizadas duas variedades de alface: Luminosa (cultivar roxa crespa)

(FIGURA 11A) e BRS Leila (cultivar verde crespa) (FIGURA 11B). As sementes foram germinadas em espuma fenólica, substrato próprio para o enraizamento de mudas, levando-se em consideração as porcentagens de germinação indicadas pelos fabricantes.

Figura 11 - Semeadura de alface em espuma fenólica. A: variedade Luminosa. B: variedade BRS Leila.

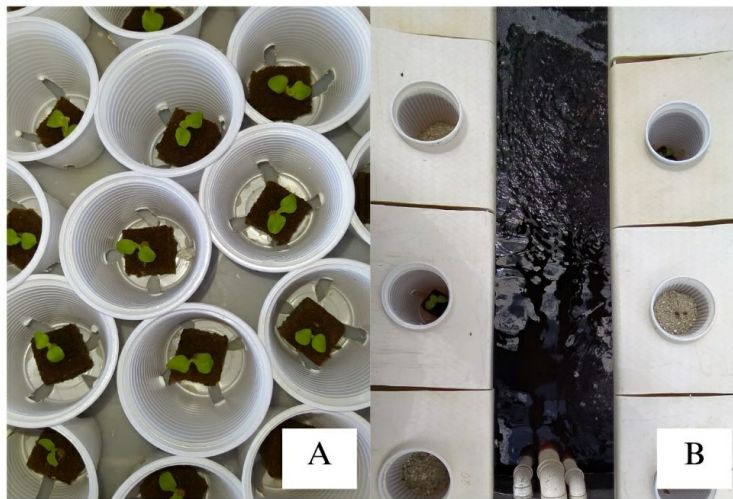


Fonte: Autora.

Após a semeadura, as sementes foram cobertas com saco plástico preto, por um período de 24 h, para evitar exposição à luz solar. Após esse período foram expostas ao sol, sendo regadas sempre que necessário. Sete dias após a semeadura, as plântulas de alface foram transplantadas para o sistema aquapônico.

Foram transplantadas para cada tratamento 75 alfaces da variedade BRS Leila (verde) e 25 da variedade Luminosa (roxa), sendo estocadas 25 unidades em cada calha. Dessa forma, cada componente hidropônico recebeu um total de 100 alfaces. As plantas foram alocadas em copos plásticos perfurados, que forneciam sustentação para as alfaces e contato das raízes com o fluxo de água (FIGURA 12A). Os copos ficavam fixos ao sistema por meio de suportes de PVC, que cobriam toda a extensão da calha. As alfaces ficavam espaçadas entre si, alternando copos com plantas e copos com areia (FIGURA 12B).

Figura 12 - A: plântulas alocadas em copos plásticos perfurados. B: espaçamento entre plantas nas calhas hidropônicas.



Fonte: Autora.

Para a análise do desempenho fitotécnico, ao final do período experimental (ciclo de 46 dias), foram selecionadas aleatoriamente em cada tratamento 15 plantas de cada variedade de alface. Foram avaliados os seguintes parâmetros: diâmetro da cabeça (cm) (FIGURA 13), altura da planta (cm) (FIGURA 14), massa fresca total (g) (FIGURA 15), massa fresca da parte aérea (g), massa fresca das folhas (g), massa fresca da raiz (g), número total de folhas (maiores que 3 cm) e número de folhas com defeito.

Os parâmetros de diâmetro e altura foram mensurados com auxílio de uma régua (0,1 cm) e as massas por meio de balança digital (0,01 g). Ademais, foi observado o aspecto geral das folhas, com relação a coloração (amarelecimento) e defeitos físicos (queimação), além da estimativa da sobrevivência.

Figura 13 - Aferição do diâmetro (cm) de um exemplar de alface (L. sativa) variedade Luminosa utilizando uma régua durante a realização da biometria.



Fonte: Autora.

Figura 14 - Aferição da altura (cm) de um exemplar de alface (L. sativa) variedade BRS Leila utilizando uma régua durante a realização da biometria.



Fonte: Autora.

Figura 15 - Aferição da massa fresca total (g) de um exemplar de alface (*L. sativa*) utilizando balança digital durante a realização da biometria. A: variedade BRS Leila. B: variedade Luminosa.



Fonte: Autora.

3.5 Análise de parâmetros de qualidade de água

Diariamente foram aferidos: o oxigênio dissolvido (mg/L) e a temperatura (°C), nos períodos da manhã e da tarde (8:00 e 16:00 h), utilizando um medidor multiparâmetros (AKSO - AK87); o pH, no período da tarde (16:00 h), utilizando um medidor portátil (AKSO - AK90) e; o ferro (mg/L), por meio de teste colorimétrico (Labcon Test). A cada 5 dias foram feitas as aferições do nitrogênio amoniacal total (NAT) (mg/L) e nitrito (mg/L), por meio de testes colorimétricos (Labcon Test), e a alcalinidade total (mg/L de CaCO₃ eq.) por titulometria (SÁ, 2012). A concentração de amônia não ionizada foi obtida de modo indireto por meio do cruzamento dos dados obtidos de NAT e dos valores de pH e temperatura tabelados.

No tratamento com suplementação de ferro foi adicionado quelato de ferro (Fe 6% – EDDHA 50%) na água do sistema, obtendo uma concentração de 2 mg de Fe²⁺/L. As correções foram realizadas sempre que a concentração de ferro ficava abaixo desse valor. Para a manutenção da alcalinidade total, em ambos os tratamentos, foi aplicado bicarbonato de sódio e calcário dolomítico.

3.6 Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados de desempenhos zootécnico e fitotécnico e dos parâmetros de qualidade de água, foi realizada aplicando-se o teste *t* de Student (amostras independentes) para comparação entre as médias. Esta análise foi realizada utilizando-se o Programa de Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biomédicas (BioEstat, versão 5.3) ao nível de significância de 5%. Os gráficos e tabelas foram gerados por meio de planilhas eletrônicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade de água

A Tabela 1 mostra os valores médios de temperatura e oxigênio dissolvido nos períodos da manhã e da tarde durante o período experimental.

Tabela 1 - Valores médios (média \pm desvio padrão) da temperatura e do oxigênio dissolvido nos períodos da manhã e da tarde da água do sistema de criação de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com alface (*L. sativa*), variedades BRS Leila e Luminosa, com e sem suplementação de ferro.

	Com ferro (CF)	Sem ferro (SF)	p-valor (linha)
Temperatura manhã (°C)	27,81 \pm 0,54 ^{A,a}	26,97 \pm 0,55 ^{A,b}	< 0,0001
Temperatura tarde (°C)	29,35 \pm 0,58 ^{B,a}	28,20 \pm 0,49 ^{B,b}	< 0,0001
p-valor (coluna)	< 0,0001	< 0,0001	-
Oxigênio dissolvido manhã (mg/L)	5,95 \pm 0,77 ^{A,a}	6,42 \pm 0,81 ^{A,b}	< 0,0001
Oxigênio dissolvido tarde (mg/L)	5,32 \pm 0,92 ^{B,a}	6,07 \pm 0,95 ^{B,b}	< 0,0001
p-valor (coluna)	< 0,0001	0,0006	-

Valores com letras maiúsculas diferentes sobrescritas na mesma coluna indicam diferença significativa entre os parâmetros para o mesmo tratamento ($p < 0,05$). Valores com letras minúsculas diferentes sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Os valores médios de temperatura no período da manhã apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) entre os tratamentos CF (27,81 \pm 0,54 °C) e SF (26,97 \pm 0,55 °C). A diferença observada pela manhã também foi mantida no período da tarde ($p < 0,0001$) com valores médios de 29,35 \pm 0,58 °C para o tratamento CF e 28,20 \pm 0,49 °C para SF. A temperatura também apresentou diferença significativa ($p < 0,0001$) quando comparados os períodos da manhã e da tarde dentro de um mesmo tratamento, com os maiores valores sendo observados à tarde.

No período da manhã os valores médios da concentração de oxigênio dissolvido (OD) para os tratamentos CF e SF foram, respectivamente, de 5,95 \pm 0,77 mg/L e 6,42 \pm 0,81 mg/L ($p < 0,0001$). Também foi observada diferença significativa ($p < 0,0001$) entre OD no período da tarde, cujos valores foram de 5,32 \pm 0,92 mg/L para CF e 6,07 \pm

0,95 mg/L para SF. Além das diferenças entre os tratamentos, também foram observadas diferenças nos valores médios de OD ($p < 0,0001$) entre os períodos da manhã e da tarde dentro um mesmo tratamento, com maiores valores pela manhã.

A temperatura influencia todos os aspectos da vida de um animal aquático desde o crescimento, a saúde e até as necessidades nutricionais (TIDWEEL, 2012). O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros de qualidade de água mais importantes em um sistema aquapônico. É imprescindível que esses parâmetros estejam dentro da faixa ideal para o cultivo de tilápia do Nilo. Os valores encontrados para a temperatura e o oxigênio no presente trabalho estão dentro dos indicados por Dalsgaard *et al.* (2013). Estes relatam que as condições ideais de temperatura e o oxigênio dissolvido para o cultivo de tilápia do Nilo em sistemas de recirculação estão entre 20 a 30 °C e 4 a 6 mg/L, respectivamente. Segundo Thorarinsdottir (2015), o crescimento ideal para *O. niloticus* está na faixa entre 27 a 30 °C e um OD acima de 5 mg/L. De acordo com Hager *et al.* (2021), em sistemas aquapônicos com cultivo de tilápia do Nilo, a temperatura entre 25 a 30 °C e o OD maior que 4,0 mg/L são ideais, o que corrobora que os parâmetros analisados estavam em condições ideais para os peixes do estudo.

Somerville *et al.* (2014), relatam que a maioria das plantas possuem uma temperatura ideal entre 18 a 30 °C. Rakocy (2012) pontua que a temperatura ideal para muitos vegetais é de 20 a 22 °C. Dessa forma, os valores de temperatura observados ao longo do período experimental, ficaram na faixa ideal para o desenvolvimento das alfaces. Segundo Somerville *et al.* (2014), a maioria das plantas precisam de oxigênio dissolvido acima de 3 mg/L. Dessa forma, o OD se manteve em níveis indicados para o cultivo de hortaliças.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, os valores médios de alcalinidade total apresentaram diferença significativa ($p = 0,0116$) entre os tratamentos CF ($72,67 \pm 13,09$ mg/L de CaCO_3) e SF ($57,72 \pm 13,87$ mg/L de CaCO_3). Os valores médios de pH também apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) entre os tratamentos CF ($6,82 \pm 0,34$) e SF ($6,98 \pm 0,31$).

Tabela 2 - Valores médios (média \pm desvio padrão) de alcalinidade total, amônia não-ionizada, nitrito, nitrogênio amoniacal total, potencial hidrogeniônico (pH) e ferro da água do sistema aquapônico com cultivo de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) e alface (*L. sativa*), variedades BRS Leila e Luminosa, com e sem suplementação de ferro.

	Com ferro (CF)	Sem ferro (SF)	p-valor
Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	72,67 \pm 13,09 ^a	57,72 \pm 13,87 ^b	0,0116
Amônia não-ionizada (mg/L)	0,005 \pm 0,005	0,004 \pm 0,003	0,2754
Nitrito (mg/L)	1,70 \pm 1,17	1,49 \pm 0,91	0,3258
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	0,88 \pm 1,08	0,28 \pm 0,08	0,0561
pH	6,82 \pm 0,34 ^a	6,98 \pm 0,31 ^b	< 0,0001
Ferro (mg/L)	1,00 \pm 0,00	0,00 \pm 0,00	-

Valores com letras sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

A alcalinidade é responsável pelo tamponamento da água, isto é, quando o pH se mantém relativamente inalterado quando compostos ácidos são introduzidos na água ou quando as plantas retiram os íons de H⁺ da água durante a fotossíntese (SÁ, 2012). Água com baixa alcalinidade e taxa constante de nitrificação sofre grandes oscilações no pH, o que pode ser prejudicial à saúde dos peixes, plantas e bactérias (HAGER *et al.*, 2021). De acordo com Sá (2012), para aquicultura de água doce, o recomendado é que a alcalinidade total seja de no mínimo 60 mg/L de CaCO₃. No tratamento sem a suplementação de ferro (SF), a alcalinidade ficou ligeiramente abaixo do recomendado.

Thorarinsdottir (2015), relata que a faixa ideal de pH para a piscicultura é de 6,5 a 9,0. Dalsgaard *et al.* (2013), indicam o pH de 6,5 a 8,5 para cultivo de tilápia do Nilo. Segundo Hager *et al.* (2021), os peixes toleram uma faixa de pH de 6,0 a 8,5, no entanto, relatam que para as plantas o pH tem que ser mantido entre 6,0 a 6,5, faixa em que os macro e micronutrientes estão mais disponíveis. De acordo Somerville *et al.* (2014), a maioria das plantas possuem uma faixa de tolerância entre 5,5 a 7,5 de pH, sendo o ideal manter de 6,0 a 7,0, valor esse indicado para o cultivo de alfaces. Os valores de pH obtidos neste trabalho, em ambos os tratamentos, estavam adequados para o desenvolvimento da tilápia do Nilo, da alface e das bactérias nitrificantes.

Os valores médios de pH também apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) entre os tratamentos CF ($6,82 \pm 0,34$) e SF ($6,98 \pm 0,31$).

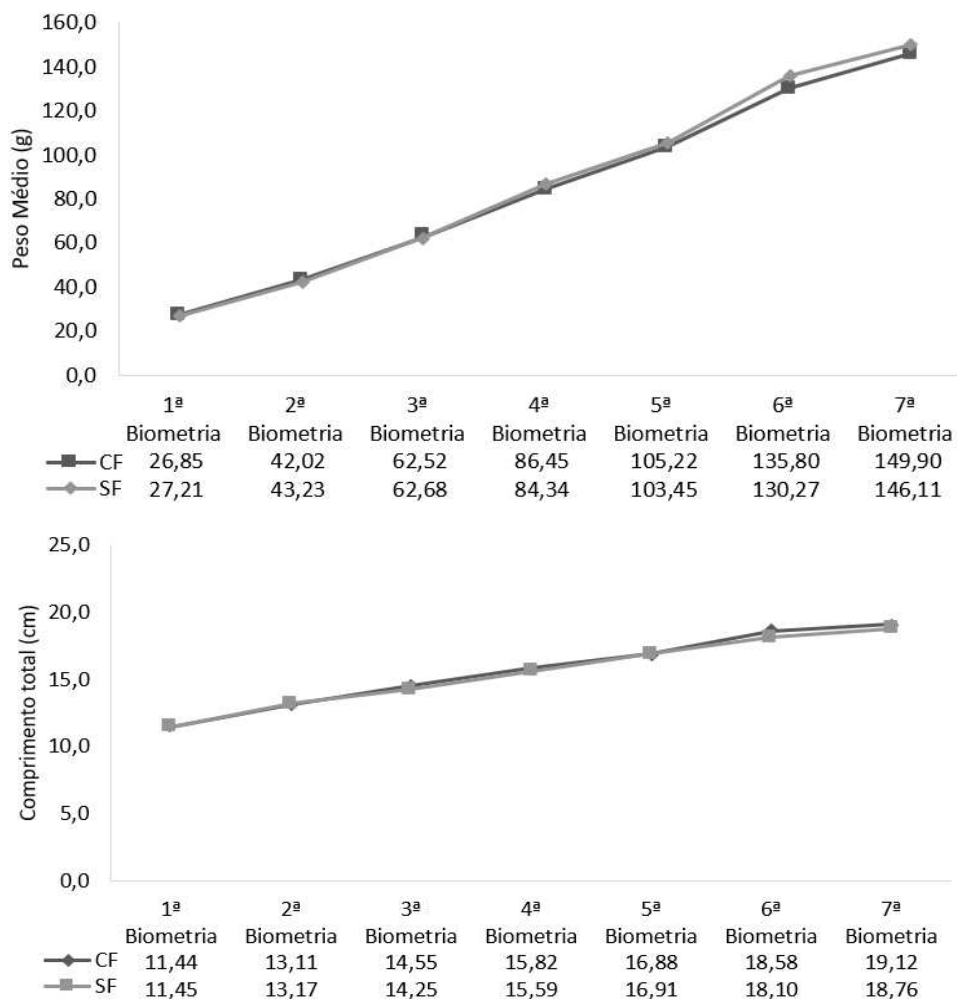
Com relação aos valores médios de amônia não-ionizada (CF: $0,005 \pm 0,005$ mg/L; SF: $0,004 \pm 0,003$ mg/L), nitrito (CF: $1,70 \pm 1,17$ mg/L; SF: $1,49 \pm 0,91$ mg/L) e nitrogênio amoniacal total (CF: $0,88 \pm 1,08$ mg/L; SF: $0,28 \pm 0,08$ mg/L) não foram observadas diferenças significativas quando comparados os tratamentos com ferro e sem ferro. Dalsgaard *et al.* (2013), relatam que o nitrogênio amoniacal total para tilápia do Nilo deve ser menor que 3,0 mg/L e o nitrito deve estar entre 0,05 a 1,00 mg/L. De acordo com Hager *et al.* (2021), para o cultivo de tilápia do Nilo em sistemas aquapônicos, o nitrogênio amoniacal total deve ser menor que 2,0 mg/L e o nitrito deve estar abaixo 1,0 mg/L. Thorarinsdottir (2015), recomenda manter o nitrogênio amoniacal total abaixo de 3 mg/L. Sá (2012) afirma que concentrações de nitrito acima de 0,3 mg/L já são consideradas perigosas para organismos aquáticos e que a amônia não ionizada tem que estar com valores abaixo de 0,05 mg/L para o peixes. Somerville *et al.*, (2014) relatam que em sistemas aquapônicos a amônia não-ionizada e o nitrito devem estar entre 0 a 1 mg/L. Os valores da amônia não-ionizada e nitrogênio amoniacal total ficaram na faixa recomendada pelos autores, no entanto, o nitrito ficou acima do valor ideal. Isso pode ter ocorrido devido ao subdimensionamento dos processos de remoção de sólidos, o que acarretou em uma filtragem insuficiente, conseqüentemente, transferiu sólidos para o reator biológico e aumentou o nitrito.

Não foi detectada presença de ferro na água do sistema aquapônico para o tratamento sem suplementação (SF). O valor médio da concentração de ferro para o tratamento com suplementação (CF) foi de $1,00 \pm 0,00$ mg/L. Esta concentração ficou abaixo de 2,0 mg/L, nível inicialmente desejado. O fato do quelato de ferro ser sensível a luz e o cultivo ser em ambiente aberto, pode ter influenciado na suplementação de ferro não ter chegado ao valor esperado.

4.2 Desempenho zootécnico da tilápia do Nilo

Na Figura 16 podemos observar o peso médio e comprimento total da tilápia do Nilo ao longo do período experimental.

Figura 16 - Peso médio e comprimento total ao longo das biometrias da tilápia do Nilo (*O. niloticus*) criada em sistema aquapônico sem e com suplementação de ferro (SF e CF).



Fonte: Autora.

Na 1ª biometria, as tilápias do tratamento CF apresentaram peso médio de $26,85 \pm 5,87$ g e comprimento total de $11,44 \pm 0,95$ cm e, ao final do período experimental (7ª biometria), atingiram peso médio de $149,90 \pm 35,10$ g e comprimento total de $19,12 \pm 1,50$ cm. No o tratamento SF, as tilápias apresentaram peso médio inicial de $27,21 \pm 8,34$ g e comprimento total inicial de $11,45 \pm 1,05$ cm e após 7 semanas de cultivo apresentaram peso médio final de $146,11 \pm 41,82$ g e comprimento total final de $18,76 \pm 1,72$ cm.

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para os parâmetros comprimento total final, fator de condição alométrico e taxa de crescimento específico. Os demais parâmetros de desempenho zootécnico avaliados não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) (TABELA 3).

Tabela 3 - Valores médios (média \pm desvio padrão) do peso médio inicial (PMi), do peso médio final (PMf), do comprimento total inicial (CMi), do comprimento total final (CMf), da densidade inicial (Di), da densidade final (Df), da biomassa total inicial (BMTi), da biomassa total final (BMTf), do ganho de peso médio diário (GPMD), do ganho de biomassa (GBM), do fator de conversão alimentar (FCA), do fator de condição alométrico (Kn), da taxa de crescimento específico (TCE) e da sobrevivência (S) da tilápia do Nilo (*O. niloticus*) cultivada com alface (*L. sativa*), em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro.

	Com ferro (CF)	Sem ferro (SF)	p-valor
PMi (g)	26,85 \pm 5,87	27,21 \pm 8,34	0,2872
PMf (g)	149,90 \pm 35,10	146,11 \pm 41,82	0,1166
CTi (cm)	11,44 \pm 0,95	11,45 \pm 1,05	0,4500
CTf (cm)	19,12 \pm 1,50 ^a	18,76 \pm 1,72 ^b	0,0033
Di (kg/m ³)	1,34 \pm 0,04	1,36 \pm 0,08	0,3608
Df (kg/m ³)	7,49 \pm 0,13	7,23 \pm 0,46	0,1994
BMTi (kg)	2,69 \pm 0,08	2,72 \pm 0,16	0,3733
BMTf (kg)	14,99 \pm 0,25	14,47 \pm 0,93	0,2007
GPMD (g/dia)	2,68 \pm 0,08	2,58 \pm 0,17	0,2223
GBM (kg)	12,30 \pm 0,22	11,74 \pm 0,77	0,1474
FCA	1,23 \pm 0,03	1,23 \pm 0,02	0,4387
Kn	0,80 \pm 0,03 ^a	0,75 \pm 0,05 ^b	0,0003
TCE (%/dia)	3,74 \pm 0,05 ^a	3,65 \pm 0,02 ^b	0,0362
S (%)	100,00 \pm 0,00	99,00 \pm 1,00	0,1439

Valores com letras sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

No tratamento CF os peixes apresentaram valores médios da taxa de crescimento específico de 3,74 \pm 0,05 %/dia, ganho de peso médio diário de 2,68 \pm 0,08 g, fator de conversão alimentar de 1,23 \pm 0,03, ganho de biomassa de 12,30 \pm 0,22 kg e sobrevivência de 100,00 \pm 1,00 %. Os peixes do tratamento SF apresentaram valores médios da taxa de crescimento específico de 3,65 \pm 0,02 %/dia, ganho de peso médio diário de 2,58 \pm 0,17 g, fator de conversão alimentar de 1,23 \pm 0,02, ganho de biomassa de 11,74 \pm 0,77 kg e sobrevivência de 99,00 \pm 1,00%.

O tratamento CF possuía, no início do experimento, densidade de 1,34 \pm 0,04 kg/m³ e biomassa total de 2,69 \pm 0,08 kg. Ao final do período

experimental, a densidade atingiu $7,49 \pm 0,13 \text{ kg/m}^3$ e biomassa de $14,99 \pm 0,25 \text{ kg}$. No tratamento SF, no período inicial obtiveram a densidade de $1,36 \pm 0,08 \text{ kg/m}^3$ e biomassa total de $2,72 \pm 0,16 \text{ kg}$ e ao final do experimento, alcançaram a densidade final de $7,23 \pm 0,46 \text{ kg/m}^3$ e biomassa total de $14,47 \pm 0,93 \text{ kg}$.

Marques (2022), avaliando o desempenho da tilápia do Nilo em sistema aquapônico, relatou um ganho de biomassa de 9,75 kg, taxa de crescimento específico de 2,65% e FCA de 1,35 após 7 semanas de cultivo, valores estes inferiores aos observados na presente pesquisa.

Da Silva (2023) obteve valores abaixo dos encontrados neste estudo, onde o ganho de biomassa foi 7,9 kg e taxa de crescimento específico de 1,77 %/dia, entretanto o autor encontrou valores maiores do fator de conversão alimentar de 1,81 e ganho de peso médio diário de 4,1 e g/dia.

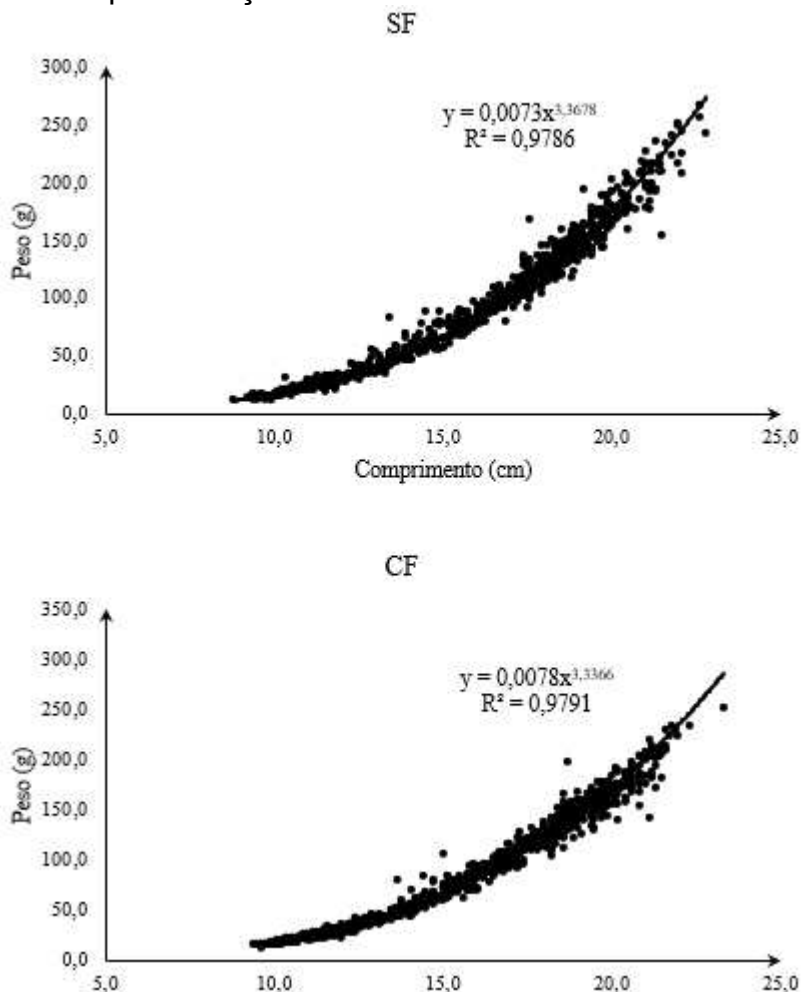
Lenz *et al.* (2017), obtiveram para águas dulcícolas o fator de conversão alimentar de 2,18, valor esse acima do encontrado neste trabalho e taxa de crescimento específico de 1,15 %/dia, valor abaixo do observado na presente pesquisa.

Os parâmetros de crescimento e sobrevivência analisados neste trabalho mostraram-se satisfatórios dentro do que é esperado para a criação de tilápia do Nilo em sistemas aquapônicos, onde foi possível perceber uma boa conversão alimentar.

O fator de condição alométrico (K_n) apresentou diferença significativa ($p = 0,0003$) entre os tratamentos CF e SF, com valores médios de $0,80 \pm 0,03$ e $0,75 \pm 0,05$, respectivamente. Tavares-Dias *et al.* (2000) avaliando os efeitos do parasitismo sobre os valores médios da relação esplenossomática, hepatossomática e do fator de condição alométrico em tilápias do Nilo obtiveram o K_n de 1,15. Marques (2022) relatou, para cultivo de tilápia do Nilo em sistema aquapônico com aeração convencional, $K_n = 1,12$. Valores superiores ao observado neste trabalho.

A Figura 17 apresenta as curvas das relações comprimento x peso para tilápia do Nilo com suas respectivas equações, valores de coeficiente de alometria (b) e dos coeficientes de determinação (R^2).

Figura 17 - Curva da relação comprimento x peso para tilápia do Nilo (*O. niloticus*) criadas em sistema aquapônico com alface (*L. sativa*), variedades BRS Leila e Luminosa, com e sem suplementação de ferro.



Fonte: Autora.

Para o tratamento SF os valores de b e R^2 encontrados foram de 3,3678 e 0,9786, respectivamente. Para o tratamento CF, estes valores foram de $b = 3,3366$ e $R^2 = 0,9791$. Esses valores do coeficiente de alometria (b) estão dentro da faixa encontrada por Le Cren (1951), que relatou uma variação de 2,5 a 4 para a maioria dos peixes, onde os valores acima de 3 representam um crescimento positivo.

4.3 Desempenho fitotécnico das alfaces

A Tabela 4 apresenta o desempenho fitotécnico da variedade BRS Leila cultivada em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro.

Tabela 4 - Valores médios (média \pm desvio padrão) da altura da planta (AP), do diâmetro da cabeça (DC), da massa fresca total (MFT), da massa fresca da parte aérea (MFPA), da massa fresca da raiz (MFR), da massa fresca das folhas (MFF), do número de folhas (NF) e do número de folhas com defeito (NFD) da alface (*L. sativa*), variedade BRS Leila, cultivada com tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro.

Alface BRS Leila	Com ferro (CF)	Sem ferro (SF)	p-valor
APA (cm)	26,16 \pm 2,70 ^a	11,79 \pm 2,08 ^b	< 0,0001
DC (cm)	36,10 \pm 2,97 ^a	16,59 \pm 4,23 ^b	< 0,0001
MFT (g)	241,35 \pm 34,95 ^a	19,49 \pm 10,59 ^b	< 0,0001
MFPA (g)	195,13 \pm 32,10 ^a	10,22 \pm 9,04 ^b	< 0,0001
MFR (g)	43,69 \pm 6,52 ^a	9,08 \pm 1,72 ^b	< 0,0001
MFF (g)	161,93 \pm 26,09 ^a	8,99 \pm 7,99 ^b	< 0,0001
NF	33,47 \pm 4,76 ^a	9,40 \pm 3,81 ^b	< 0,0001
NFD	0,93 \pm 1,10	1,13 \pm 1,25	0,3224

Valores com letras sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para todos os parâmetros de desempenho fitotécnico avaliados, com exceção do NFD. Os dados indicam que a suplementação com ferro favoreceu o desenvolvimento desta variedade.

Os valores médios apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) no tratamento CF para altura da planta 26,16 \pm 2,70 cm; diâmetro da cabeça 36,10 \pm 2,97 cm, massa fresca total 241,35 \pm 34,95 g, massa fresca da parte aérea 195,13 \pm 32,10 g, massa fresca da raiz 43,69 \pm 6,52 g, massa fresca das folhas 161,93 \pm 26,09 g e número de folhas 33,47 \pm 4,76. No tratamento SF, os valores médios apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) para altura da planta 11,79 \pm 2,08 cm, diâmetro da cabeça 16,59 \pm 4,23 cm, massa fresca total 19,49 \pm 10,59 g, massa fresca da parte aérea 10,22 \pm 9,04 g, massa fresca da raiz 9,08 \pm 1,72 g, massa fresca das folhas 8,99 \pm 7,99 g e número de folhas 9,40 \pm 3,81. A sobrevivência das alfaces verde no tratamento CF e SF foi de 100% e 98,7%, respectivamente. Ambos os tratamentos apresentaram boas taxas de

sobrevivência, no entanto o CF obteve melhores resultados já que não houve perdas.

Marques (2022), utilizando um sistema aquapônico com cultivo de alface da variedade BRS Leila com suplementação de ferro e aeração convencional, obteve resultados de MFT = 281,83 g, MFPA = 257,68 g, MFF = 226,97 g e NF = 26,75 folhas. Valores estes acima dos observados no presente estudo. Da Silva (2023), cultivando alface da variedade *Grand Rapids* em sistema aquapônico com tilápia do Nilo, obteve MFT de 200,91 g, MFPA de 168,77 g e MFF de 118,35 g. Valores estes inferiores a BRS Leila cultivada neste estudo.

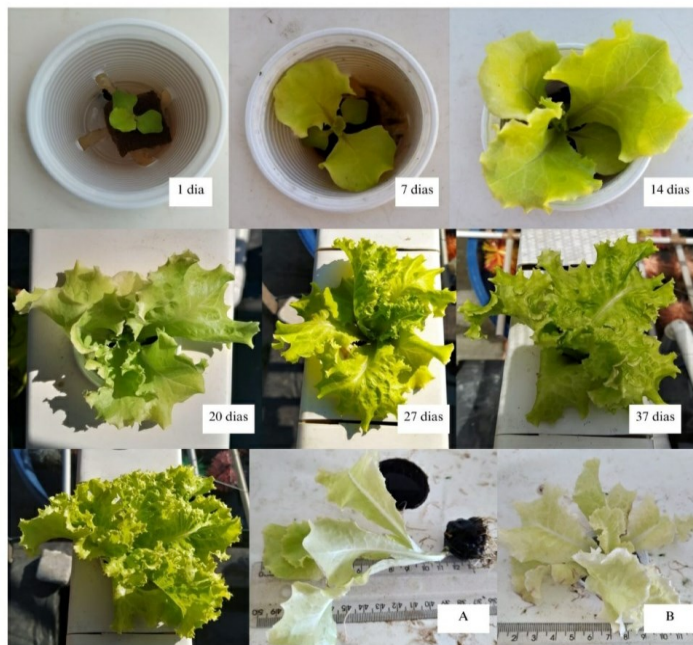
No tratamento com ferro as alfaces apresentaram verde intenso (FIGURA 18) e no tratamento sem a suplementação foi possível observar que as alfaces verdes perderam a cor (FIGURA 19), ficando em tom amarelado. Este fato evidencia a deficiência de ferro nas plantas, já que esse é um dos sinais visíveis quando este micronutriente está em falta, como relatado por Somerville *et al.*, 2014 e Hager *et al.*, 2021. A falta de ferro influenciou o baixo desenvolvimento da planta, pois este nutriente está diretamente ligado a uma série de enzimas responsáveis pelo desenvolvimento, inclusive agindo na fotossíntese e teor de clorofila, responsáveis pela respiração e pigmentação da planta.

Figura 18 - Dias de cultivo da BRS Leila no tratamento com suplementação de ferro. A: folha da alface. B: massa fresca da raiz.



Fonte: Autora.

Figura 19 - Dias de cultivo da BRS Leila no tratamento sem suplementação de ferro. A: comprimento. B: diâmetro.



Fonte: Autora.

A Tabela 5 apresenta o desempenho fitotécnico da variedade Luminosa cultivada em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro.

Tabela 5 - Valores médios (média \pm desvio padrão) da altura da planta (AP), do diâmetro da cabeça (DC), da massa fresca total (MFT), da massa fresca da parte aérea (MFPA), da massa fresca da raiz (MFR), da massa fresca das folhas (MFF), do número de folhas (NF) e do número de folhas com defeito (NFD) da alface (*L. sativa*), variedade Luminosa, cultivada com tilápia do Nilo (*O. niloticus*), em sistema aquapônico com e sem suplementação de ferro.

Alface Luminosa	Com ferro (CF)	Sem ferro (SF)	p-valor
APA (cm)	29,69 \pm 2,52 ^a	9,35 \pm 1,31 ^b	< 0,0001
DC (cm)	36,73 \pm 1,90 ^a	12,71 \pm 1,88 ^b	< 0,0001
MFT (g)	159,05 \pm 19,36 ^a	12,89 \pm 2,48 ^b	< 0,0001
MFPA (g)	128,01 \pm 16,59 ^a	4,81 \pm 2,18 ^b	< 0,0001
MFR (g)	30,24 \pm 3,63 ^a	7,85 \pm 0,47 ^b	< 0,0001
MFF (g)	105,22 \pm 12,91 ^a	4,21 \pm 1,87 ^b	< 0,0001
NF	18,67 \pm 1,29 ^a	6,73 \pm 1,10 ^b	< 0,0001
NFD	0,47 \pm 1,06	0,93 \pm 0,88	0,1005

Valores com letras sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para todos os parâmetros de desempenho fitotécnico avaliados, com exceção do NFD. Os dados indicam que a suplementação com ferro favoreceu o desenvolvimento da alface Luminosa em sistema aquapônico.

Os valores médios apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) no tratamento CF para altura da planta $29,69 \pm 2,52$ cm, diâmetro da cabeça $36,73 \pm 1,90$ cm, massa fresca total $159,05 \pm 19,36$ g, massa fresca da parte aérea $128,01 \pm 16,59$ g, massa fresca da raiz $30,24 \pm 3,63$ g, massa fresca das folhas $105,22 \pm 12,91$ g e número de folhas $18,67 \pm 1,29$. No tratamento SF, os valores médios apresentaram diferença significativa ($p < 0,0001$) para altura da planta $9,35 \pm 1,31$ cm, diâmetro da cabeça $12,71 \pm 1,88$ cm, massa fresca total $12,89 \pm 2,48$ g, massa fresca da parte aérea $4,81 \pm 2,18$ g, massa fresca da raiz $7,85 \pm 0,47$ g, massa fresca das folhas $4,21 \pm 1,87$ g e número de folhas $6,73 \pm 1,10$). A sobrevivência das alfaces roxas no tratamento CF e SF foi de 100% e 96%, respectivamente. Ambos os tratamentos apresentaram boas taxas de sobrevivência, no entanto o CF obteve melhores resultados já que não houve perdas.

Mendes *et al.* (2021), obtiveram da cultivar de alface roxa Carmim em sistema aquapônico, massa fresca de 204,77 g e uma média de 33 folhas. Uma diferença aproximada de 45 g para MFT e de 15 para NF obtidos neste trabalho. De acordo com Agristar (2023), o peso médio da variedade Luminosa é de 350 g, valor este acima do observado na presente pesquisa (MFTA = 128,01 g). Entretanto, Lenz *et al.* (2017) relatou para uma variedade de alface roxa cultivada em sistema aquapônico, valores de 60,29 g para peso úmido das folhas e 9,35 g para peso úmido da raiz e uma média de 20,59 folhas. Valores estes abaixo do observado para a variedade Luminosa cultivada na presente pesquisa.

A variedade Luminosa é caracterizada por sua coloração roxa intensa e seu aspecto brilhoso (FIGURA 20). No tratamento em que não houve aplicação de ferro, as alfaces perderam essas características, ficando com cor clara e opacidade nas folhas (FIGURA 21). Além da coloração, a falta do ferro na água do cultivo também influenciou no crescimento das plantas. Foi observado crescimento insuficiente, com plantas apresentando média de 12,89 g para MFT, cerca de 10 vezes menor que o lado com

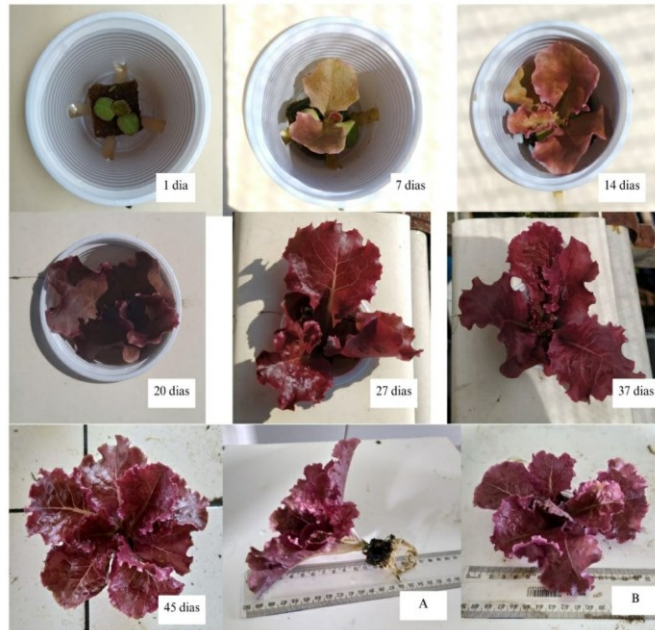
suplementação de ferro. Também foi observado que várias alfaces não conseguiram atingir tamanho suficiente para ultrapassar a altura dos copos plásticos utilizados para a sua sustentação. Situação esta que não foi observada para a variedade verde (BRS Leila), o que pode evidenciar que a cultivar Luminosa tem uma necessidade maior de ferro para seu desenvolvimento.

Figura 20 - Dias de cultivo da Luminosa no tratamento com suplementação de ferro. A: folhas da alface. B: massa fresca da raiz.



Fonte: Autora.

Figura 21 - Dias de cultivo da Luminosa no tratamento sem suplementação de ferro. A: comprimento. B: diâmetro.



Fonte: Autora.

5 CONCLUSÃO

Foi possível concluir com base nos resultados obtidos, que as variedades de alfaces testadas, BRS Leila e Luminosa, no tratamento com ferro atingiram tamanho e aparência comercial, e as cultivares do tratamento sem ferro não atingiram. Logo, o ferro é um nutriente indispensável para o cultivo dessas variedades em sistema aquapônico, sendo essencial sua suplementação. Os resultados de desempenho zootécnico da tilápia do Nilo foram satisfatórios para a espécie, embora o nitrito estivesse acima do indicado para os peixes. Os demais parâmetros de água estavam dentro dos sugeridos para o cultivo de tilápia do Nilo e para alfaces.

São necessários mais estudos avaliando a suplementação do ferro quelato em sistemas aquapônicos para analisar os efeitos de diferentes concentrações aplicadas, a fim de minimizar os gastos com esse insumo em grandes escalas comerciais e estudos analisando diferentes concentrações de ferro em outras hortaliças.

REFERÊNCIAS

- AGRISTAR. **Semente alface especialidade luminosa**. [s.l.]: AGRISTAR, 2023. Disponível em: <https://agristar.com.br/topseed-premium/alface-especialidade/nbr-355/3993//>. Acesso em: 24 nov. 2023.
- ALCÂNTARA, J. V. O. **Comparação de duas densidades de estocagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema aquapônico com quatro variedades de alface**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/50091/1/2018_tcc_jvoalc%c3%a2ntara.pdf. Acesso em: 07 abr. 2023.
- ARAÚJO, E. S.; *et al.* Construção de um sistema de aquaponia para a produção consorciada de tomate Itália (*Solanun lycopersicum*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 6; CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 10; SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO, 5., 2017, Brasília. **Anais** [...]. Brasília, v.13, n.1, 2018. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/204/1866>. Acesso em: 23 mar. 2023.
- BARTELME, R. P. *et al.* Stripping away the soil: plant growth promoting microbiology opportunities in aquaponics. **Front. Microbiol.**, [s.l.], v. 9, jan. 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.00008/full>. Acesso em: 12 nov. 2023.
- BRANDÃO FILHO, J. U. T. *et al.* **Hortaliças-fruto**. Maringá: Eduem, 2018. p.145. Disponível em: <http://old.periodicos.uem.br/~eduem/novapagina/?q=node/712>. Acesso em: 25 set. 2023.
- CANASTRA, I. I. O. **Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal, 2017. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/110688/2/250465.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023. p.1-2, 17-18, 21-24.
- CAUDURO, C. L. **Crescimento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema de aquaponia**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduado em Tecnologia em Aquicultura) - Universidade Federal do Pampa, Uruguaiana, 2017. Disponível em:

<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/3389/1/CEC%c3%8dLIA%20CAUDURO.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2023.

CREPALDI, D. V. *et al.* Sistemas de produção na aquicultura. **Rev. Bras. Reprod. Anim.**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 86-99, jul./dez. 2006.

Disponível em:

[http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20\(sistemas%20de%20producao\)%20pag%2086-99.pdf](http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20(sistemas%20de%20producao)%20pag%2086-99.pdf). Acesso em: 02 nov. 2023.

DALSGAARD, J. *et al.* Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 53, p. 2-13, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.008>. Acesso em: 08 nov. 2023.

DA SILVA, J. W. T. **Avaliação do desenvolvimento da tilápia do Nilo, da alface e do manjeriço cultivados em sistema aquapônico com águas de origens distintas**. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

DOS SANTOS, A. T.; PINTO, C. C.; DE FREITAS, T. S. **Produção brasileira de hortaliças e exigência nutricional destas culturas**. Rio Grande do Sul: ILSA, 2022. Disponível em:

<https://ilsabrasil.com.br/producao-brasileira-de-hortalicas-e-exigencia-nutricional-destas-culturas/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

DUARTE, E. **Calibração da solução nutritiva da alface em aquaponia com tilápia baseado em solução hidropônica**. 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020. Disponível em:

http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/2187/1/eglerson_duarte.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B. Recirculating Aquaculture Systems. *In*: TIDWELL, J. H. (ed.). **Aquaculture production systems**. Wiley-Blackwell, 2012. *E-book*. Disponível em:

https://www.academia.edu/36260785/Aquaculture_Production_Systems. Acesso em: 01 nov. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **BRS Leila**: tipo crespa tolerante ao pendoamento. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1070799/brs-leila-alface>. Acesso em: 23 nov. 2023.

ESPINAL, C. A.; MATULIÉ, D. Recirculating Aquaculture Technologies. *In*: GODDEK, S. *et al.* (ed.). **Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future**. Cham: Springer Open, 2019. *E-book*. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>. Acesso em: 01 nov. 2023.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture: towards blue transformation**. Rome. 2022. Disponível em: https://www.seafoodbrasil.com.br/images/noticias/FAO_Sofia_2022.pdf. Acesso em: 23 mar. 2023.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de plantas**. Larvas: FAEPE – Centro de Editoração, 2005. Disponível em: https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

GOMES JÚNIOR, F. A. *et al.* Cultivo de alface americana (cv. Tainá) em solução nutritiva com omissão de micronutrientes. **Informe Econômico (UFPI)**, Piauí, v. 38, n. 1, p. 34-39, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/ie/article/view/282/328>. Acesso em: 19 set. 2023.

HAGER, J. *et al.* **Aquaponics production manual: a practical handbook growers**. Frankfort: Kentucky State University, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355972997_A_Practical_Handbook_for_Growers_AQUAPONICS_Production_Manual. Acesso em: 26 out. 2023.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. P. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa hortaliças, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>. Acesso em: 27 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário: produção de alface**. Brasil: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alface/br>. Acesso em: 12 nov. 2023.

KASOZI, N. *et al.* Iron supplementation and management in aquaponic systems: a review. **Aquaculture Reports**, [s.l.], v. 15, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513419300183?via%3Dihub>. Acesso em: 01 nov. 2023.

KUBITZA, F. **Sistemas de recirculação: sistemas fechados com tratamento e reuso da água**. Laranjeiras: Panorama da Aquicultura, 2006. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/sistemas-de-recirculacao/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

LE CREN, E. D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **Journal of Animal Ecology**, v. 20, n. 2, p. 201-219, 1951.

LENNARD, W.; GODDEL, S. Aquaponics: the basics. *In*: GODDEK, S. *et al.* (ed.). **Aquaponics food production systems**: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Cham: Springer Open, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>. Acesso em: 24 nov. 2023.

LENZ, G. L. *et al.* Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema bft em baixa salinidade. **Inst. Pesca**, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 614-630, 2017. Disponível em: <https://institutodepesca.org/index.php/bip/article/view/1252>. Acesso em: 26 nov. 2023.

LUCENA, J. J.; *et al.* Iron nutrition of a hydroponic strawberry culture (*Fragaria vesca* L.) supplied with different Fe chelates. **Plant Soil**, v. 123, p. 9–15, 1990.

MARQUES, D. F. **Utilização de um gerador de bolhas ultrafinas para oxigenação de tanques de criação de tilápia do nilo em sistema aquapônico**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/74219/1/2022_tes_dfmarques.pdf. Acesso em: 12 nov. 2023.

MENDES, F. T. C. *et al.* Desempenho agrônômico de cultivares de alface em aquaponia. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 10, n. 9, p. e50610918176, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18176>. Acesso em: 26 nov. 2023.

PALM, H. W. *et al.* Coupled aquaponics systems. *In*: GODDEK, S. *et al.* (ed.). **Aquaponics food production systems**: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Cham: Springer Open, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>. Acesso em: 08 nov. 2023.

PEIXE BR. Anuário Peixe BR da Piscicultura 2016. **Associação Brasileira da Piscicultura**. São Paulo. 2016. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>. Acesso em: 24 out. 2023.

PEIXE BR. Anuário Peixe BR da Piscicultura 2018: Brasil é o 4º maior produtor mundial de tilápia. **Associação Brasileira da Piscicultura**. São Paulo. 2018. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>. Acesso em: 10 out. 2023.

PEIXE BR. Anuário Peixe BR da Piscicultura 2023: a força do peixe brasileiro. **Associação Brasileira da Piscicultura**. São Paulo. 2023. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

RAKOCY, J. E. Aquaponics – integrating fish and plant culture. *In*: TIDWELL, J. H. (ed.). **Aquaculture production systems**. Wiley-Blackwell, 2012. *E-book*. Disponível em: https://www.academia.edu/36260785/Aquaculture_Production_Systems. Acesso em: 01 nov. 2023.

RAKOCY, J. E. Ten guidelines for aquaponic systems. **Aquaponics Journal**. v.46: 14-17, 2007. Disponível em: <https://cdn.aquaponicsassociation.org/uploads/2019/10/Aquaponics-Journal-10-Guidelines.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2023.

RAKOCY, J. E.; *et al.* **Update on tilapia and vegetable production in the uvi aquaponic system**. 2004. Disponível em: <https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/676.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2023.

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics – integrating fish and plant culture. **SRAC Publication - Southern Regional Aquaculture Center**, [s.l.], n. 454, p. 16, 2006. Disponível em: https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_454_recirculating_aquaculture_tank_production_systems_-_aquaponics_-_integrating_fish_and_plant_culture.pdf. Acesso em 26 out. 2023.

SÁ, M. V. C. **Limnocultura**: limnologia para aquicultura. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

SANTOS, J. V. B. dos. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*) e coentro (*Coriandrum sativum* L.) em sistema de recirculação de água e nutrientes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2019. Disponível em: <http://releia.ifsertao-pe.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/399>. Acesso em: 19 mar. 2023.

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**, São Luís, v.11, n.1, p.38–54, 2018. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/view/1513/1253>. Acesso em: 23 mar. 2023.

SOMERVILLE, C. *et al.* **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture

Technical Paper, 2014. Disponível em:
<https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2021.

TAVARES-DIAS, M. *et al.* Fator de condição e relação hepato e esplenossomática em teleósteos de água doce naturalmente parasitados. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 533–537, 2000. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/277040314_Fator_de_condicao_e_relacao_hepato_e_esplenossomatica_em_teleosteos_de_agua_doce_naturalmente_parasitados. Acesso em: 27 nov. 2023.

THORARINSDOTTIR, R. I. **Aquaponics guidelines**. Iceland: European Union, 2015. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/282732809_Aquaponics_Guidelines. Acesso em: 02 nov. 2021.

TIDWELL, J. H. Functions and characteristics of all aquaculture systems. *In*: TIDWELL, J. H. (ed.). **Aquaculture production systems**. Wiley-Blackwell, 2012. *E-book*. Disponível em:
https://www.academia.edu/36260785/Aquaculture_Production_Systems. Acesso em: 26 nov. 2023.