



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

DIEGO CASTRO RIBEIRO

**RECRIA DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) COM SPIRULINA
(*Arthrospira platensis*) EM TANQUES DE FERROCIMENTO**

FORTALEZA

2019

DIEGO CASTRO RIBEIRO

RECREIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) COM SPIRULINA (*Arthrospira platensis*) EM TANQUES DE FERROCIMENTO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Holanda Sampaio.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

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

R368r Ribeiro, Diego Castro.
Recria de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com spirulina (*Arthrospira platensis*) em tanques de ferrocimento / Diego Castro Ribeiro. – 2019.
101 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Alexandre Holanda Sampaio.

1. Alevinagem. 2. Microalgas. 3. Recirculação de água. 4. Tilapicultura. I. Título.

CDD 639.2

DIEGO CASTRO RIBEIRO

RECREIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) COM SPIRULINA (*Arthrospira platensis*) EM TANQUES DE FERROCIMENTO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Aprovada em: 18/01/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Holanda Sampaio (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Carminda Sandra Brito Salmito-Vanderley
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Antonio Glaydson Lima Moreira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Dr. Mário Cesar Wiegand
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Geny Gil Sá
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao Prof. Dr. Wladimir Ronald Lobo Farias.

(In memoriam)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida acadêmica com vários percalços e inúmeras felicidades.

À minha família, Ana de Castro Ribeiro, Aluizio Moreira Ribeiro e Darlan Castro Ribeiro, que novamente atuaram ativa e intensamente na pesquisa, desde a construção e manutenção dos tanques até a lida com os peixes em dia de campanha.

À Ana Caroline Bento da Silva, que sempre me encorajou a seguir na pós-graduação, além de ser minha companheira, meu amor que me motiva em todos os momentos.

Aos meus dois orientadores, o prof. Dr. Wladimir Ronald Lobo Farias, que infelizmente não conseguiu ver a concretização desse trabalho entre nós, e o prof. Dr. Alexandre Holanda Sampaio por todo o apoio que precisei após a dura perda do prof. Wladimir, além de toda a paciência para conseguirmos finalizar toda a pesquisa em um momento tão difícil.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca (PPGEP/UFC) que contribuíram para meu crescimento acadêmico e intelectual.

Aos professores e pesquisadores atuantes no Centro de Biotecnologia em Aquicultura – CEBIAQUA (DEP/UFC) que contribuíram direta e indiretamente para a realização desse trabalho, em especial às professoras Alessandra Cristina da Silva, Ianna Wivianne Fernandes de Araújo, Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante e ao pesquisador José Ariévilo Gurgel Rodrigues, pelo apoio fundamental às análises laboratoriais da pesquisa.

Ao prof. Marcelo Vinícius do Carmo Sá por ceder as estruturas do Laboratório de Ciência em Aquicultura – LCTA (DEP/UFC) para as análises de água do experimento realizadas com ajuda dos discentes do PPGEP Davi de Holanda Cavalcante e Francisco Roberto dos Santos Lima.

À profa. Silvana Saker Sampaio, coordenadora do PPGEP/UFC, e à servidora Rogéria Maria Setúbal Oliveira, secretária administrativa do programa, pelo excepcional trabalho no período em que fui representante discente da modalidade doutorado do programa.

Ao Dr. Carlos Henrique de Castro Ehrich, incentivador da pesquisa científica, que acreditou nessa proposta de cultivo e forneceu todas as condições necessárias para a efetiva realização desse trabalho. Sem o seu apoio financeiro, científico e emocional essa produção de saber seria inviável.

Ao grupo de pesquisa Spirulianos do CEBIAQUA (DEP/UFC), que tive a oportunidade de criar, cujos integrantes me deram toda a ajuda necessária no planejamento e

manejo do experimento. Todos estarão sempre no meu coração e na minha memória pela grande amizade e cumplicidade.

Ao meu grande amigo Mário Cesar Wiegand por sempre estar disposto a ajudar quando mais precisei dos seus conhecimentos polivalentes e revisão desse trabalho.

A todos os colaboradores da construção civil que contribuíram para a construção e operação do sistema de cultivo abordado nessa pesquisa e ao zelador do CEBIAQUA (DEP/UFC), Sidycleiton, pela ajuda importantíssima no dia a dia em todos as etapas do experimento com seu enorme conhecimento empírico.

Aos meus amigos do PPGEF/UFC, tanto da modalidade mestrado quanto doutorado por toda trajetória dentro do curso, com uma amizade verdadeira e apoio acadêmico. Em especial, ao discente José de Souza Junior, que me deu total apoio na lida do dia a dia dentro do CEBIAQUA e aos estimados ensinamentos em gestão de pessoas e projetos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por apoiar projetos de pesquisa científica no Brasil e ter financiado minha bolsa de doutorado acadêmico. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A necessidade é o chicote que faz a inteligência galopar...” (Dito popular cearense)

RESUMO

A interação entre tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e spirulina (*Arthrospira platensis*) pode gerar muitos benefícios aos peixes, em especial nas fases iniciais do ciclo de vida. Assim, objetivou-se a viabilidade de uma recria de tilápia nilótica com spirulina em tanques de ferrocimento com recirculação de água salobra. O experimento de campo foi realizado em escala piloto durante 43 dias, com a estocagem de alevinos recém revertidos (0,8 g) em água de salinidade 10 na densidade 200 peixes/m³. Foram construídos três módulos de cultivo nos quais empregou-se três manejos alimentares distintos: M1 – 100% da oferta de ração em águas claras; M2 – 50% da ração em águas com spirulina; e M3 – sem oferta de ração em águas com spirulina. Durante o cultivo, analisou-se o desempenho zootécnico dos peixes, bem como a qualidade de água. Verificou-se, após esse período, a sanidade do cultivo através da avaliação dos parâmetros hematológicos do sangue e da incorporação ou não de glicosaminoglicanos (GAGs) na matriz de pele dos peixes. Também foi realizada uma avaliação de viabilidade financeira da recria. A estrutura de ferrocimento foi de fácil construção e baixo custo, além de facilitar a recirculação da água permitindo o seu reuso. O tratamento M2 apresentou o melhor desempenho zootécnico no final do cultivo, com 98,6% de sobrevivência e conversão alimentar aparente de 0,52:1 devido à benéfica interação entre peixes e microalgas, deixando os níveis de pH, alcalinidade, dureza, nitrogenados e fosfatos dentro da faixa de conforto para a espécie na salinidade trabalhada. A spirulina aumentou a taxa de hemoglobina, os eritrócitos e os leucócitos totais, fazendo com que M2 apresentasse os maiores índices hematimétricos. A quantidade de GAGs cresceu com a maior participação da spirulina na dieta, com adição de rendimento de até 115%, tornando a pele da tilápia potencialmente mais eficaz no tratamento de queimaduras. A análise financeira mostrou um empreendimento de recria bastante viável, com relação benefício-custo de 1,66 e ponto de nivelamento em 26,42%, tendo restituído o montante investido em 1,45 anos apesar do custo de produção de R\$ 5,72 kg de peixe. A recria de tilápia do Nilo com spirulina em água salobra é viável mesmo diminuindo a quantidade de ração artificial pela metade em função da suplementação de spirulina viva na água, que melhora a sanidade dos peixes e aumenta o potencial cicatrizante da sua pele.

Palavras-chave: Alevinagem. Microalgas. Recirculação de Água. Tilapicultura.

ABSTRACT

Interaction between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and spirulina (*Arthrospira platensis*) can generate many benefits for fish, especially in the early stages of the life cycle. Thus, the objective was the viability of a Nile tilapia rearing with spirulina in ferrocement tanks with brackish water recirculation. The field experiment was conducted on a pilot scale for 43 days, with the stocking of newly reverted fingerlings (0.8 g) in salinity water 10 at the density of 200 fish/m³. Three cultivation modules were constructed in which three different food managements were used: M1 – 100% of the supply of fish feed in clear water; M2 – 50% of the fish feed in spirulina Waters; and M3 – without supply of fish feed in spirulina waters. In the culture, the zootechnical performance of the fish was analyzed, as well as the water quality. After this period, the health of the culture was verified through the evaluation of hematological parameters of the blood and the incorporation or not of glycosaminoglycans (GAGs) in the skin matrix of the fish. An assessment was also made of the financial viability of fish rearing. The ferrocement structure was easy to construct and low cost, besides facilitating the recirculation of the water allowing its reuse. The M2 treatment presented the best zootechnical performance at the end of breeding, with 98.6% survival and apparent feed conversion of 0.52:1, due to the beneficial interaction between fish and microalgae, leaving the levels of pH, alkalinity, hardness, nitrogen and phosphates within the comfort range for the species in the worked salinity. Spirulina increased hemoglobin, erythrocytes and total leukocytes, making M2 the highest hematimetric indexes. Quantity of GAGs grew with the greater participation of spirulina in the diet, with an addition of up to 115%, making tilapia skin potentially more effective in the treatment of burns. Financial analysis showed a fairly viable breeding venture, with a cost-benefit ratio of 1.66 and a leveling point of 26.42%, having refunded the amount invested in 1.45 years despite the production cost of US\$ 1.47 kg of fish. The rearing of Nile tilapia with spirulina in brackish water is feasible even by reducing the amount of artificial feed in half as a function of the supplementation of live spirulina in the water, that improves fish sanity and increases the healing potential of its skin.

Keywords: Fingerlings breeding. Microalgae. Water recirculation. Tilapia culture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Exemplar de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	18
Figura 2	– Maiores produtores de tilápia do Nilo do Brasil	20
Figura 3	– Cadeia produtiva do pescado	21
Figura 4	– Sistemas de piscicultura: em viveiro com hapas e em tanques-rede	22
Figura 5	– Spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>)	24
Figura 6	– Unidades repetitivas de dissacarídeos que diferenciam os GAGs	31
Figura 7	– Tipos de malha de ferro utilizados em placas de ferrocimento	32
Figura 8	– Modelo de um sistema de recirculação para aquicultura	36
Figura 9	– Aspecto do módulo de cultivo em construção e finalizado.....	38
Figura 10	– Planta baixa do módulo controle e em águas com spirulina	39
Figura 11	– Demarcação, escavação e nivelamento da base do primeiro módulo.....	40
Figura 12	– União da malha de ferro com a malha de polietileno	40
Figura 13	– Cura e enchimento do primeiro módulo	41
Figura 14	– Tanques inoculados com spirulina e estrutura de tela interna	42
Figura 15	– Aclimação dos alevinos em caixas d'água de 1.000 L	43
Figura 16	– Coleta de alevinos para amostragem e medição	54
Figura 17	– Eletroforese em gel de agarose das frações purificadas da pele	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Crescimento em peso da recria de tilápia do Nilo	53
Gráfico 2 – Relação peso/comprimento da recria de tilápia do Nilo	53
Gráfico 3 – Ração consumida pela tilápia do Nilo durante a recria	55
Gráfico 4 – pH nos módulos de cultivo	57
Gráfico 5 – Temperatura nos módulos de cultivo	58
Gráfico 6 – Oxigênio dissolvido nos módulos de cultivo	58
Gráfico 7 – Condutividade elétrica nos módulos de cultivo	59
Gráfico 8 – Alcalinidade total nos módulos de cultivo	60
Gráfico 9 – Dureza total nos módulos de cultivo	60
Gráfico 10 – Ortofosfato nos módulos de cultivo	61
Gráfico 11 – Amônia tóxica nos módulos de cultivo	61
Gráfico 12 – Nitrito nos módulos de cultivo	62
Gráfico 13 – Nitrato nos módulos de cultivo	63
Gráfico 14 – Taxa de hemoglobina no sangue de aleviões de tilápia	64
Gráfico 15 – Contagem total de hematócrito no sangue de aleviões de tilápia	64
Gráfico 16 – Proteína plasmática total no sangue de aleviões de tilápia	65
Gráfico 17 – Nº de eritrócitos totais no sangue de aleviões de tilápia	66
Gráfico 18 – Volume corpuscular médio no sangue de aleviões de tilápia	67
Gráfico 19 – Hemoglobina corpuscular média no sangue de aleviões de tilápia	67
Gráfico 20 – Concentração de hemoglobina corpuscular média no sangue de aleviões de tilápia	68
Gráfico 21 – Nº de leucócitos totais no sangue de aleviões de tilápia	69
Gráfico 22 – Rendimento do extrato de GAGs na pele de aleviões de tilápia	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de carboidratos, lipídios e proteínas de ingredientes	25
Tabela 2 – Composição de aminoácidos essenciais da <i>A. platensis</i>	25
Tabela 3 – Perfil de ácidos graxos da <i>A. platensis</i>	26
Tabela 4 – Referências de parâmetros hematológicos da tilápia do Nilo	28
Tabela 5 – Estudos hematológicos em peixes cultivados no Brasil	29
Tabela 6 – Métodos de análise laboratoriais e valores de referência dos parâmetros físico-químicos	45
Tabela 7 – Desempenho zootécnico da recria de tilápia do Nilo.....	52
Tabela 8 – Dados de produção nos módulos de cultivo	55
Tabela 9 – Contagem diferencial de leucócitos no sangue de alevinões de tilápia	70
Tabela 10 – Usos e fontes dos recursos para inversões	75
Tabela 11 – Reinversões do empreendimento	75
Tabela 12 – Imobilização financeira	76
Tabela 13 – Custos operacionais do empreendimento	76
Tabela 14 – Estrutura de custos anuais fixos e variáveis	76
Tabela 15 – Indicadores financeiros	77
Tabela 16 – Lucro total do empreendimento	78
Tabela 17 – Capacidade de pagamento do empreendimento	79
Tabela 18 – Lista de materiais, equipamentos, mão-de-obra e insumos	99
Tabela 19 – Fluxo de receitas e custos do empreendimento	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
CAap	Conversão Alimentar Aparente
CHCM	Concentração de Hemoglobina Corpuscular Média
CP	Capacidade de Pagamento
FC	Fator de Condição
GAGs	Glicosaminoglicanos
Hb	Hemoglobina
HCM	Hemoglobina Corpuscular Média
Ht	Hematócritos
Li	Comprimento Médio Inicial
Lf	Comprimento Médio Final
LP	Comprimento Padrão
LT	Comprimento Total
LT	Lucro Total
PN	Ponto de Nivelamento
Rb/c	Relação Benefício-Custo
SRA	Sistemas de Recirculação para Aquicultura
S%	Sobrevivência
TC	Tanque de Circulação
TCE	Taxa de Crescimento Específico
TIR	Taxa Interna de Retorno
TP	Tanque de Produção
TRC	Taxa de Remuneração do Capital
VCM	Volume Corpuscular Médio
VPL	Valor Presente Líquido
Wi	Peso Médio Inicial
Wf	Peso Médio Final

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	A tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	18
2.1.1	Cultivo de tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>)	20
2.2	A spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>)	24
2.3	Hematologia em peixes	27
2.4	Glicosaminoglicanos (GAGs)	30
2.5	Tecnologia do ferrocimento	32
2.6	Sistemas de recirculação para aquicultura (SRA)	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Estrutura de cultivo	38
3.2	Desempenho zootécnico	42
3.3	Qualidade de água	45
3.4	Parâmetros hematológicos	46
3.4.1	Eritrograma	46
3.4.1.1	Índices hematimétricos	47
3.4.2	Leucograma	48
3.5	Extração de glicosaminoglicanos (GAGs)	49
3.6	Análise financeira	50
3.7	Análise estatística	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	Desempenho zootécnico	52
4.2	Qualidade de água	57
4.3	Parâmetros hematológicos	63
4.4	Extração de glicosaminoglicanos (GAGs)	71
4.5	Análise financeira	73
5	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INSUMOS	99
	APÊNDICE B – TABELA DE FLUXO DE RECEITAS E CUSTOS	100
	ANEXO A – TABELA ALIMENTAR DE RAÇÃO INTEGRAL MIX	101

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018), o cultivo de peixes representa cerca de 49% da produção aquícola mundial e, dentro da piscicultura continental (em água doce), a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se como a quarta espécie mais cultivada em toneladas, ficando atrás apenas de três espécies de carpa cultivadas na China, maior país produtor do mundo.

No Brasil, a tilapicultura corresponde a 43% da produção de peixes, contribuindo com 35% no total da aquicultura no país (IBGE, 2016). O cultivo de tilápias é representado quase que exclusivamente pela tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em suas diferentes linhagens e vem apresentando um crescimento contínuo desde 1994, a uma taxa média anual de 70%, sendo que obteve ápice produtivo entre os anos de 2003 a 2009, quando chegou a crescer até 105% (SEBRAE, 2015). Contudo, o menor volume de chuvas vem prejudicando o desempenho produtivo desde 2015, principalmente na região Nordeste, em especial no Ceará (FIESP, 2017).

Apesar de ter havido uma expansão considerável do setor com a utilização de instalações em reservatórios das grandes hidroelétricas mediante seus múltiplos usos (ROUBACH *et al.*, 2015), alguns fatores podem impactar negativamente na produção brasileira de peixes de água doce. Além dos extremos climáticos no período de estiagem, a crescente eutrofização dos corpos d'água também vem se tornando motivo de preocupação (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

A própria piscicultura contribui diretamente para esse processo, onde a superalimentação e a excreção dos animais levam ao aumento das concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados na água, que ocasiona a proliferação descontrolada de organismos vegetais e fitoplanctônicos, alterando a dinâmica dos nutrientes e gases dissolvidos no meio ambiente (PEREIRA *et al.*, 2012).

Assim, diante do cenário de diminuição da disponibilidade hídrica e grande demanda por proteína animal de alta qualidade, a produção aquícola sustentável se faz necessária para manter a competitividade da aquicultura frente a outras cadeias produtivas da carne (IPEA, 2017). Nesse contexto, pode-se indicar que seus principais impactos ambientais e socioeconômicos estão relacionados diretamente à gestão adequada de resíduos e ao manejo produtivo empregado.

O manejo da tilapicultura tradicional pode se desenvolver em um sistema bifásico, onde após a alevinagem os peixes são estocados em estruturas para engorda final ou pode

apresentar três fases distintas: a alevinagem, a recria e a engorda (SEBRAE, 2014). A separação em três etapas torna-se mais benéfica ao cultivo uma vez que, em cada uma delas, propicia aos peixes receberem cuidados adequados de acordo com seu estágio de vida no tocante às características alimentares, reprodutivas, biológicas, entre outras.

A recria ou segunda alevinagem é a etapa intermediária entre a produção de alevinos (alevinagem) e a fase de engorda para a despesca. Nesse período, os alevinos são colocados em estruturas específicas para completarem seu desenvolvimento até a fase juvenil. O manejo na recria está associado à espécie de peixe e ao sistema de cultivo adotado.

De acordo com Trombeta, Bueno e Mattos (2017), no cultivo de *O. niloticus* em viveiros escavados, por exemplo, o alevino com 1,0 grama pode atingir até 50,0 gramas em 60 dias e 80% de sobrevivência, dependendo da qualidade da água e do alimento ofertado, onde passa a ser chamado de “alevinão”, obtendo tamanho suficiente para estocagem nas estruturas de engorda sem grandes perdas (mortalidade ou escapes).

Contudo, dentro do pacote tecnológico constituído da tilapicultura, a recria feita em tanques-redes berçários, em especial dentro de ambientes lênticos, ainda é motivo de preocupação quanto aos impactos ambientais causados por fezes e perdas de ração não ingerida de alto teor de proteína bruta para o corpo d’água (BOSMA; VERDEGEM, 2011).

Além disso, o alimento não aproveitado pode influenciar fortemente no aumento dos custos, o que diminui a eficiência de produção. Cerca de 60% das despesas totais em uma criação de tilápia provêm da aquisição de ração balanceada (SONODA; FRANÇA; CYRINO, 2016). Em sistemas intensivos tem-se perdas de em torno de 10% da ração ofertada e no máximo 40% da matéria seca ingerida consegue ser assimilada pelos peixes, o restante acaba gerando poluição por matéria orgânica no meio ambiente (AMIRKOLAIE, 2011).

Conforme relataram Chávez-Crooker e Obrique-Contreras (2010), dentro de uma boa gestão de resíduos na aquicultura, a remoção de nitrogênio e fósforo dos efluentes diminui seu poder de eutrofização e conseqüente risco biológico, tornando-a sustentável a longo prazo.

Entre as possíveis soluções sustentáveis para a obtenção do pescado, as alternativas tecnológicas a serem adotadas não podem deixar de contemplar a preservação ambiental e sua aplicação em um contexto socialmente adequado (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2010). Esse princípio pode ser encontrado nos sistemas de recirculação de água, em especial os que utilização estruturas de ferrocimento como tecnologia de difusão social (LIMA, 2018).

Várias alternativas podem ser empregadas no tratamento da água de cultivo, tanto

para descarte quanto em recirculação. Um método bastante eficiente é a utilização de organismos fotossintetizantes capazes de retirar principalmente compostos nitrogenados e fosfatados da coluna d'água e metaboliza-los, servindo como biofiltros (KUBITZA, 2017).

O emprego de comunidades perifíticas e fitoplanctônicas no tratamento biológico da água de cultivo, além de contribuir para o manejo sustentável dos sistemas com a melhoria direta na qualidade da água, pode servir como fonte de alimentação natural (MOREIRA; MARTINS; FARIAS, 2011), o que diminui os custos reduzindo a quantidade de ração artificial a ser adquirida e, conseqüentemente, perdida para o ambiente via arraçamento.

A interação entre tilápias nas fases iniciais de desenvolvimento e microalgas, em sistemas controlados, resulta na redução de compostos tóxicos nitrogenados na água (*e. g.* amônia e nitrito), na melhor utilização do alimento natural, além de aumentar a sobrevivência, a produção e, conseqüentemente, o lucro final (COSTA *et al.*, 2011). Em cultivos consorciados, onde a tilápia do Nilo (*O. niloticus*) não é a espécie alvo e depende do alimento natural para sobreviver, ela normalmente consome alimento vivo na forma de plâncton, perifíton e flocos microbianos (PEDREIRA *et al.*, 2016a).

Entre as microalgas utilizadas na aquicultura, destaca-se a cianobactéria spirulina (*Arthrospira platensis*), que apresenta alto poder de assimilação de amônia e nitrato presentes nos efluentes de cultivo dos peixes. Com isso, a interação da spirulina com a tilápia do Nilo gera grandes benefícios aos organismos trabalhados, como o enriquecimento do meio de cultivo pela alimentação dos peixes para a produção de biomassa de alto valor proteico e a remoção de nutrientes da água pelo crescimento da microalga que diminui do efeito de substâncias tóxicas nocivas ao crescimento dos peixes, o que possibilita o reuso da água em sistemas de recirculação mitigando os impactos ambientais da aquicultura (COÊLHO *et al.*, 2014).

Diante do exposto anteriormente, para a condução da presente pesquisa, partiu-se de pressupostos relacionados nas seguintes hipóteses:

- a) a spirulina (*A. platensis*) mantém a qualidade de água no cultivo de tilápia do Nilo (*O. niloticus*);
- b) os alevinos de tilápia apresentam melhor estado nutricional quando alimentados com spirulina viva;
- c) o cultivo de tilápia com spirulina é viável em tanques de ferrocimento com recirculação de água salobra;
- d) quando suplementada na dieta, a spirulina viva eleva o teor de glicosaminoglicanos na pele das tilápias.

Assim, tendo como desafio propor a aplicação de uma técnica que tenha versatilidade, custos reduzidos e de aplicabilidade na cadeia produtiva da tilapicultura, promovendo a sustentabilidade com segurança e qualidade, este trabalho tem como objetivo geral propor uma alternativa viável financeiramente que minimize danos ambientais e produza peixes com maior sanidade, utilizando tanques de ferrocimento para recria de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) com spirulina (*A. platensis*) em um sistema de recirculação de água salobra.

Para tanto, teve-se como objetivos específicos:

- a) realização de biometrias para acompanhar o desempenho zootécnico dos alevinos cultivados;
- b) determinação da qualidade da água durante o período de cultivo;
- c) avaliação da viabilidade financeira do sistema proposto;
- d) obtenção de parâmetros hemato-imunológicos do sangue dos peixes;
- e) extração de glicosaminoglicanos (GAGs) da matriz de pele dos animais para a avaliação da incorporação de compostos imunoestimulantes presentes na microalga que pudessem indicar aumento da sanidade do cultivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Tilápia é a denominação comum de várias espécies de peixes ciclídeos que se distribuem originalmente do centro-sul da África até o norte da Síria. Cerca de 22 espécies de tilápia são cultivadas no mundo. Porém, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a tilápia mossâmbica (*O. mossambicus*), a tilápia azul (*O. aureus*), *O. macrochir*, *O. hornorum*, *O. galilaeus*, *Tilapia zillii* e a *T. rendalli* são as espécies mais comerciais (EL-SAYED, 1999).

A primeira introdução de tilápia no Brasil ocorreu em 1953 na região do estado de São Paulo, com a tilápia do Congo (*Tilapia rendalli*). Em 1971, foram introduzidas pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) no Nordeste, a tilápia de Zanzibar (*Oreochromis hornorum*) e a tilápia do Nilo (*O. niloticus*), a qual expandiu a sua distribuição devido ao seu potencial para a aquicultura (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004).

A tilápia do Nilo (*O. niloticus*) é um peixe do grupo dos Teleósteos, Ordem Perciforme, Família Cichlidae e Subfamília Pseudocrenilabrinae. Originou-se no continente africano, habitando os lagos do centro-oeste e as bacias dos rios Nilo, Níger e Chade. Ao longo dos anos, esse peixe se distribuiu em regiões tropicais e subtropicais, como em Israel, no sudoeste asiático e no continente americano (PHILIPPART; RUWET, 1982).

A tilápia do Nilo possui corpo com formato comprimido e achatado lateralmente, com escamas do tipo cicloides e coloração acinzentada. Apresenta listras verticais escuras e regulares na nadadeira caudal e na lateral do corpo (SILVA *et al.*, 2015), conforme a Figura 1.

Figura 1 – Exemplar de tilápia do Nilo (*O. niloticus*).



Fonte: Autor.

Ainda conforme os mesmos autores, as tilápias são classificadas como peixes onívoros, herbívoros, zooplânctófagos ou fitoplânctófagos, apresentando uma ampla dieta composta por organismos vegetais (algas, plantas aquáticas, sementes, entre outros) e pequenos animais (larvas de insetos, moluscos, anfíbios, peixes pequenos, entre outros).

Algumas espécies de tilápia, em particular a *O. niloticus*, alimentam-se de fitoplâncton e zooplâncton, principalmente, em seu estágio inicial de crescimento. Seus rastros branquiais são longos, numerosos e próximos entre si, contribuindo para que o alimento seja filtrado juntamente com o muco das brânquias. Também protegem as brânquias contra lesões ocasionadas pelas partículas ingeridas (MORO *et al.*, 2013).

A tilápia do Nilo apresenta no início do intestino cecos pilóricos, que são projeções em forma de saco, que contribuem para o aumento da superfície digestiva, elevando a hidrólise de proteínas e a absorção de nutrientes (BALDISSEROTO, 2009).

Quanto à reprodução, as tilápias são consideradas prolíferas e apresentam maturidade sexual entre o terceiro e o quarto mês de vida. A reprodução prematura deve ser monitorada, visto que pode ocasionar a superpopulação nos tanques, desencadeando competição por alimento e, por conseguinte, um crescimento insatisfatório (LÈVEQUE, 2002).

A maturidade sexual ocorre quando as gônadas (ovários e testículos) começam a produzir gametas viáveis. Esse período depende de diversos fatores como idade, tamanho, temperatura, fotoperíodo e alimentação (RIBEIRO; MOREIRA, 2012).

Seu ciclo reprodutivo é controlado por estímulos ambientais, os quais são captados pelo sistema sensorial, transmitidos em mensagens neuroendócrinas e chegam ao hipotálamo, que estimula a liberação de hormônios gonadotróficos pela hipófise. Tais hormônios estimulam a formação dos gametas, regulam as características sexuais secundárias, a coloração nupcial e o comportamento reprodutivo (MUNAKATA; KOBAYASHI, 2010).

Além disso, possui alto desempenho em sistemas intensivos de produção, rusticidade, facilidade para obtenção de larvas, crescimento acelerado em criação intensiva, hábito alimentar onívoro, fácil aceitação de dietas artificiais desde o estágio larval, resistência a diferentes sistemas de manejo, a doenças e à alta densidade de estocagem. Tais características estimulam o potencial aquícola, tornando a tilápia a espécie de peixe mais cultivada do mundo (CASTAGNOLLI, 1992; COWARD; BROMAGE, 2000; FURLANETO; AYROZA; AYROZA, 2010).

2.1.1 Cultivo de tilápia do Nilo (*O. niloticus*)

A tilápia do Nilo, *O. niloticus*, é uma espécie de peixe de alto interesse comercial, apresenta uma carne de excelente sabor e boa aceitação no mercado consumidor, sendo a espécie mais cultivada no Brasil. É um peixe africano, rústico, possui hábito alimentar planctófago e detritívoro, podendo atingir até 800 g em seis a oito meses (SEBRAE, 2014).

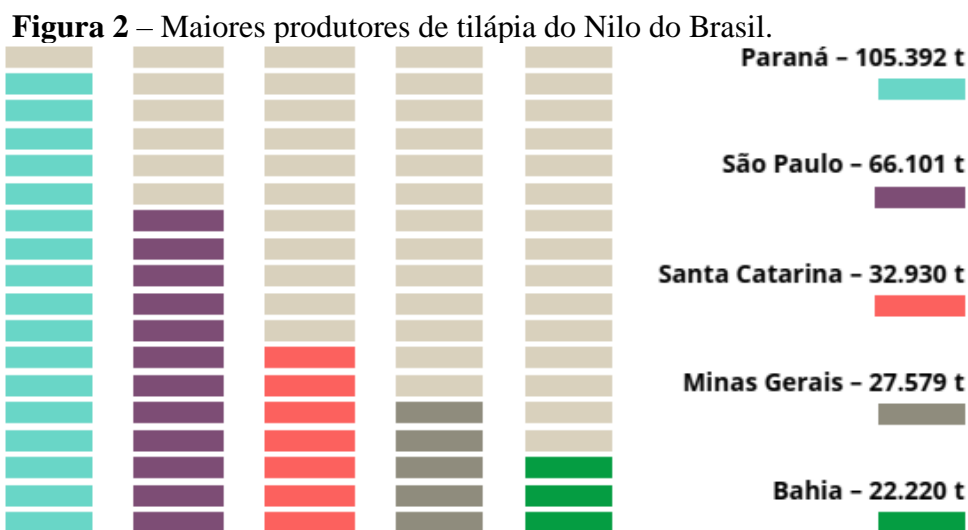
Seu cultivo é facilitado por características, como adaptação a diversas condições ambientais, a resistência a doenças, possibilidade de cultivo em lagos, açudes, tanques-rede e represas artificiais, baixa necessidade de oxigênio, resistência à bruscas alterações na temperatura da água, facilidade de alimentação e reprodução (CASTAGNOLLI, 1992).

Além disso, *O. niloticus* possui carne tenra, saborosa, com baixas calorias e poucos espinhos, tendo ótima aceitação no mercado. Essa espécie não apresenta espinhos em forma de “Y” no músculo, com filé apropriado para indústria (HILDSORF, 1995).

O cultivo de tilápias, também conhecido como tilapicultura, é realizado principalmente no sistema intensivo, caracterizado pelas altas densidades de estocagem (GONÇALVES *et al.*, 2008).

De acordo com a Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXE BR, 2018), em anuário lançado em 2018, o Brasil é o 4º maior produtor mundial de tilápias, produzindo 357.639 toneladas em 2017. Tal quantidade é oriunda quase que em sua totalidade da espécie *O. niloticus* e representou 51,7% da piscicultura nacional naquele ano.

O Paraná é o maior produtor de tilápia do Nilo do Brasil, onde a espécie representa 94% da produção de peixes cultivados nesse estado. Em segundo vem o estado de São Paulo, com enorme impacto na piscicultura, chegando a 95% do total (FIGURA 2).



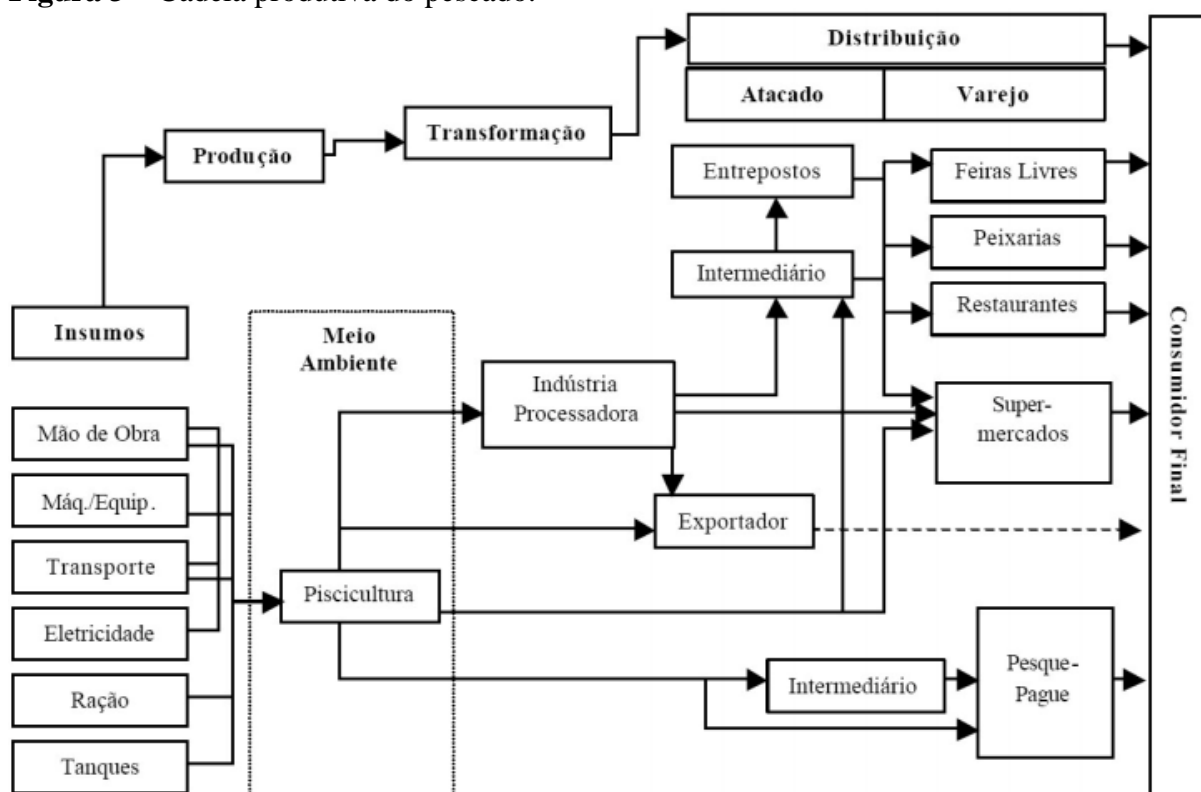
Fonte: Peixe BR (2018).

A tilápia do Nilo apresenta um grande potencial para a aquicultura, devido a facilidade reprodutiva e aos baixos custos de produção, podendo ser cultivadas em locais com alta salinidade e baixas temperaturas (VICENTE; FONSECA-ALVES, 2013).

Esse grande potencial da tilapicultura traz vários benefícios à região produtora, uma vez que a instalação de empreendimentos aquícolas não se limita somente ao cultivo dos organismos para consumo. Se faz necessário também o estabelecimento de empresas atuantes no fornecimento de alevinos e ração balanceada, por exemplo, a fim de gerar insumos para a cadeia produtiva (IPEA, 2017).

Além disso, também são geradas atividades posteriores ao cultivo, especialmente no processamento e na comercialização que complementam a cadeia produtiva, que apresenta funcionamento dinâmico entre o setor de insumos, sistemas produtivos, indústria de beneficiamento do pescado, comercialização e mercado consumidor, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Cadeia produtiva do pescado.



Fonte: Adaptado de Giulietti *et al.* (1996).

Os sistemas aquícolas em geral podem ser classificados em várias categorias, de acordo com suas particularidades, bem como vantagens e desvantagens. Por exemplo, a utilização da água define os sistemas em (LANDAU, 1992):

- a) abertos – o local de cultivo é o próprio meio natural e não há necessidade de captação ou circulação de água;
- b) semifechados – ocorre a captação da água até uma estrutura produtiva, onde é realizada uma circulação parcial da água;
- c) fechados – onde a água é totalmente reutilizada no sistema após tratamento, podendo ser aproveitada em vários ciclos de cultivo.

Segundo Crepaldi *et al.* (2006), dentro da piscicultura tradicional realizada no Brasil, podem-se destacar os sistemas de viveiros, denominados semifechados extensivos ou semi-intensivos, os sistemas em tanques-rede, ditos abertos e intensivos (FIGURA 4), além dos sistemas de recirculação de água, que são fechados e intensivos.

Figura 4 – Sistemas de piscicultura: em viveiro com hapas (E) e em tanques-rede (D).



Fonte: Autor.

O cultivo em viveiros, escavados ou de alvenaria, pode ser realizado com uma ou mais espécies na mesma estrutura, utilizando uma densidade de estocagem relativamente baixa (1000 a 2000 peixes/hectare). O viveiro necessita de água para seu enchimento e para reposição da água infiltrada e/ou evaporada (QUEIROZ *et al.*, 2005).

Para aumentar o desempenho econômico, utilizam-se fertilizantes que incrementam a produtividade primária do viveiro devido a adição de compostos nitrogenados e fosfatados (SHRESTHA; LIN, 1996). Todavia, segundo Lin e Yi (2003), o fato de agregar ração e adubação limita as condições de cultivo e compromete a qualidade da água, fazendo uma produção mais intensificada menos eficiente quanto outros sistemas como tanques-rede.

O cultivo em tanques-rede ocorre em corpos d'água naturais e/ou artificiais, com troca de água e consequente remoção dos dejetos do interior da estrutura para o ambiente externo. Os tanques podem ser feitos de inúmeros materiais, tais como ferro galvanizado, PVC e nylon, além de materiais sintéticos. São diversificados quanto ao tamanho e à forma, sendo encontrados nas formas retangular, quadrada ou cilíndrica (BEVERIDGE, 2004).

As principais vantagens do sistema de cultivo em tanques-rede são o uso de fontes de água prontamente disponíveis, maior eficiência de gestão e colheita fácil, bem como as taxas de ocupação elevadas e fluxo contínuo de água, que, teoricamente, pode melhorar a qualidade da água dentro dos tanques-rede (BORGHETTI; SILVA, 2008). Comparados com os sistemas de fluxo contínuo ou *raceway*, os tanques-rede apresentam uma maior lucratividade e eficácia econômica (COLLINS; DELMENDO, 1979; BEVERIDGE, *op cit.*).

Devido à grande capacidade hídrica e à produção crescente de tilápias no Brasil, há um aumento na utilização de animais melhorados em condições de criação intensiva. Os peixes são selecionados de acordo com as características de maior interesse comercial, como ganho de peso (KUNITA *et al.*, 2013; YOSHIDA *et al.*, 2013), peso médio final (REIS NETO *et al.*, 2014) e rendimento de filé (GJERDE *et al.*, 2012; NGUYEN *et al.*, 2010).

O melhoramento genético de tilápias no Brasil teve início com a importação de 30 famílias da variedade “Genetically Improved Farmed Tilapias (GIFT)”, oriundas da Malásia. Esse núcleo de melhoramento permitiu a realização de estudos para a avaliação genética, com métodos de controle individual de *pedigree* e seleção, sob as condições ambientais do país (SANTOS *et al.*, 2011). O ganho genético foi de 3,8% por geração, com acumulado de 15% em quatro gerações, com mudanças pela seleção dos peixes (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Entretanto, no Brasil, vários estudos apontam problemas socioambientais associados à aquicultura de tanque-rede em reservatórios, como a eutrofização da água de abastecimento (CARVALHO; RAMOS, 2010), alterações ecológicas e no habitat dos peixes nativos (STRICTAR-PEREIRA; AGOSTINHO; GOMES, 2010), além da atração de peixes nas proximidades dos tanques-rede, fuga de exemplares cativos, entre outros (RAMOS; VIDOTTO-MAGNONI; CARVALHO, 2008).

Por outro lado, os tanques-rede também podem colaborar com a introdução de patógenos, dificultar a navegação, alterar a dinâmica das correntes próximas à superfície e aumentar as taxas de sedimentação nos reservatórios aquáticos (BUENO *et al.*, 2008).

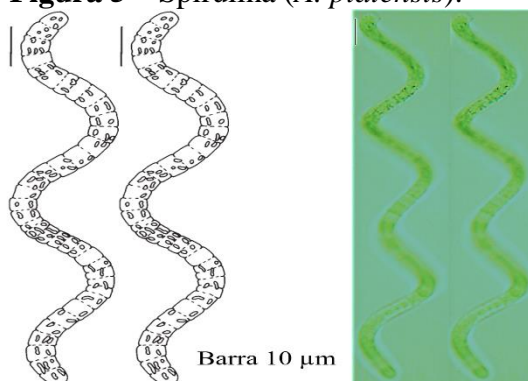
Em relação às alterações na qualidade de água, tanto viveiros (com descargas de efluentes) quanto tanques-rede (aporte direto de resíduos) e sistemas de recirculação (acumulação de substâncias tóxicas) devem apresentar um acompanhamento das variáveis físicas, químicas e microbiológicas da água para a obtenção de melhores desempenhos, menores impactos ambientais e maior bem-estar (KUBITZA, 2000; BIANCA, 2009).

Em quantidade, o cultivo em viveiros chega a consumir de 12.000 L a 38.000 L de água/ kg de peixe (enchimento, infiltração e evaporação). Já os SRAs apresentam perdas médias de 2 a 5%, requerendo 38 a 76 L de água/kg de peixe (HOPKINS; MANCI, 1992).

2.2 A spirulina (*Arthrospira platensis*)

A cianobactéria Spirulina (*A. platensis*) possui estrutura filamentosa em tricomas, com coloração verde azulada, dispostas na forma helicoidal (FIGURA 5) e contém vários micronutrientes importantes que podem ser incorporados na dieta humana, tais como: aminoácidos, ácidos graxos essenciais, vitaminas, minerais e pigmentos antioxidantes (JAIME-CEBALLOS *et al.*, 2007). As células podem variar quanto ao comprimento e ao grau de espiralização de acordo com as condições ambientais, apresentando cerca de 500 μm de comprimento e de 3 a 6 μm de diâmetro (HABIB *et al.*, 2008).

Figura 5 – Spirulina (*A. platensis*).



Fonte: Adaptado de Santos e Sant'Anna (2010).

A *A. platensis* não possui celulose na composição da parede celular como em algumas microalgas, possuindo a mureína como mucopolímero constituinte. Pode ocorrer um aumento na produção de mucilagem em condições adversas, que acarreta na formação de agregados quando ocorrido estresse ambiental (SILI; TORZILLO; VONSHAK, 2012).

Devido a tal característica, pode ser facilmente digerida pelas enzimas digestivas de peixes (TEIMOURI; AMIRKOLAIE; YEGANEH, 2013). Dessa forma, esta cianobactéria vem sendo usada em tentativas de suplementação proteica visando baratear rações comerciais.

Esses organismos conseguem produzir, em alguns casos, diversos nutrientes em proporções e qualidade superiores às fontes convencionais.

Na Tabela 1, observa-se a composição de carboidratos, lipídios e proteínas de diferentes microalgas comparadas com outras fontes nutricionais:

Tabela 1 – Composição média de carboidratos, lipídios e proteínas de diferentes ingredientes alimentares (% matéria seca).

INGREDIENTES	CARBOIDRATO	LIPÍDIO	PROTEÍNA BRUTA
Arroz	77	2	8
<i>Arthrospira sp.</i>	13-16	6-7	60-71
Carne	1	34	43
<i>Chlorella vulgaris</i>	12-17	14-22	51-58
Fermento biológico	38	1	39
Leite bovino	38	28	26
<i>Scenedesmus obliquus</i>	10-17	12-14	50-56
Soja	30	20	37

Fonte: Adaptado de Spolaore *et al.* (2006).

A spirulina é capaz de produzir até cerca de 70% de proteína bruta em relação à matéria seca. Ademais, as proteínas sintetizadas por esse organismo são consideradas completas, apresentando em seu perfil todos os aminoácidos essenciais aos seres humanos, conforme demonstrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Composição média de aminoácidos essenciais da *A. platensis*.

AMINOÁCIDOS	VALORES (mg AA . g PTN ⁻¹)
Fenilalanina	53
Histidina	22
Isoleucina	67
Leucina	98
Lisina	48
Metionina	25
Treonina	62
Triptofano	3
Valina	71

Fonte: Adaptado de Dillon, Phuc e Dubacq (1995).

Além de apresentar elevado teor de proteína, a spirulina é considerada uma das fontes mais ricas de provitamina A (β -caroteno) e de ferro absorvível, bem como de outros compostos fenólicos, ficocianina e ácido γ -linolênico (AMBROSI *et al.*, 2008).

O perfil de ácidos graxos da *A. platensis* é rico em γ -linolênico, chegando a 36% da quantidade total de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA's), além de também fornecer o ácido linoleico, ácido estearidônico, ácido eicosapentaenóico, entre outros (TABELA 3).

Tabela 3 – Perfil de ácidos graxos da *A. platensis* (% matéria seca).

ÁCIDOS GRAXOS	SIMBOLOGIA	TEOR (%)
Láurico	C12:0	0,4
Mirístico	C14:0	0,4
Miristoléico	C14:1(9) ω 5	0,2
Palmítico	C16:0	45,5
Palmitoléico	C16:1(9) ω 7	9,5
Hexadecadienóico	C16:2	1,2
Margárico	C17:0	0,3
Esteárico	C18:0	1,3
Oléico	C18:1(9) ω 9	3,8
Linoléico	C18:2(9,12) ω 6	14,5
γ -Linolênico	C18:3(6,9,12) ω 6	0,3
α -Linolênico (ALA)	C18:3(9,12,15) ω 3	21,3
Eicosadienóico	C20:2(11,14) ω 6	ND
Eicosapentaenoico (EPA)	C20:5(5,8,11,14,17) ω 3	0,4

Fonte: Adaptado de Richmond (2004).

Por suas características bioquímicas, a spirulina apresenta considerável propriedade imunoestimulante evidenciada em mamíferos (HIRAHASHI *et al.*, 2002), peixes (RAPAG; KHALIL; MUTAWIE, 2012) e camarões (CHEN *et al.*, 2016). Ela sintetiza grande quantidade de ficocianina, uma molécula bioativa que melhora a imunidade dos animais, possuindo atividade anticarcinogênica (LIU *et al.*, 2016), antioxidante (ZAID; HAMMAD; SHARAF, 2015) e antileucêmica (HERNANDEZ; KHANDUAL; LÓPEZ, 2017).

Todavia, um dos fatores limitantes para a produção em larga escala da *A. platensis* ainda é o custo de produção com nutrientes. Assim, diversos trabalhos têm buscado o uso de meios alternativos com custos mais acessíveis (RIAÑO; HERNÁNDEZ; GONZÁLEZ, 2012).

Para tanto, vem-se adotando efluentes aquícolas e industriais como meio de cultura alternativo para viabilização da produção em grandes volumes (NEVES *et al.*, 2013). Estima-se que a produção de 1 tonelada de tilápia geraria cerca de 128 kg de nitrogênio total, dos quais apenas 30 kg são convertidos em biomassa pelo organismo, enquanto o restante é transformado em sobras ou excretas e ficam diluídos na água (CYRINO *et al.*, 2010).

Segundo Mezzomo *et al.* (2010), a *A. platensis* também já se mostrou eficiente no tratamento de efluentes de suínos. Além disso, apresenta uma grande vantagem em relação às

demais: poder ser facilmente filtrada devido ao seu comprimento e estrutura espiralada. Após filtração, a biomassa obtida pode enriquecer a dieta dos organismos cultivados.

Alguns dos pigmentos capazes de conferir cor aos peixes e, por conseguinte, melhor aparência são os carotenoides, porém os mesmos não podem ser sintetizados pelos animais, que precisam encontrar na dieta a principal fonte desses pigmentos. Na spirulina, entre os carotenoides, destaca-se o β -caroteno, podendo chegar a quase 70% dos pigmentos totais (MAZZA *et al.*, 2011), o que ocasiona um efeito acentuado na coloração dos filés. Trabalhos de intensificação da pigmentação em peixes já buscaram diversas fontes biológicas de carotenoides, tais como crustáceos (TORRISEN, 1985), leveduras (JOHNSON; VILLA; LEWIS, 1980), e *A. platensis* (BOONYARATPALIN; UNPRASERT, 1989).

Em relação à aplicação direta na piscicultura, Moreira, Martins e Farias (2011) concluíram que alevinos de tilápia do Nilo, durante reversão sexual em água salobra, apresentaram maiores crescimento e sobrevivência na presença de *A. platensis*, comparados àqueles alimentados somente com ração comercial.

2.3 Hematologia em peixes

A hematologia estuda as alterações dos padrões e dos distúrbios morfológicos das células do sangue (ETIM *et al.*, 2013). O sangue é um tecido conectivo de propriedades especiais, sua matriz extracelular é líquida (plasma), composta por 90% de água, 7% de proteínas (globulinas e albumina) que são imprescindíveis para manutenção da pressão oncótica, além disso, é composto por metabólitos como hormônios, enzimas e eletrólitos variados, de acordo com Ranzani-Paiva e Silva-Souza (2004).

Conforme Satake, Pádua e Ishikawa (2009), a hematologia clínica é uma ferramenta que permite o diagnóstico de doenças e pode atuar como indicador prognóstico das condições patológicas, quando se considera alterações morfológicas das células sanguíneas.

A aplicação da hematologia em pesquisa com animais é bem aceita e considerada um método de diagnóstico de ferramenta prática (YASINI *et al.*, 2012). Estas avaliações permitem notar a resposta dos peixes, quando doentes, de modo rápido e com baixo custo.

O desenvolvimento bem-sucedido da hematologia em peixes só ocorreu nos últimos vinte anos, por meio de informações sobre a função e maturação das células do sangue, respostas fisiológicas, hematológicas e técnicas padronizadas para estes animais. No entanto, a literatura mais antiga é mais confusa e conflitante (HRUBEC; SMITH, 2010).

Para Silva, Lima Blanco (2012), o conhecimento dos valores de referência hematológico para cada espécie de peixe é de grande relevância, haja vista as variações ambientais e fisiológicas interferirem no padrão homeostático destes animais. Desta forma, os parâmetros sanguíneos (TABELA 4) podem ser usados como indicadores biológicos do bem-estar dos peixes, sendo utilizados como ferramenta para o diagnóstico de estresse animal, de desequilíbrio pelo ambiente ou devido à presença de agentes infecciosos.

Tabela 4 – Referências de parâmetros hematológicos da tilápia do Nilo (*O. niloticus*).

PARÂMETROS	INTERVALO DE REFERÊNCIA
Hemoglobina (g/dL)	6,58 – 15,98
Hematócrito (%)	15 – 45
Proteína plasmática total (g/dL)	1,81 – 3,98
Eritrócitos ($10^6/\text{mm}^3$)	0,7 – 28
Volume corpuscular médio (μ^3)	12,36 – 528,57
Hemoglobina corpuscular média (pg)	5,07 – 120,86
Concentração de hemoglobina corpuscular média (%)	19,84 – 87,73

Fonte: Adaptado de Bittencourt *et al.* (2003).

Fatores como idade, sexo, estado nutricional, patologias ou mudanças no ambiente, podem interferir nos parâmetros sanguíneos dos peixes causando alterações bioquímicas plasmáticas e morfológicas nas células (ISHIKAWA *et al.*, 2010a).

Segundo Ranzani-Paiva *et al.* (2013), o sangue dos peixes é constituído por diferentes tipos de células, tais como eritrócitos, leucócitos e trombócitos. O tecido sanguíneo interage com os demais tecidos do organismo auxiliando em importantes funções, entre eles: respiração, transporte, osmorregulação e defesa.

As hemácias são também conhecidas pelos termos "glóbulos vermelhos" ou "eritrócitos" e sua principal função é o transporte de oxigênio e de gás carbônico no sangue. A destruição acelerada dos eritrócitos pode ocorrer por parasitas sanguíneos, vírus, bactérias, doenças metabólicas e intoxicações (LOPES, 2007).

Os eritrócitos, que são células nucleadas assim como leucócitos, sobrepõem em tamanho, evitando a utilização de métodos automatizados para determinar a contagem de células. A diversidade de espécies de peixes, bem como suas diferentes morfologias e funções ecológicas torna a análise do grupo muito difícil (HRUBEC; SMITH, *op. cit.*).

Segundo Drumond *et al.* (2010) os glóbulos brancos, ou leucócitos, são as células mais importantes para a defesa e, por isso, podem auxiliar na avaliação do sistema imunológico dos peixes, pois utilizam as vias sanguíneas para realizar o monitoramento de possíveis infecções ou quaisquer avarias teciduais.

São tipos de leucócitos encontrados na corrente sanguínea dos peixes: neutrófilos, eosinófilos, basófilos, monócitos e linfócitos (LABH; SHAKYA, 2014). O aumento de leucócitos é observado no início de estresse nos peixes, considerado como tentativa de recuperar a homeostase em desequilíbrio; o decréscimo na contagem de leucócitos pode ser devido ao enfraquecimento do sistema imunológico (SOUSA *et al.*, 2013).

De acordo com Tavares-Dias *et al.* (2007) os trombócitos são células multifuncionais e estão envolvidas no processo de coagulação sanguínea, embora não sejam células leucocitárias, também participam da defesa através da sua atividade fagocítica.

Ainda conforme os mesmos autores o aumento de trombócitos pode estar relacionado a diversos fatores, mas principalmente ao estresse ou quando há sangramentos, por exemplo, impedindo a perda de sangue excessiva. A baixa concentração de trombócitos em peixes remete à deficiência nutricional. As variáveis relativas ao eritrograma auxiliam na identificação de processos anêmicos, enquanto o leucograma auxilia no diagnóstico de processos infecciosos e outros estados de desequilíbrio homeostático (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Em estudos avaliativos da saúde de peixes no Brasil, a hematologia clínica vem sendo utilizada como método indireto na determinação das exigências nutricionais e respostas a patógenos em diferentes espécies cultivadas (TABELA 5):

Tabela 5 – Estudos hematológicos em peixes cultivados no Brasil.

PEIXE	AUTORES
Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>)	Ghiraldelli <i>et al.</i> (2006) Weinert <i>et al.</i> (2014)
Curimatá (<i>Prochilodus lineatus</i>)	Ranzani-Paiva <i>et al.</i> (2000) Gonçalves <i>et al.</i> (2010)
Lambari (<i>Astyanax sp.</i>)	Winkaler <i>et al.</i> (2001) Jatobá <i>et al.</i> (2018)
Matrinxã (<i>Brycon amazonicus</i>)	Hoshiba, Gonçalves e Urbinati (2009) Ferreira, Oliveira e Val (2010)
Pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>)	Farias <i>et al.</i> (2016) Fries <i>et al.</i> (2016)
Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>)	Marinho <i>et al.</i> (2015) Silva e Duncan (2016)
Surubim (<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>)	Pádua e Ishikawa (2011) Nunes <i>et al.</i> (2014)
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	Junior <i>et al.</i> (2013) Junior <i>et al.</i> (2014)
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Hisano, Barros e Pezzato (2007) Araújo <i>et al.</i> (2011)

Fonte: Autor.

Contudo, exames hematológicos exigem que a obtenção de sangue seja realizada rapidamente e sem causar estresse adicional, uma vez que a captura, a contenção e a punção sanguínea podem ocasionar alterações nos parâmetros sanguíneos avaliados se realizadas inadequadamente (ISHIKAWA *et al.*, 2010b).

Ainda de acordo com os autores supracitados, o peixe deve ser capturado em jejum de 12 horas em temperaturas mais brandas. A contenção mecânica com rapidez e eficiência torna-se mais adequada para a colheita do sangue, onde se utilizam capilares de microhematócrito na coleta e posterior confecção de extensões sanguíneas. Para o acesso ao sangue pode-se utilizar o corte do pedúnculo caudal (com sacrifício do exemplar), a punção branquial e a punção intracardíaca, de acordo com a necessidade e com o tamanho do animal.

2.4 Glicosaminoglicanos (GAGs)

Os glicosaminoglicanos (GAGs) são polissacarídeos lineares, não-ramificados, constituídos de repetidas unidades dissacarídicas, que são formadas por ácido urônico (ácido glicurônico ou idurônico) e açúcar aminado (Nacetil-glicosamina ou N-acetil-galactosamina), exceto o sulfato de queratano e a heparina (KÖWITSCH; ZHOU; GROTH, 2018).

Agindo em agregação com colágeno, glicoproteínas e proteoglicanos, os GAGs formam um conjunto supramolecular que constitui a matriz extracelular do tecido conjuntivo. Tal matriz mantém as células associadas possibilitando a organização dos tecidos e a sobrevivência celular (WATANABE; YAMADA; KIMATA, 1998).

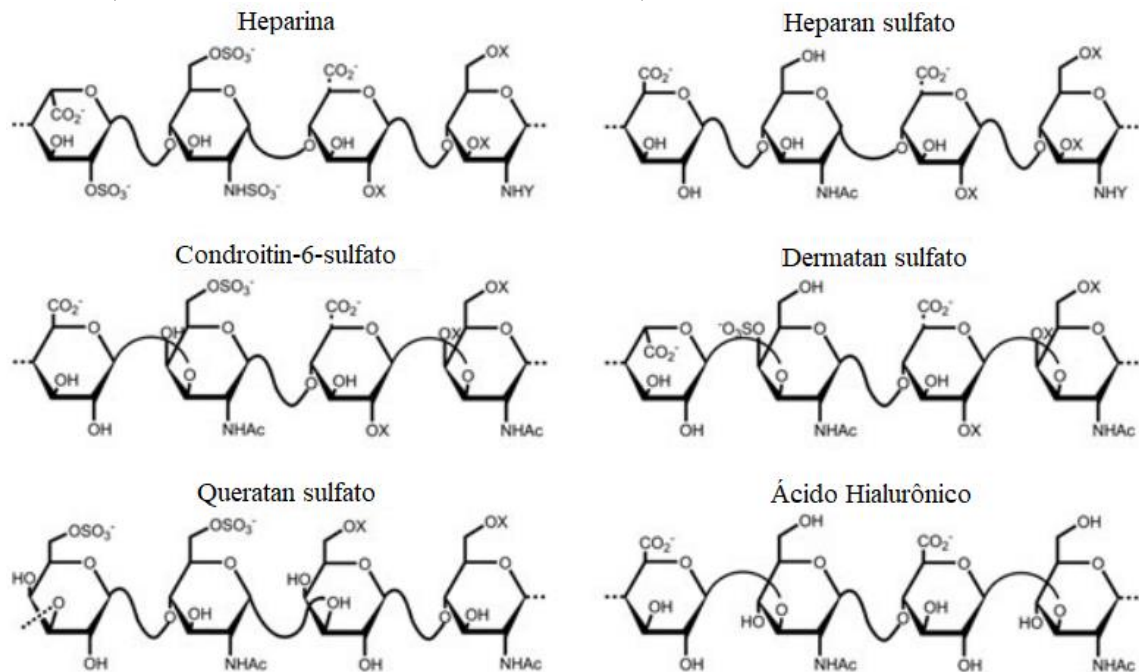
As cadeias GAGs possuem alta carga aniônica que possibilitam grande agregação e conseqüente aumento de tamanho. Essas propriedades de carga e tamanho são determinantes para o funcionamento da cartilagem articular (ROUGHLEY; MORT, 2014). São precursoras de moléculas maiores, conhecidas como proteoglicanos (PGs), quando se distribuem como cerdas ao redor de um filamento de proteína, associando-se a ela de forma covalente.

Em certas situações, as macromoléculas de PGs, ligadas a hialuronato, recebem o nome de Agrecan (agregado de proteoglicanos), que se associam especificamente à cartilagem (VIEIRA *et al.*, 2010). No geral, os Agrecan apresentam afinidade pela água e atuam no preenchimento de espaço de forma eficiente, compondo um gel viscoso por meio do qual metabólitos e nutrientes difundem-se antes de interagirem com as células. A viscosidade da substância fundamental pode ser controlada de acordo com o tipo e a quantidade de polimerização dos glicosaminoglicanos (MOORE; BURRIS, 2014).

Os GAGs específicos de importância fisiológica são: heparan sulfato (HS), condroitin sulfato (CS), dermatan sulfato (DS), queratan sulfato (KS), heparina e o ácido hialurônico (DAY; PRESTWICH, 2002). Esses tipos sulfatados são formados a partir da extremidade não redutora e sintetizados como cadeias laterais ligadas a uma proteína que forma os PGs. Este processamento individual dos GAGs leva a distintos padrões de funcionalização que também é refletida por suas estruturas únicas (FIGURA 6).

Esses compostos do meio extracelular vêm despertando interesse clínico em todas as áreas da medicina, pois estariam direta ou indiretamente envolvidos com tumores, metástases, angiogênese, reações anti-inflamatórias, desenvolvimento folicular e infertilidade, entre outros (GARRIDO, 2014). Entre os locais onde os GAGs são encontrados, estão: pele, humor vítreo (olho), cartilagem e geléia de Wharton (cordão umbilical).

Figura 6 – Unidades repetitivas de dissacarídeos principal e variável diferenciam os GAGs. (X = -OH ou -OSO³⁻; Y = -Ac ou -OSO³⁻).



Fonte: Adaptado de Köwitsch, Zhou e Groth (2018).

Os GAGs podem apresentar ação terapêutica em doenças vasculares, atuando na prevenção e tratamento da trombose, de doença venosa crônica avançada com úlceras cutâneas, da arteriopatia obstrutiva dos membros inferiores e da microangiopatia diabética (FRATI-MUNARI, 2012). A heparina (Hep) e o dermatan sulfato (DS), por exemplo, possuem forte atividade anticoagulante e antitrombótica, sendo a heparina amplamente pesquisada para evitar a coagulação sanguínea desde 1916 (McLEAN, 1916).

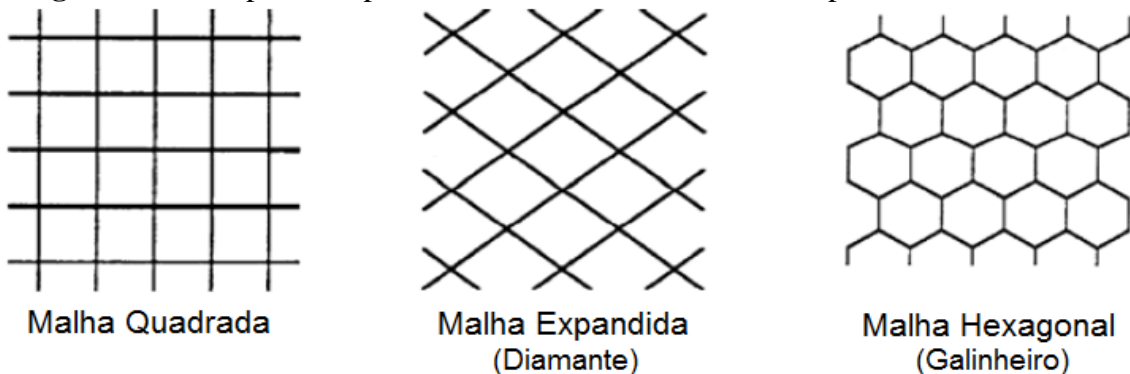
Por sua vez, o dermatan sulfato (DS), também está presente em grande quantidade na matriz intercelular pele, proporcionando viscosidade e elasticidade à camada da derme, através da redução da perda de água da epiderme, aumento da retenção de água para a derme, participação da migração celular, além de atuar na prevenção da integridade das fibras de colágeno e na cicatrização de feridas (THELIN *et al.*, 2013).

Ademais, além de atuarem no preenchimento de espaços, os GAGs atuam como mediador para diversas interações receptor-ligante na superfície celular, desempenhando um importante papel na reparação de lesões regulando o crescimento celular e proporcionando qualidade adesiva às células (SALBACH *et al.*, 2012).

2.5 Tecnologia do ferrocimento

O ferrocimento é uma tecnologia de construção com materiais compostos, que utiliza argamassa de cimento e areia, reforçadas com uma malha de ferro ou aço de pequeno diâmetro e aberturas de malha variadas conforme a Figura 7 (BHIKSHMA; RAVANDEKISHORE; SRINIVAS, 2011). Porém, essa estrutura de reforço não é limitada a ferro ou aço, embora a maioria das estruturas construídas aplique esses materiais (ACI, 1997).

Figura 7 – Exemplos de tipos de malha de ferro utilizados em placas de ferrocimento.



Fonte: Adaptado de Ibrahim (2011).

Pode-se ainda considerar a tecnologia ferrocimento como um tipo de concreto armado, o qual exibe um comportamento diferenciado do concreto armado convencional, tanto na aplicabilidade quanto no desempenho de força. Assim, pode ser empregada com eficiência no confinamento do concreto (KONDRAIVENDHAN; PRADHAN, 2009).

Os primeiros trabalhos com aplicação estrutural utilizando a tecnologia ferrocimento foram realizados na França, em meados de 1850, por Jean Louis Lambot, que construiu pequenos tanques de água e vasos de plantas (KUMAR; SHARMA, 1975).

Porém, somente após as obras realizadas pelo arquiteto italiano Pier Luigi Nervi durante a Segunda Guerra Mundial, com a construção de hangares, armazéns, telhados e barcos, entre outros, a tecnologia ferrocimento passou a ser revista e incorporada nos componentes estruturais de construção civil. A partir de então, vem crescendo a participação do ferrocimento no setor com construções de casas, edifícios, barcos e cisternas de água (JOSEPH, 1989; MARTIRENA-HERNANDEZ, 1993; MANSUR; TAN; NAAMAN, 2010).

No caso das cisternas para armazenamento de água, as experiências são bastante satisfatórias, podendo ser construídos tanques de ferrocimento compactos com paredes finas e resistentes capazes de armazenar grandes volumes por longos períodos (HELMREICH, HORN, 2009).

No Brasil, a tecnologia de ferrocimento foi empregada de forma artesanal em comunidades tradicionais, sendo amplamente difundida na região semiárida na década de 1980, por pesquisadores da Universidade Federal do Ceará através do projeto intitulado “Projeto Ferrocimento” (LIMA, 2018).

A característica principal do ferrocimento é a quantidade e a dispersão da malha de reforço. A malha de reforço é espaçada de forma regular e uniformemente distribuída em toda a argamassa, podendo suportar grandes deformações das hastes. Isso a transforma em um composto resistente e de alta flexibilidade (CHANDRASEKHAR; GUNNESWARA; RAMANA, 2006). Ademais, os custos de construção podem ser reduzidos em até 30% quando comparados com estrutura de concreto armado convencional (MOITA *et al.*, 2003).

Estruturas de ferrocimento são construídas com placas finas, onde o material apresenta um comportamento quase homogêneo. Portanto, em uma placa de ferrocimento, a resistência à tração, à fadiga, à flexão e ao impacto e sua tenacidade são incrementadas pela dispersão uniforme do reforço em sua matriz, propiciando uma maior vantagem na fabricação e utilização (RATHISH; RAO, 2006).

As supracitadas propriedades físicas e mecânicas desse material, incluindo o módulo de elasticidade, foram investigadas no decorrer das pesquisas preliminares, quando se comprovou a eficácia do ferrocimento para a construção civil (NAAMAN; SHAH, 1971; NAAMAN; ARGON; MOAVENZADEH, 1973; LOGAN; SHAH, 1973; PICARD; LACHANCE, 1974). Além disso, testes realizados em placas de ferrocimento, submetidas a cargas de força distribuídas uniformemente, mostraram que as estruturas também apresentam vasta resistência ao cisalhamento final (IBRAHIM, 2011).

Assim, as técnicas de construção simples com um mínimo de mão de obra qualificada e o baixo custo relativo fazem da tecnologia ferrocimento uma alternativa

promissora na área da construção civil, justificando seu uso especialmente nos países em desenvolvimento. (MOITA *op. cit.*).

2.6 Sistemas de recirculação para aquicultura (SRA)

Um dos problemas ecológicos recorrentes na aquicultura é o potencial poder poluidor da água, que por sua vez é atribuído, principalmente, ao uso de densidades de estocagem bem elevadas, ocasionando uma maior carga de nutrientes devido aos resíduos de rações e dos metabólitos dos próprios peixes que são excretados diretamente na água de cultivo (SAMUEL-FITWI *et al.*, 2012).

Desta forma, para sustentar a intensificação da produção aquícola e atender aos aumentos na demanda *per capita* de pescado, se faz necessário o uso de tecnologias que atendam tanto a necessidade de aumento produtivo, quanto ao uso dos recursos hídricos de uma forma sustentável (BADIOLA; MENDIOLA; BOSTOCK, 2012).

Neste sentido, o policultivo é uma técnica onde são produzidas diferentes espécies no mesmo ambiente, utilizando organismos com hábitos alimentares distintos a ponto de reduzir a competição por alimento. Devido aos requerimentos ecológicos diferenciados é possível aumentar a eficiência no aproveitamento dos recursos de diferentes nichos ecológicos dentro de um mesmo sistema de cultivo (AUBIN *et al.*, 2015).

No policultivo com microalgas e animais aquáticos, estes últimos propiciam os nutrientes necessários aos primeiros, que são oriundos de seu metabolismo alimentar e respiratório, principalmente nitrogênio, fósforo (MARKOU; VANDAMME; MUYLAERT, 2014) e o CO₂ dissolvido (SINGH; SINGH, 2014). Em contrapartida, a biomassa algal equilibra a qualidade de água do sistema, além de servir como suplemento alimentar ou fonte principal de alimento no cultivo de animais herbívoros e onívoros filtradores (TEIMOURI; AMIRKOLAIE; YEGANEH, 2013; RADHAKRISHNAN *et al.*, 2014).

Essa vertente da aquicultura conta com a interação de processos biológicos na água para fornecer toda ou a maior parte dos suprimentos para os organismos cultivados e também permitir despescas significativas por unidade de área ou volume. Salienta-se que, a aludida técnica que reúne espécies compatíveis e que fazem uso de nichos e níveis alimentares diferentes já vem sendo utilizada ao longo dos anos com relativo sucesso (MOAV, 1977; MALECHA *et al.*, 1981; BARDACH, 1986; WANG *et al.*, 1998; AZIM *et al.*, 2002; TENDENCIA, 2007; CASTRO *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2015).

Por sua vez, o rápido crescimento da aquicultura impulsionado pela grande demanda de pescado causou um aumento da poluição dos corpos hídricos nos últimos anos. Portanto, deve-se observar o uso mais eficiente da água com menor impacto ambiental associado (ZHANG *et al.*, 2011). Assim, entre os modos de produção conhecidos, os Sistemas de Recirculação para Aquicultura (SRA) vêm sendo utilizados para reduzir os impactos ambientais sem comprometer substancialmente o desempenho produtivo.

Os SRAs são essencialmente uma tecnologia para fazenda de peixes ou outros organismos aquáticos a qual faz a reutilização da água na produção. Está fundamentada no uso de filtros mecânicos, para remoção de grandes partículas sólidas em suspensão como restos de ração, fezes e matéria inorgânica particulada, e filtros biológicos, que removem substâncias dissolvidas oriundas da decomposição de matéria orgânica. Tal tecnologia pode ser utilizada no cultivo de espécies de peixes, camarões e moluscos (BREGNBALLE, 2015).

De acordo com Martins, Eding e Verreth (2011), podem ser considerados SRAs sistemas que realizam um tratamento mecânico e biológico da água, reduzindo a quantidade de água e de energia utilizadas, além de diminuir o aporte de nutrientes para o ecossistema.

Esses sistemas oferecem alguns benefícios que favorecem a sustentabilidade da aquicultura quando comparados aos sistemas convencionais de tanques-rede e viveiros. Podem apresentar vantagens pela redução do consumo de água, gestão de resíduos e reciclagem de nutrientes, manutenção da higiene e controle de doenças, além de controles biológicos e de poluição (MARENGONI *et al.*, 2013).

Outro benefício do uso dessa tecnologia é a possibilidade de produzir alimento nas proximidades dos centros urbanos, haja vista necessitar de pouco espaço para funcionamento. Os SRAs podem ser integrados a cultivos de animais ou vegetais, melhorando a eficiência da propriedade aquícola sem prejuízo ao meio ambiente (ALI *et al.*, 2010).

Martins *et al.* (2010) afirmaram que, dentre os sistemas aquícolas existentes, os SRAs possibilitam uma produção considerável, preservando as condições ambientais e garantindo o bem-estar animal com um impacto ecológico mínimo. Por outro lado, a concentração de resíduos orgânicos, como alimentos não ingeridos e subprodutos excretados, facilita seu reuso para adubação orgânica de plantas em sistemas integrados, fazendo com que aumente a sustentabilidade como um todo. O bem-estar dos peixes de cultivo também é relevante, uma vez que o estresse pode desencadear desempenho ruim e doenças (EL-KHALDI, 2010) com consequentes perdas financeiras.

Notoriamente, há inúmeras vantagens no uso da tecnologia de recirculação em fazendas de peixes. Contudo, um dos mais relevantes a ser citado é a minimização de

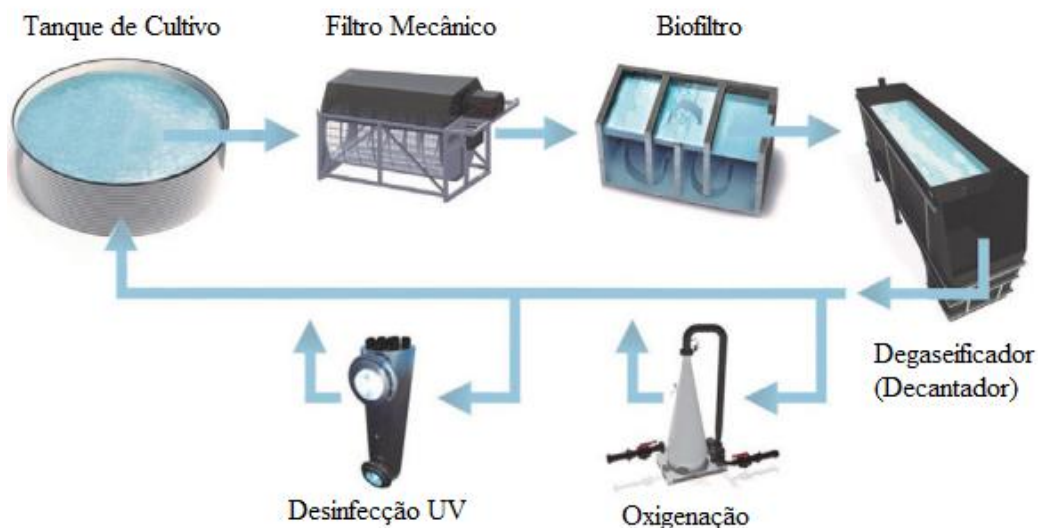
doenças. O impacto de patógenos é consideravelmente baixo em um sistema de recirculação bem como doenças oriundas de ambientes externos são minimizadas pelo uso limitado de água. Assim, os SRA podem ser considerados o meio de produção aquícola mais ambientalmente sustentável até o momento (BREGNBALLE, *op. cit.*).

De acordo com Martins e colaboradores (*op. cit.*), o SRA mostrou duas tendências crescentes que focam sobre (1) o aperfeiçoamento técnico no qual a recirculação gira e (2) a reciclagem de nutrientes. Este desenvolvimento tecnológico possibilitou aumento da eficiência e rentabilidade das indústrias de peixes com sustentabilidade ambiental como valor agregado e, melhora na conservação de espécies nativas devido ao repovoamento e à redução da pressão de captura pela sobrepesca e dano ambiental (RUALES; CASTAÑEDA, 2014).

Nesse contexto, Silva, Oliveira e Pereira-Neto (2018) salientaram que os principais objetivos da aquicultura quanto à sustentabilidade estão relacionados com a otimização dos custos para produção, a minimização do consumo de água e seu reuso bem como a capacidade de diminuir a geração de resíduos e as externalidades dos insumos. Assim, os referidos autores afirmaram que o SRA possui características que o qualificam para ser utilizado na aquicultura sustentável, além de corroborar para o desenvolvimento de tal atividade em regiões semiáridas.

A Figura 8 ilustra o princípio elementar de um SRA, onde o sistema básico de tratamento de água consiste em filtração mecânica, tratamento biológico e aeração/decantação. Outras instalações (oxigenação ou desinfecção) podem ser adicionadas.

Figura 8 – Modelo de um sistema de recirculação para aquicultura (SRA).



Fonte: Adaptado de Bregnballe (2015).

Dentro desses sistemas, somente a água infiltrada e perdida por evaporação é repostada, variando entre 2% e 5% do volume total (CREPALDI *et al.*, 2006). Segundo Davidson *et al.* (2009), o maior fator de preocupação nesse tipo de sistema é a formação de partículas sólidas finas oriundas da decomposição parcial de ração não consumida, fezes, plâncton e poeira, que, quando em excesso, comprometem o crescimento dos peixes, piorando a qualidade da água com interferência em processos como a nitrificação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Estrutura de cultivo

Toda a estrutura de cultivo foi montada na parte externa do Centro de Biotecnologia em Aquicultura – CEBIAQUA, pertencente ao Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará ($03^{\circ}44'23.8''S$ $38^{\circ}34'27.9''W$, *datum* SIRGAS 2000). A pesquisa foi realizada no segundo semestre de 2018, fora da quadra chuvosa da região.

Foram construídos ao todo três módulos de cultivo em escala piloto com volume útil de 14 m³ cada, funcionando como sistemas de recirculação de água independentes e compostos por dois tanques acoplados.

Usou-se água salobra nos sistemas para crescimento adequado da spirulina e aplicação comercial da pesquisa em regiões com incidência de poços profundos escavados e impróprios ao consumo humano devido ao teor de salinidade.

Ambos os tanques foram construídos usando a tecnologia ferrocimento, que permite a construção de estruturas com formatos arredondados ou sem arestas em locais cujo solo tenha a granulometria ou a composição química inadequada para piscicultura ou inférteis para agricultura, atingindo maiores volumes em menores espaços quando comparadas a estruturas quadrangulares (FIGURA 9).

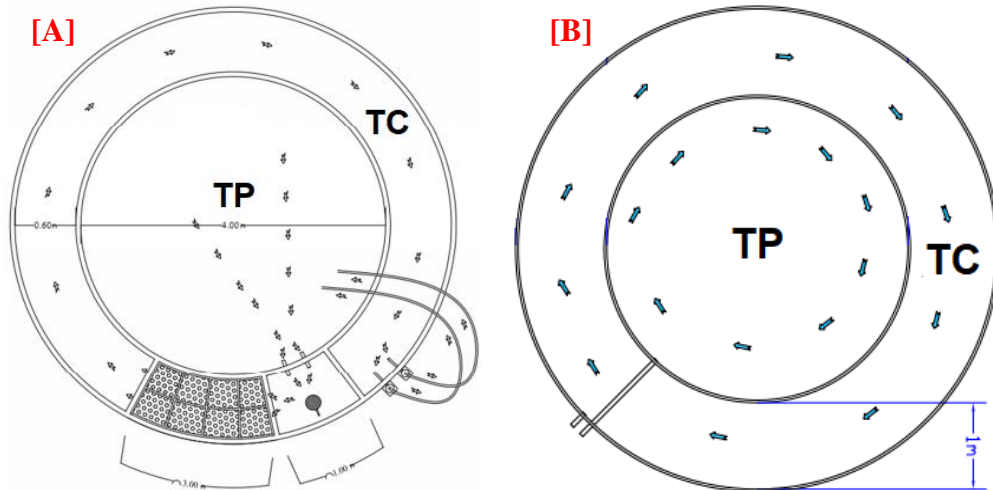
Figura 9 – Aspecto do módulo de cultivo: [A] em construção; [B] finalizado.



Fonte: Autor.

Um módulo foi utilizado como controle em recria convencional (FIGURA 10A), com um tanque de produção – TP ($h = 1,0\text{ m}$ e $\varphi = 4,0\text{ m}$) e um tanque de circulação – TC ($h = 0,5\text{ m}$ e $\varphi = 6,0\text{ m}$). Os outros dois módulos foram desenvolvidos para a recria em águas com spirulina em TP e cultivo complementar dessa microalga em TC (FIGURA 10B).

Figura 10 – Planta baixa do módulo controle [A] e em águas com spirulina [B].



Fonte: Autor.

A circulação da água nos tanques foi realizada por bombas submersas portáteis de 100 W (4.000 L/h) e a aeração para os peixes produzidos no TP foi feita com soprador radial de simples estágio de 0,5 cv ligado a um *timer*, com capacidade de 1,4 m³ de ar/minuto, funcionando como suprimento de oxigênio no período noturno e em dias de alta nebulosidade.

Para a escolha do local do cultivo, não é preciso ter muitas condições adequadas, uma vez que a tecnologia do ferrocimento possibilita a construção de tanques preferencialmente circulares, em locais cujo solo tenha a granulometria ou a composição química inadequada para piscicultura, inférteis para agricultura ou em espaços reduzidos. É preferível que a estrutura fique próxima a um ponto de captação de água (rio, lago, reservatório, poço, etc.) para evitar gastos adicionais com energia.

Na etapa inicial da construção, o terreno foi preparado para receber a demarcação do fundo dos tanques. Fez-se uma limpeza superficial e planeamento do local para posterior colocação dos tanques.

Em seguida, as armações dos tanques foram confeccionadas com peças de 6,0 x 2,0 m de uma malha de ferro eletrosoldada de 3,4 mm e abertura de 15,0 x 15,0 cm, na qual foi sobreposta uma malha de polietileno com abertura de 3,0 mm em peças de 100,0 x 3,0 m com o auxílio de amarras de arame liso.

Após esta etapa, colocou-se a malha de polietileno sobre a sustentação de ferro, fazendo amarrações com arame ao longo da tela (FIGURAS 11 e 12).

Figura 11 – Demarcação, escavação e nivelamento da base do primeiro módulo.



Fonte: Autor.

Figura 12 – União da malha de ferro com a malha de polietileno.



Fonte: Autor.

Terminada a escavação da base de um tanque, colocou-se a armação de sustentação (malha de ferro + malha de polietileno) pronta para ser cimentada. O processo de cimentação do tanque requereu um pouco de cuidado e paciência.

Para a produção do cimento utilizado nos tanques, alguns cuidados foram tomados no intuito de evitar partículas muito grossas e impurezas na massa final. Assim, fez-se o peneiramento da areia grossa usando peneira de malha 3,0 mm sobre tábuas de madeira.

Com a retirada das partículas maiores, adicionou-se cimento comercial e água na proporção de 2,0 kg de areia grossa peneirada para 1,0 kg de cimento e 0,5 litros de água. A massa foi misturada manualmente com a areia molhada e o cimento até ficar com uma textura onde não houvesse excesso de água ou a massa ficasse quebradiça.

O fundo do tanque foi nivelado com 3,0 cm de espessura e as bordas com 2,0 cm. Após a cimentação do tanque, esperou-se a secagem e realizou-se a cura do cimento. A cura é um procedimento feito para que o cimento adquira maior resistência evitando possíveis fissuras.

No processo de cura, os tanques foram molhados tanto interna quanto externamente durante sete dias, de 07:00 às 17:00 de hora em hora. Após esse período, realizou-se a limpeza de resíduos e o enchimento (FIGURA 13). A primeira água de enchimento foi descartada após uma semana por estar com pH ainda um pouco elevado (9,0).

Figura 13 – Cura e enchimento do primeiro módulo.



Fonte: Autor.

Após o enchimento dos três módulos de cultivo, fez a inoculação da spirulina (*A. platensis*) em dois deles (absorbância ≥ 0.500 para manutenção da Fase Log¹ do cultivo), visando a utilização da microalga na manutenção e estabilização da qualidade de água e alimentação complementar. Os monocultivos nos tanques de ferrocimento foram obtidos a partir de uma cultura de *A. platensis* em ambiente externo próximo ao local do experimento.

Utilizou-se como inóculo 1.000 litros de spirulina para cada tanque de produção, oriundos de um sistema de produção continuado em caixas circulares de fibra de vidro com

¹ Fase Log ou Fase Exponencial, é a segunda fase de uma curva de crescimento de microalgas, na qual ocorre a constante e intensa multiplicação celular com grande assimilação de nutrientes do meio de cultura. Nesta fase, o cultivo da microalga alcança elevada densidade e baixa contaminação de outros organismos planctônicos, quando as células apresentam consideráveis teores de proteínas e quantidades de ácidos graxos poli-insaturados. Com isso, é a fase mais indicada para coleta e uso de biomassa de microalgas na alimentação de peixes e crustáceos (LOURENÇO, 2006).

recirculação de água, mantido nas condições físico-químicas e meio de cultivo preparado conforme metodologia descrita descritas por Gomes *et al.* (2012).

Foram utilizados nos três módulos um sistema de aeração artificial com mangueira porosa e uma tela tipo mosquiteiro de polietileno de alta densidade para auxiliar na captura dos peixes durante a biometria e proteção contra predadores (FIGURA 14).

Figura 14 – Tanques inoculados com spirulina e estrutura de tela interna.



Fonte: Autor.

3.2 Desempenho zootécnico

O cultivo dos peixes em escala piloto teve a duração de 43 dias e para avaliação do desempenho zootécnico, foram estocados em cada tanque de produção (TP) 2.000 alevinos revertidos de tilápia do Nilo da linhagem GIFT (peso inicial = 0,8 g). Previamente à estocagem inicial, os peixes foram aclimatados próximo ao local de cultivo por 48 horas.

O desenvolvimento da cianobactéria foi acompanhado através da densidade ótica a 680 nm (espectrofotômetro modelo HACH 2000). Quando necessário foi adicionada biomassa viva do monocultivo (TC) para manter a absorvância superior a 0.500, o que garantia a manutenção do cultivo sempre na fase exponencial de crescimento celular.

Para os tanques em águas com spirulina, a água de cultivo foi inoculada com spirulina (*A. platensis*) mantida previamente em monocultivo contínuo nos tanques de circulação (TC) enriquecidos com nutrientes inorgânicos e nas condições de cultivo descritas por Gomes *et al.* (2012).

A água de transporte apresentou salinidade 0,5 u.p.s. (água doce), a qual foi completada para 1.000 litros com água do sistema de abastecimento público e salinidade ajustada com sal agrícola gradualmente em 50%/dia passando para 5,0 u.p.s. no primeiro dia e para 10 u.p.s. no último dia (FIGURA 15).

Figura 15 – Aclimação² dos alevinos em caixas d'água de 1.000 L com aeração constante.



Fonte: Autor.

O regime alimentar foi distinto a cada módulo para comparação de desempenho com relação à quantidade de ração comercial ofertada:

- a) com ração comercial – no módulo controle (M1), os peixes foram alimentados seis vezes ao dia (09:00, 10:00, 11:00, 13:00, 14:00 e 15:00) com ração comercial na quantidade recomendada pelo fabricante para cada semana. Foram utilizados três tipos de rações em função da anatomia dos peixes: ração em pó de 50% PB (<800 µm) e extrusadas de 45% e 40% PB (1,7 mm e 2-3 mm);
- b) com 50% da ração comercial – no segundo módulo (M2), foi fornecida para os alevinos de tilápias apenas metade da quantidade recomendada pelo fabricante da ração, contudo os mesmos foram cultivados em águas com spirulina que serviu de fonte alimentar. Assim, pode-se combinar o alimento artificial com o natural. Os horários de arração foram os mesmos do controle;
- c) sem ração comercial – no terceiro módulo (M3), não houve fornecimento de ração para os peixes. A única fonte de alimento disponível foi a biomassa de spirulina presente na água de cultivo dos mesmos. Nesse caso a biomassa

² Aclimação trata-se do condicionamento dos peixes às características físico-químicas da água receptora antes da estocagem. É importantíssima, pois evita principalmente choque térmico, choque salino e choque de pH.

consumida durante o dia era repostada no final da tarde para a manutenção da absorvância na água como medida indireta da concentração mínima de células.

A eficiência produtiva dos módulos foi avaliada através do desempenho zootécnico da recria de tilápia de acordo com cada dieta adotada, mediante biometrias semanais, nas quais foram realizadas amostragens aleatórias com reposição final de 100 peixes de cada cultivo para medições de peso e comprimento total, obtendo-se as Equações 1 e 2:

- a) comprimento total (L_T) – medido entre a parte anterior da cabeça até o final da nadadeira caudal em centímetros;
- b) peso médio (W_m) – o cálculo do peso médio foi obtido através da média por amostragem e pesagem dos peixes semanalmente e ao final do cultivo, onde foi feita a diferença entre o peso final e inicial para determinação do ganho médio em peso (g/peixe) e o ganho médio em peso diário (g/peixe/dia);
- c) conversão alimentar aparente (CA_{ap}) – foi avaliada a proporção entre a quantidade de ração ofertada, em média, para cada peixe e seu respectivo ganho médio em peso ao final do cultivo (g/g);
- d) sobrevivência ($S\%$) – realizou-se uma contagem inicial e outra final para ser feita a razão entre o número de peixes vivos no final do cultivo e o número de alevinos estocados expressa em percentual. Diariamente também eram contabilizados os peixes mortos para estimativa de mortalidade semanal;
- e) taxa de crescimento específico (TCE) – através dos valores medidos, obteve-se o ganho de massa ao dia, cuja equação pode exprimir, em média, a razão que ocorre esse incremento em peso (LEGENDRE; KERDCHUEN, 1995):

$$TCE(\% \cdot dia^{-1}) = \left(\frac{\ln W_f - \ln W_i}{t} \right) \times 100 \quad (1)$$

sendo: W_i = peso médio inicial (g); W_f = peso médio final (g); t = tempo de experimento (dias);

- f) fator de condição de Fulton (K) – expressa a relação entre o comprimento e o peso do animal e indica o grau de bem estar quanto às condições ambientais:

$$K = \left(\frac{W}{L^3} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que: W = peso (g) e L = comprimento total (cm).

Para tanto, foram utilizados puçás, anestésico natural eugenol diluído em álcool (1:10 v/v), baldes plásticos, pinças, paquímetros, balanças digitais ($d = 0,01$ g e $0,1$ g), planilhas de campo para anotações, câmera fotográfica e equipamentos de proteção individual

(luvas, botas, entre outros). As biometrias foram realizadas semanalmente às 06:00 h para diminuir o estresse do manejo com a temperatura elevada e aumento do metabolismo dos animais.

3.3 Qualidade de água

A eficiência do cultivo em manter a qualidade de água foi avaliada mediante coletas e aferições às 08:00hs para acompanhamento das variáveis limnológicas ao longo dos dias de cultivo. Para tanto, foram realizadas medições diárias *in situ* para determinar os níveis de oxigênio dissolvido, pH, salinidade e temperatura, utilizando sondas YSI e HANNA, além de medidor do potencial hidrogeniônico e refratômetro de salinidade portáteis.

Também foram analisados, em laboratório, os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, alcalinidade total, dureza total, fosfatos (PO_4^{3-}), amônia tóxica (NH_3), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), seguindo os procedimentos descritos em APHA; AWWA; WPCF (2012) de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Métodos de análise laboratorial dos parâmetros físico-químicos conforme APHA; AWWA; WPCF (2012) e valores de referência para cultivo de *O. niloticus*.

PARÂMETROS	CÓD.	MÉTODO	VALOR DE REFERÊNCIA	FONTE
Alcalinidade Total	2320-B	Tíbulometria	> 60 mg/L	Sá (2012)
Amônia (NH_3)	-	Nessler	5,0 mg/L	Sá (2012)
Condutividade Elétrica	-	Condutímetro	6.800,0	Brito e Silva (2014)
Dureza Total	2340-C	Tíbulometria EDTA	150,0 mg/L	Sá (2012)
Fosfato	4500-P-E	Colorimetria	5,0 mg/L	Sá (2012)
Nitrato	4500- NO_3 -E	Redução do cádmio	10,0 mg/L	Brasil, (2005)
Nitrito	4500- NO_2 -B	Colorimetria	3,0 mg/L	Sá (2012)

Fonte: Autor.

As amostras de água para análise laboratorial foram coletadas semanalmente pelo período matutino, também às 08:00hs, em béckers previamente descontaminados com solução de ácido clorídrico 10% e imediatamente encaminhadas para análise em recipientes opacos de 1,0 L embrulhados com papel alumínio para evitar exposição à luminosidade.

3.4 Parâmetros hematológicos

Os exemplares amostrados foram previamente anestesiados com Eugenol (1:10 v/v) conforme Kumar *et al.* (2011) e o sangue coletado com seringas heparinizadas (1 mL em 50,0 mL de solução salina 0,65%) e agulhas hipodérmicas esterilizadas, através do método de corte do pedúnculo caudal, mais indicado para peixes do porte analisado.

Tais procedimentos foram realizados procurando respeitar as diretrizes acordadas no Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA, que passou a adotar as recomendações descritas por Kilkenny *et al.* (2010).

Devido ao tamanho inicial reduzido, realizou-se a coleta de sangue dos peixes cultivados no final do experimento, onde foram amostrados aleatoriamente 20 exemplares de cada módulo de cultivo para comparação dos parâmetros e índices hematológicos entre módulos. Todas as contagens para a determinação de parâmetros foram realizadas em triplicata.

Extraiu-se aproximadamente 0,5 mL de sangue por alíquota, as quais foram separadas em tubos tipo Eppendorf de 2,0 mL para posterior confecção de esfregaços sanguíneos confeccionados em placas de vidro com coloração panótica rápida do tipo Rosenfeld e análises hematológicas seguindo os procedimentos descritos em Ranzani-Paiva *et al.* (2013).

3.4.1 Eritrograma

Foram determinadas as taxas de hemoglobina, hematócrito, proteína plasmática total, contagem de eritrócitos e posterior cálculo dos índices hematimétricos (JAIN, 1986), cuja memória de cálculo é expresso nas Equações 3 a 8.

A taxa de hemoglobina (H_b) expressa em g.dL^{-1} foi encontrada para cada tratamento através de espectrofotometria da cianometahemoglobina, cuja metodologia foi apresentada por Collier (1944) e padronizada por Kampen e Zijlstra (1964). Foram adicionados 5 mL de solução de Drabkin em tubos de ensaio e adicionou-se 20 μL de sangue homogeneizado, onde obteve-se a absorbância ($\lambda = 540 \text{ nm}$) usando a solução de Drabkin como branco padrão.

$$H_b = Abs_{amostra} \times FC \quad (3)$$

sendo: $FC = []$ do padrão (g.dL^{-1}) \div Abs. do padrão.

O hematócrito (H_t) foi obtido usando microcapilares de vidro preenchidos com sangue homogeneizado em 2/3 do volume total. Em seguida foram centrifugados (10.000 rpm) por cinco minutos, gerando uma separação das camadas líquidas e sólidas, onde o percentual do volume de eritrócitos é lido conforme a técnica explanada em Goldenfarb *et al.* (1971).

Após a etapa de centrifugação realizada para obtenção do hematócrito, foram separados 20 μL de plasma do capilar centrifugado para a determinação da proteína plasmática total em cada amostra. Tais alíquotas foram diluídas em 1 mL de biureto antes de serem lidas no espectrofotômetro ($\lambda = 540 \text{ nm}$). Usou-se água destilada para zerar as leituras e solução de biureto 4,0 g.dL^{-1} como solução padrão. Em seguida, foi calculada em g.dL^{-1} a expressão:

$$PPT = Abs_{amostra} \times FC \quad (4)$$

sendo: $FC = []$ do padrão (g.dL^{-1}) \div Abs. do padrão.

A contagem total de eritrócitos foi feita diluindo-se 20,0 μL do sangue homogeneizado em 4,0 mL do líquido de Hayem (diluição 1:200), que gera a conservação celular sanguínea. O resultado foi dado em células $\times 10^6.\mu\text{L}^{-1}$, onde os eritrócitos foram contados em um hematocitômetro (câmara de Neubauer) com um microscópio óptico (400 x) nos retículos marcados “H” de 1/5 de mm^2 conforme método encontrado em Stoskopf (2010).

$$\text{Eritrócitos}/\mu\text{L sangue} = \text{Eritrócitos contados} \times 10.000 \quad (5)$$

3.4.1.1 Índices hematimétricos

De acordo com Brown (1980), os índices hematimétricos ou hematológicos podem ser calculados a partir da taxa de hemoglobina, da determinação do hematócrito e da contagem global de eritrócitos:

- a) volume corpuscular médio (VCM) – é o volume médio dos eritrócitos em fentolitros (fL), representado pelo quociente do volume de eritrócitos pelo número de células contidas no mesmo:

$$VCM = \frac{H_t \cdot 10}{\text{Eritrócitos}} \quad (6)$$

onde: H_t = hematócrito (%) e Eritrócitos = n° células $\times 10^6.\mu\text{L}^{-1}$.

- b) hemoglobina corpuscular média (HCM) – expressa em picogramas (pg) a razão entre o conteúdo de hemoglobina em um determinado volume de eritrócitos e o n° de células contidas no mesmo:

$$HCM = \frac{H_b \cdot 10}{\text{Eritr\u00f3citos}} \quad (7)$$

sendo: H_b = [] de hemoglobina (g.dL^{-1}) e Eritr\u00f3citos = n\u00b0 c\u00e9lulas $\times 10^6 \cdot \mu\text{L}^{-1}$.

- c) concentra\u00e7\u00e3o de hemoglobina corpuscular m\u00e9dia (CHCM) – representa o percentual de hemoglobina em 100 mL de eritr\u00f3citos, expresso em g.dL^{-1} :

$$CHCM = \frac{H_b \cdot 100}{H_t} \quad (8)$$

onde: H_b = [] de hemoglobina (g.dL^{-1}) e H_t = hemat\u00f3crito (%).

3.4.2 Leucograma

A leucometria representa a contagem global e espec\u00edfica dos leuc\u00f3citos (EQUA\u00c7\u00c3O 9), atrav\u00e9s do estudo quantitativo e qualitativo dos gl\u00f3bulos brancos.

A contagem total de leuc\u00f3citos tamb\u00e9m foi realizada pelo modelo hematocit\u00f4metro (c\u00e2mara de Neubauer) conforme descrito Stoskopf (2010), nos ret\u00edculos marcados “L” correspondentes a 4 mm^2 . Al\u00edquotas de $20 \mu\text{L}$ de sangue foram dilu\u00eddas em $400 \mu\text{L}$ de l\u00edquido de Tuerck (dilui\u00e7\u00e3o 1:20) e levadas ao microsc\u00f3pio \u00f3ptico (400 x) para contagem celular expressa em n\u00b0 c\u00e9lulas $\times 10^4 \cdot \mu\text{L}^{-1}$.

$$\text{Leuc\u00f3citos}/\mu\text{L sangue} = \text{Leuc\u00f3citos contados} \times 50 \quad (9)$$

Bain, Bates e Laffan (2016) descrevem a contagem diferencial de leuc\u00f3citos do sangue como indicadores de imunidade. Nessa metodologia, \u00e9 realizada uma colora\u00e7\u00e3o pan\u00f3tica r\u00e1pida do tipo Rosenfeld, na qual os esfrega\u00e7os preparados no momento da pun\u00e7\u00e3o sang\u00fcnea foram corados \u00e0 temperatura ambiente para secagem e embalados com papel filme para armazenagem e contagem posterior.

Pelo microsc\u00f3pio \u00f3ptico (400 x) foi identificado cada tipo de leuc\u00f3cito (linf\u00f3citos; neutr\u00f3filos; mon\u00f3citos e eosin\u00f3filos), realizando-se a contagem de 100 c\u00e9lulas para a determina\u00e7\u00e3o percentual de cada tipo encontrado.

3.5 Extração de glicosaminoglicanos (GAGs)

A extração de glicosaminoglicanos (GAGs) presentes na pele dos peixes cultivados baseou-se na metodologia descrita em Rodrigues *et al.* (2011) com algumas adaptações. Para cada módulo de cultivo experimental foram capturados dez exemplares para separação da pele das fibras musculares com bisturi. Posteriormente a pele foi dividida em pequenos pedaços, lavados com água destilada e secados em estufa (40°C por 24h) para desidratação e consecutiva extração dos GAGs.

Inicialmente, 3,0 gramas de pele desidratada dos dez peixes para cada tratamento foi reidratado com 100 mL de tampão de extração de GAGs com acetato de sódio 0,1 M (pH 5,0) contendo cisteína e EDTA (5 mM). Em seguida, realizou-se a digestão do material em banho-maria (60°C por 24 horas) com a adição de papaína bruta em 30% do peso da pele, sendo metade no momento inicial e o restante após 2 horas do início do processo.

Após a digestão, fez-se a filtração simples com tela de nylon 60 µm para separar o resíduo de tecidos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm por dez minutos, onde ao sobrenadante foram adicionados 10,0 mL de cloreto cetilpiridínio (CCP) a 10% e mantido em descanso na temperatura ambiente por uma semana para a precipitação dos GAGs.

O material precipitado foi lavado com 50,0 mL de CCP 0,05% dissolvido em 50,0 mL de NaCl 2 M: etanol absoluto (100:15 v/v). Foram adicionados 150 mL de etanol comercial 92,8° gelado e levado à geladeira para nova precipitação (4°C por 24h). O novo precipitado foi centrifugado (10.000 rpm por 15 minutos) e lavado por dez minutos com 50,0 mL de etanol comercial a 80% por mais duas vezes. Por último, ainda se fez uma lavagem com mesmo volume em etanol comercial 92,8° por dez minutos e para posterior centrifugação (10.000 rpm por 15 minutos) e remoção do material precipitado.

Após os procedimentos de lavagem e centrifugações sucessivos, o material precipitado foi levado à estufa para secagem (60° por 24h). Calculou-se o rendimento percentual de GAGs (EQUAÇÃO 10) obtidos para a quantidade de pele em cada tratamento:

$$R(\%) = \frac{W_f}{W_{amostra}} \times 100 \quad (10)$$

sendo: W_f = peso de GAGs obtidos e $W_{amostra}$ = peso inicial da pele seca.

Para a caracterização físico-química dos GAGs obtidos, fez-se uma eletroforese em gel de agarose (0,5%). Utilizou-se frações de 5 µg (tratamentos e microalga) e 15 µg

(controle) pré-determinadas por metacromasia (1,0 mL de azul de dimetilmetileno) no gel preparado em tampão 1,3 - acetato diaminopropano 0,05 M (pH 9,0).

Foram realizadas duas corridas utilizando-se voltagem constante (110 V) durante 60 minutos. A corrida inicial deu-se no sentido convencional de $A \rightarrow B$ e a segunda teve prévia adição de estenzol e sentido de corrida inversa de $B \rightarrow A$.

Foram usados como padrões de GAGs nas corridas Condroitino-4-Sulfato + Dermatan-Sulfato + Heparina Sulfatada. Após as corridas, os GAGs foram fixados com solução de brometo de cetiltrimetilamônio (0,1% por 24h). Posteriormente, o gel foi corado com azul de toluidina (0,1%) e descorado com uma solução de etanol absoluto, água destilada e ácido acético concentrado (4,95:4,95:0,1 v/v/v).

3.6 Análise financeira

Foi realizado um orçamento de todos os materiais adquiridos e mão-de-obra contratada para a construção de um módulo de cultivo, além do valor da aquisição de equipamentos e insumos produtivos necessários à operação e manejo do sistema.

Após o levantamento de custos e estimativa dos valores de receita esperados, foi realizada uma avaliação da viabilidade financeira do cultivo para os padrões comerciais locais, abordando indicadores como:

- a) lucro total (LT) – é o valor monetário bruto apurado da produção retirando-se o custo total para produzir (custos fixos e variáveis);
- b) ponto de nivelamento (PN) – indica o nível mínimo de produção que se deve operar no empreendimento;
- c) taxa de remuneração do capital (TRC) – é a taxa percentual média pela qual ocorre uma remuneração do capital investido ao ano;
- d) relação benefício/custo ($R_{b/c}$) – é o total das receitas dividido pelo total de custos, com seus valores atualizados, dentro do horizonte de planejamento para funcionamento do cultivo. Indica o ganho, em termos monetários, por unidade de capital investido;
- e) taxa interna de retorno (TIR) – trata-se da taxa de juros que anula o valor presente líquido. É necessária para igualar o valor investido no empreendimento investimento com os seus respectivos retornos futuros em valores atualizados, ou seja, é a taxa de retorno.

3.7 Análise estatística

Realizou-se um experimento com delineamento inteiramente casualizado. Os dados de qualidade de água, de desempenho zootécnico, parâmetros hematológicos e de extração de GAGs foram analisados estatisticamente através do *software* gratuito BioEstat 5.3 (AYRES *et al.*, 2007) para Windows 10. O programa usado para a confecção das representações gráficas foi o SigmaPlot® (14.0 version).

Foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov para verificação da normalidade dos dados encontrados e, em seguida, realizou-se análise de variância (ANOVA). Quando o valor de F indicou diferença significativa ($p < 0,005$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho zootécnico

A densidade de estocagem em cada tanque de 10,0 m³ de volume útil (80 cm de coluna d'água) ficou em 200 peixes/m³. Em estudo para avaliar o desempenho de juvenis das linhagens de tilápia GIFT, submetidas a diferentes densidades em tanques-rede, Pedreira *et al.* (2016b) recomenda utilizar densidades de 210 peixes/m³ para lotes mais homogêneos.

Após o final do experimento de campo, os peixes atingiram um peso médio de 21,7 g em 43 dias de cultivo, valor compatível com a tabela alimentar do fabricante da ração comercial utilizada (ANEXO A). A taxa de sobrevivência média real obtida foi de 97,0%.

Diante da diferenciação entre os tratamentos alimentares nos três módulos de cultivo (Módulo 1 = 100% ração sem spirulina; Módulo 2 = 50% ração + spirulina; e Módulo 3 = somente com spirulina), os resultados médios das biometrias foram expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Desempenho zootécnico da recria de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).*

PARÂMETROS	M1	M2	M3
Tamanho inicial (cm)	3,54 ^a ± 0,16	3,67 ^a ± 0,11	3,82 ^a ± 0,15
Tamanho final (cm)	11,21 ^c ± 0,21	13,29 ^a ± 0,18	12,10 ^b ± 0,34
Crescimento total (cm)	7,67 ^c ± 0,15	9,62 ^a ± 0,17	8,28 ^b ± 0,19
Peso inicial (g)	0,7 ^a ± 0,13	0,8 ^a ± 0,21	0,8 ^a ± 0,23
Peso final (g)	18,2 ^c ± 2,36	24,3 ^a ± 2,45	20,3 ^b ± 1,76
Mortalidade (%)	5,9 ^b ± 1,33	1,4 ^a ± 0,51	1,5 ^a ± 0,86
Ganho em peso (g.peixe ⁻¹)	17,5 ^c ± 3,14	23,5 ^a ± 2,74	19,5 ^b ± 2,10
Ganho em peso diário (g.peixe ⁻¹ .dia ⁻¹)	0,41 ^b ± 0,42	0,55 ^a ± 0,19	0,45 ^b ± 0,38
Ganho em biomassa (kg.módulo ⁻¹)	32,8 ^c ± 3,15	46,4 ^a ± 2,49	38,4 ^b ± 2,96

Fonte: Autor.

* Letras iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística significativa (p < 0,05).

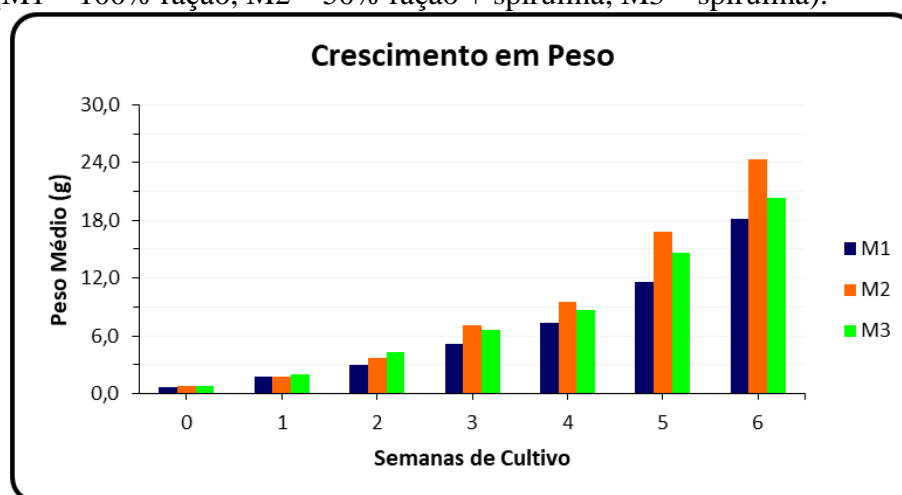
Foi realizada análise de variância (P < 0,05), onde se constatou a homogeneidade do lote de peixes estocados quanto ao peso e ao comprimento iniciais para os três módulos experimentais, sem diferença estatisticamente significativa.

Após o período de cultivo, as médias das amostras diferiram em relação ao peso e ao comprimento final entre os três módulos, sendo melhor desempenho zootécnico no peso final obtido no módulo 2 (50% ração com spirulina).

Analisando-se o crescimento em peso em conjunto com as práticas de manejo adotadas, notou-se que os peixes cultivados não apresentaram diferenças de desempenho

zootécnicos nos 15 primeiros dias de cultivo nos três módulos. A partir da terceira semana, M2 começou a se destacar dos demais devido à tendência de equilíbrio entre o consumo do alimento disponível (spirulina + ração) e a quantidade de ração fornecida (GRÁFICO 1).

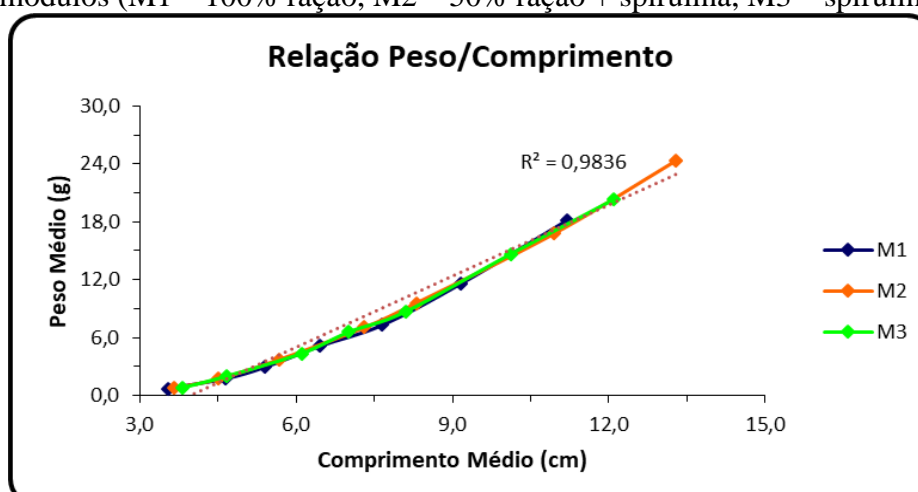
Gráfico 1 – Crescimento em peso da recria de tilápia do Nilo nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Na relação peso/comprimento (GRÁFICO 2), houve para os três módulos de cultivo uma tendência de distribuição linear dos dados ($R^2 = 0,9836$) com um baixo desvio entre módulos, porém com maiores valores para o módulo 2. A equação da relação peso-comprimento demonstrou crescimento isométrico ($W = a \cdot L^b$), com $b = 2,9832$, indicando um incremento de peso e comprimento na mesma proporção, compatível com valores encontrados para peixes tropicais em confinamento (TAVARES-DIAS *et al.*, 2010).

Gráfico 2 – Relação peso/comprimento da recria de tilápia do Nilo nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).

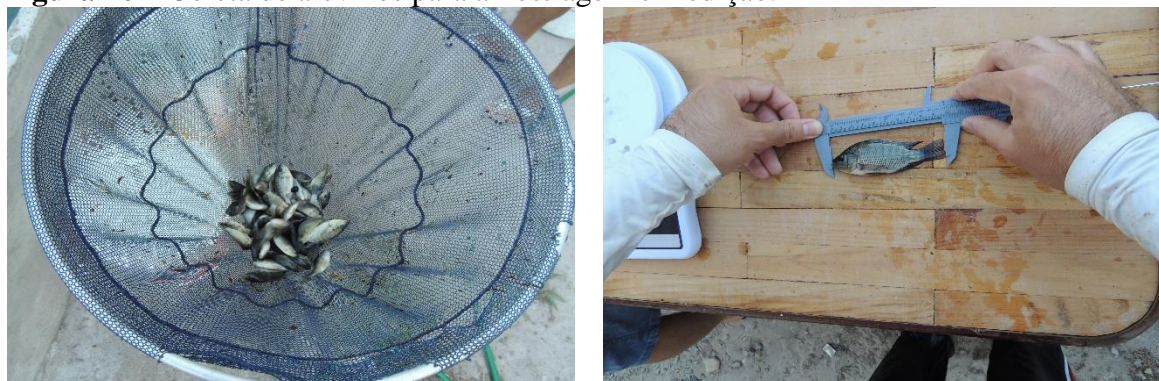


Fonte: Autor.

O módulo 2, alimentado com metade da ração recomendada e spirulina viva no meio, apresentou pleno funcionamento sem nenhuma intercorrência ao longo do cultivo, como falta de alimento vivo ou piora na qualidade de água. Seu desempenho zootécnico superior foi determinado em função da quantidade de ração ofertada viabilizar o equilíbrio dinâmico do consumo da spirulina com o seu crescimento simultâneo.

O módulo 1 teve sua produção comprometida devido à piora na qualidade da água ao longo do cultivo (Item 4.3). Sem o organismo fitoplanctônico presente, os compostos nitrogenados oriundos da decomposição da matéria orgânica (ração e excretas) se acumularam durante as semanas de experimento, afetando o crescimento dos peixes. Tal fato foi observado ao longo das biometrias semanais (FIGURA 16) e corroborado na revisão feita por Pereira e Mercante (2005) e pelos resultados encontrados por Lima *et al.* (2015).

Figura 16 – Coleta de alevinos para amostragem e medição.



Fonte: Autor.

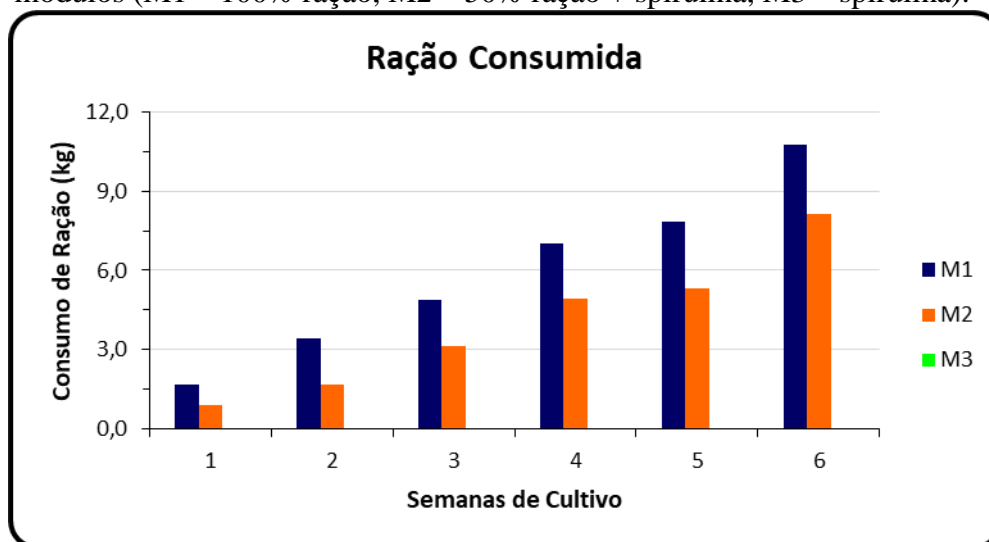
O módulo 3, apesar de não apresentar custos com ração industrializada, necessitou de grande mão-de-obra para manutenção da concentração de spirulina no meio através da reposição de biomassa oriunda de um monocultivo independente. Mesmo com essa reposição diária de spirulina, detectou-se diminuição do incremento em peso (31,26%) a partir da terceira semana em comparação ao módulo 2 (68,78%) e consequente aumento proporcional do consumo de biomassa com o crescimento corporal.

A ração ofertada³ no módulo 1 seguiu o regime estabelecido compatível com as recomendações do fabricante e ofertada seis vezes ao dia (ANEXO A). O módulo 2 seguiu os mesmos horários de alimentação, porém a ração foi a metade da quantidade recomendada.

³ Para a oferta de ração foi utilizado o cálculo da taxa de arraçoamento x biomassa: (nº de peixes estocados inicialmente x peso médio semanal x sobrevivência acumulada do período).

Já para o módulo 3 não foi fornecida ração artificial (GRÁFICO 3). Assim, pode-se estabelecer diminuição no custo do insumo principal da recria nos módulos com spirulina (Item 4.6).

Gráfico 3 – Ração consumida pela tilápia do Nilo durante a recria nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

O consumo médio de ração comercial foi crescente ao longo do cultivo, totalizando 35,6 kg no módulo 1 e 24,0 kg no módulo 2. Esse valor encontrado no módulo controle (M1), quando relativizado pelo respectivo número de peixe ao final do período (43 dias), é compatível com os valores de ração comercial consumidos por alevinos no estudo realizado no mesmo local em pequena escala descrito por Calíope *et al.*, (2010).

Analisando-se os dados biométricos coletados em aplicação nas fórmulas no **Item 3.2**, foram obtidos os índices de desempenho dos três módulos (TABELA 8).

Tabela 8 – Dados de produção nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).

PARÂMETROS	M1	M2	M3
Tempo de cultivo (dias)	43	43	43
Nº de peixes	2.000	2.000	2.000
Densidade de estocagem (peixe.m ⁻³)	200	200	200
Sobrevivência (%)	94,1	98,6	98,5
Conversão alimentar aparente	1,09	0,52	0,00
Taxa de crescimento específico (%.dia ⁻¹)	7,43	7,97	7,43
Fator de condição (Kn)	1,29	1,04	1,15

Fonte: Autor.

Embora M1 tenha apresentado boa sobrevivência dos peixes e conversão alimentar aparente, M2 e M3 quase não apresentaram mortalidade e, devido ao fornecimento de alimento vivo, parcial ou totalmente, deixaram a conversão alimentar muito abaixo de 1,00, além da maior taxa de crescimento específico em M2. Isso indica que, para atingirem o peso de recria final (30-40 g) os peixes seriam cultivados por menos tempo em M2.

Além disso, notou-se que a medida em que o cultivo avançou, menos volume de spirulina precisou ser filtrado para reposição da quantidade consumida em M2, chegando a cessar na terceira semana, desde a qual a absorbância de spirulina no tanque de produção não diminuiu mais de 0.500. Nesse contexto a ração fornecida no tratamento serviu como fertilizante para a microalga, além de servir como outra fonte de alimento para os peixes.

Em relação ao M3, essa dinâmica deu-se ao contrário. Devido à falta de fonte de nutriente externa, com o aumento do peso dos animais mais spirulina foi consumida e, conseqüentemente, mais microalga precisava ser repostada para manter a absorbância de referência. Isso fez com que houvesse uma reposição diária de spirulina na fase final do cultivo e ainda uma diminuição do desempenho quando comparado a M2.

Percebeu-se os parâmetros encontrados na pesquisa semelhantes ou até melhores aos encontrados em outros sistemas do tipo SRA para a mesma espécie. Ridha e Cruz (2001), realizando experimento em ambiente controlado durante 172 dias com 166 peixes/m³, obtiveram taxa de crescimento específico inferior (1,7) com taxa de sobrevivência de 97,5%.

Contudo, em cultivos em tanques-rede, ainda se pode realizar no mesmo período de tempo a alevinagem e a recria, fase na qual os peixes atingem peso médio de até 200 g com a densidade de estocagem final aproximada de 250 peixes/m³ e mortalidade de 5% (SANDOVAL JÚNIOR *et al.*, 2010). Nesse tipo de sistema, com a estocagem usual (700 a 1.000 peixes/m³) e mesmo período de cultivo 43 dias Maeda *et al.* (2010) obtiveram peso médio de 38 g com conversão alimentar de 1,70 e ganho em peso diário de 0,78 g.dia⁻¹.

Já em sistemas tipo *raceway*, Maeda *et al.* (2006), obtiveram mortalidade em torno de 40%, apesar do maior peso inicial (8,04 g), conversão alimentar aparente de 1,56:1 e fator de condição de 3,63. Vale salientar que tal rendimento pode ser obtido em estruturas com mais de 80% de troca diária da água, valor superior à evapotranspiração de um SRA.

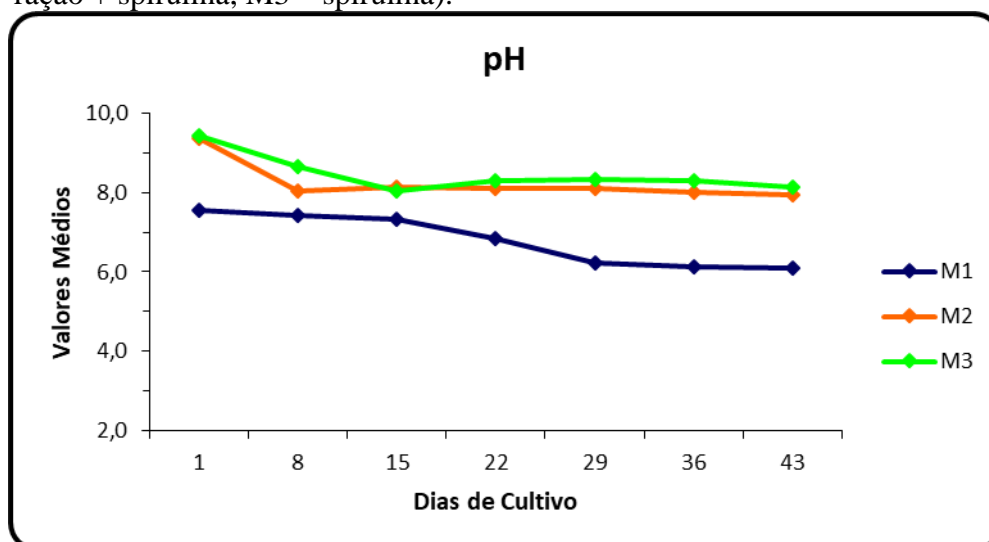
Deve-se atentar para as diferentes características de cultivo anteriormente citadas, onde a produção em escala piloto dos módulos instalados faz com que os resultados alcançados sejam naturalmente inferiores ao desempenho da criação em tanques-rede e em *raceways*, mas satisfatórios se comparados a viveiros escavados e cultivos em SRA com ambiente controlado.

4.2 Qualidade de água

O cultivo apresentou uma alteração nas variáveis físico-químicas da água dentro dos parâmetros limnológicos de referência para a piscicultura, conforme a Tabela 5 encontrada no **Item 3.3**. Em relação às alterações na qualidade de água, tanto viveiros quanto tanques-rede e sistemas de recirculação devem apresentar um acompanhamento das variáveis físicas, químicas e microbiológicas para a obtenção de melhores desempenhos zootécnicos, menores impactos ambientais e maior bem-estar animal (BIANCA, 2009).

Foram feitas as médias dos parâmetros analisados em triplicata gerando um valor médio. O pH estabilizou-se em águas com spirulina próximo a 8,0 e próximo a 6,0 em águas claras (GRÁFICO 4).

Gráfico 4 – Valores de pH nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

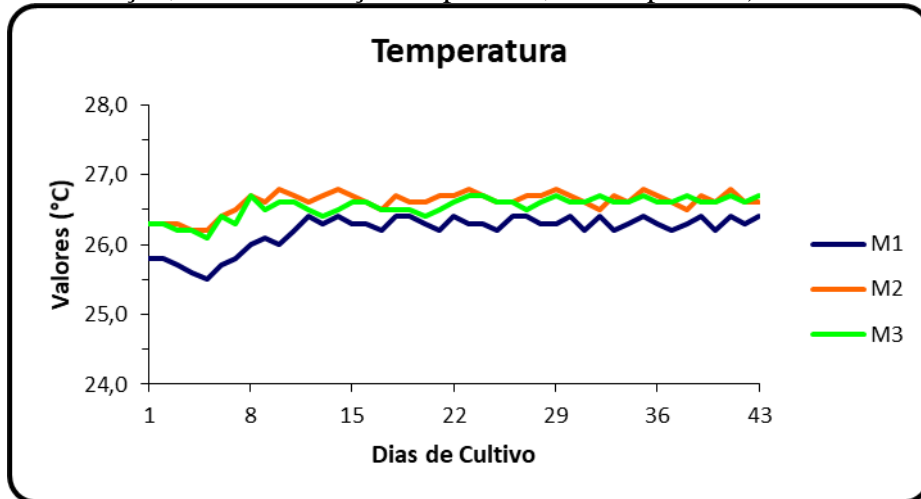
As médias de pH permaneceram mais estabilizadas próximas à 8,0 em M2 e M3 devido à atividade fotossintética da spirulina presente na água de cultivo, que retira o dióxido de carbono (CO_2) livre fazendo com que aumente o poder tampão da água.

Em M1 houve a tendência de acidificação do meio pela decomposição progressiva da matéria orgânica sem a renovação de água do sistema ($\text{pH} = 6,1$), quando tal processo retira o oxigênio e aumenta a concentração de H^+ livres na água. Contudo, não chegou a valores que prejudicassem o crescimento dos peixes, de acordo com Rebouças *et al.* (2015).

Os valores de temperatura nos TFs não atingiram valores fora da faixa de conforto para a espécie, que pode variar de 22 a 28°C (HUET, 1998).

A temperatura apresentou uma oscilação média de 26,5°C no fim do cultivo para os três módulos (GRÁFICO 5).

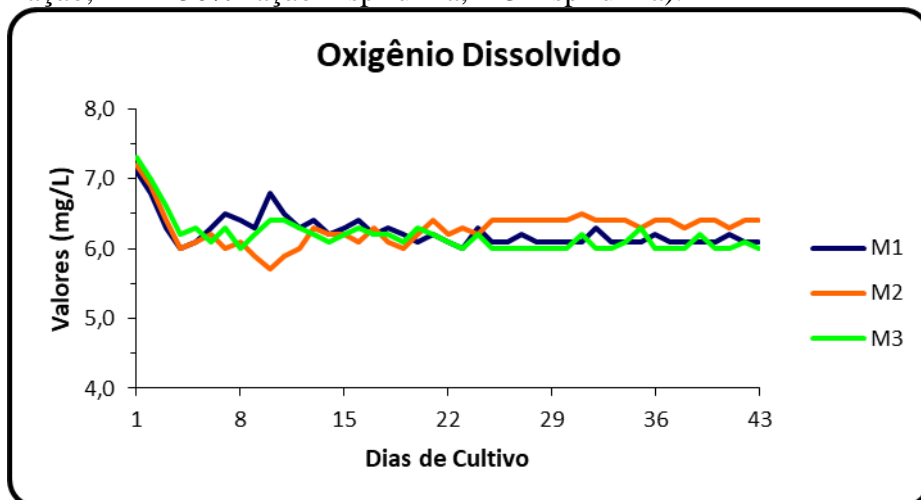
Gráfico 5 – Valores de temperatura nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Utilizou-se aeração artificial no início do cultivo realizando o devido acompanhamento para saber qual o comportamento do sistema na fase de depleção de oxigênio e na fase de oxigenação, obtendo-se valor mínimo de 6,0 em M3 (GRÁFICO 6).

Gráfico 6 – Oxigênio dissolvido nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

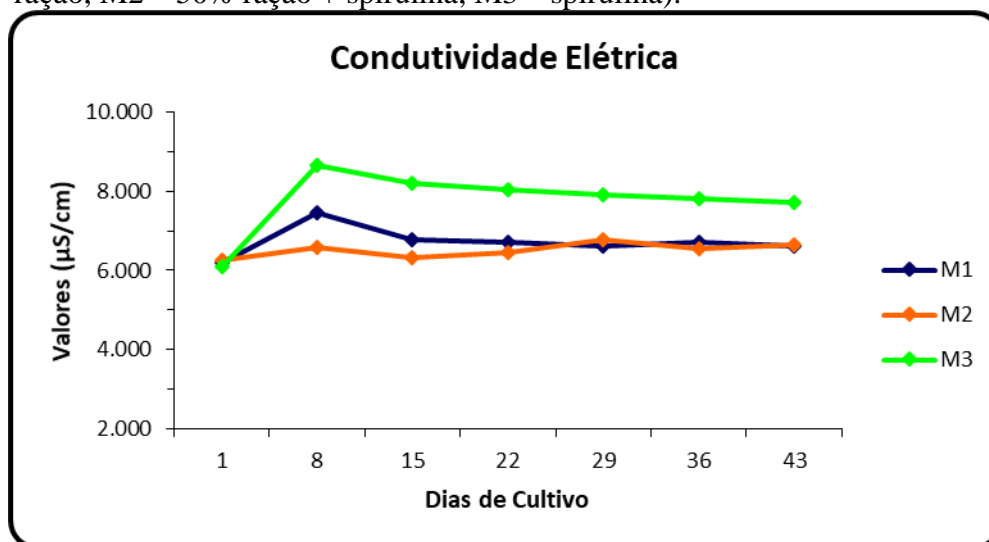
O valor mínimo de referência é relativo ao mínimo da zona de conforto para os peixes cultivados, abaixo dos 4,0 mg OD/L, podendo viver em águas com até 1,2 mg OD/L (BARRETO; VOLPATO, 2006). Quando o oxigênio dissolvido chega próximo a

concentrações sub-letais, faz-se a introdução do sistema de aeração. Desde o início do experimento, com a incorporação adicional de oxigênio no sistema, houve a manutenção das concentrações a níveis desejáveis de produção. Todavia, essa incorporação torna-se indispensável em águas sem a presença de organismos fotossintetizantes, como em M1.

No cultivo, os níveis de salinidade nos três tratamentos (M1, M2 e M3) mantiveram-se próximos à 10 u.p.s., sem nenhuma alteração mediante reposição de água doce apenas para manter o nível diminuído pela evapotranspiração.

A condutividade elétrica apresentou estabilização nas semanas finais de cultivo em todos os módulos, mas ainda abaixo do valor máximo tolerável pela espécie para a salinidade trabalhada e seguindo pequenas variações para próximo de 6.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (GRÁFICO 7). Essa manutenção temporal da condutividade elétrica nos três tratamentos pode estar relacionada à estabilidade da salinidade (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

Gráfico 7 – Condutividade elétrica nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

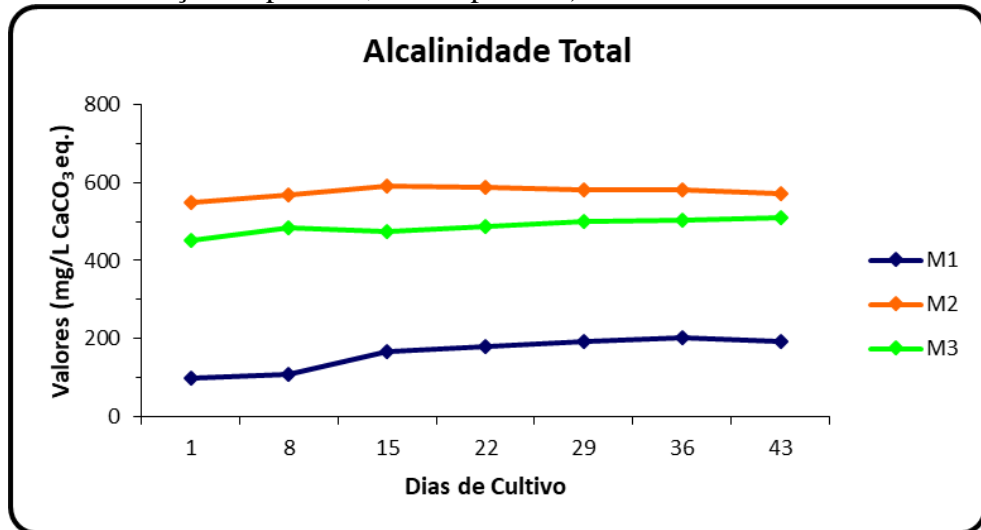
Para a manutenção do pH em níveis satisfatórios, a alcalinidade da água deve apresentar-se acima de 60,0 g/m^3 CaCO_3 eq. (60,0 mg/l) com intuito da preservação do efeito tampão da água⁴ (SÁ, 2012).

Os módulos em águas com spirulina apresentaram maior valor de pH devido ao bicarbonato de cálcio adicionado para a estimulação da proliferação de spirulina previamente à estocagem dos alevinos, que também elevou o pH dos mesmos.

⁴ O efeito tampão ocorre quando a água resiste a mudanças de pH com adição de ácido ou de base ou ainda com uma diluição da solução.

Os valores de alcalinidade foram se inclinando à estabilização próximo a 200 g/m³ CaCO₃ eq. em M1 e perto de 500 g/m³ em M2 e M3 (GRÁFICO 8).

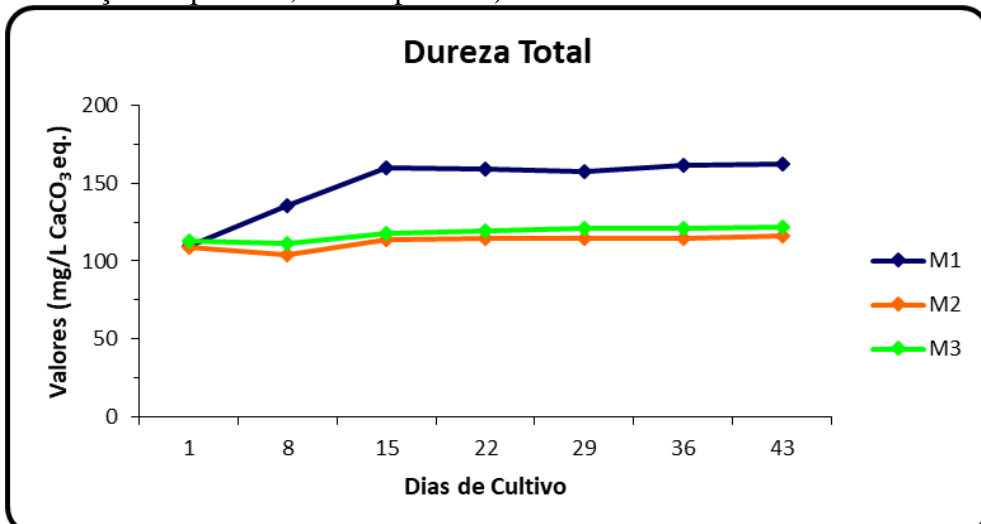
Gráfico 8 – Alcalinidade total nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Os valores de dureza total tiveram uma certa constância ao longo do cultivo em M2 (116 mg/L) e M3 (122 mg/L). Em M1 (153 mg/L), houve a tendência de aumento nas duas primeiras semanas, contudo houve uma estabilização das concentrações abaixo do limite máximo para a zona de conforto dos peixes (GRÁFICO 9). Isso pode ter ocorrido devido à estrutura de ferrocimento liberar cálcio e magnésio para a água e não haver muita microalga em M1 para absolver tais minerais.

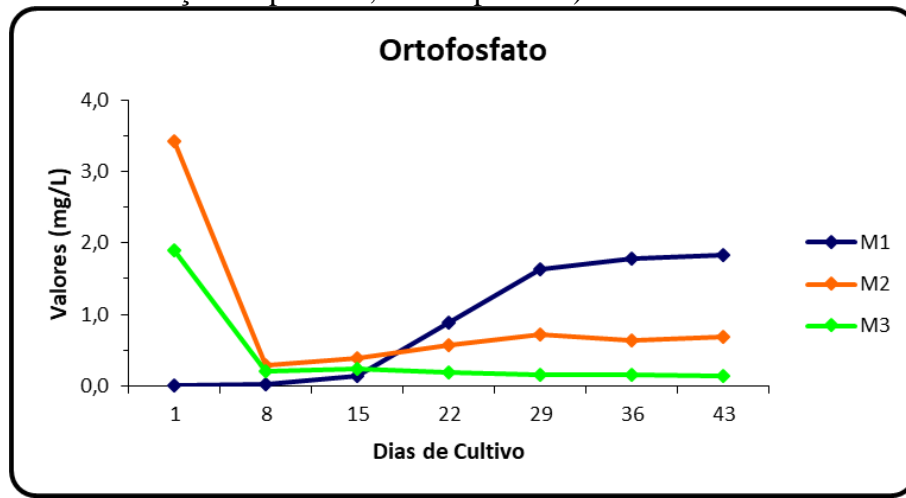
Gráfico 9 – Dureza total nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

As concentrações de ortofosfato tiveram um acréscimo a partir da terceira semana nos tratamentos com adição de ração artificial. Contudo, como M2 e M3 continham spirulina na água, a absorção desse composto pelas microalgas foi evidenciada no Gráfico 10, com valores finais de M1 = 1,83 mg/L, M2 = 0,68 mg/L e M3 = 0,14 mg/L. A remoção de compostos fosfatados por microalgas também foi identificada por Singh e Thomas (2012).

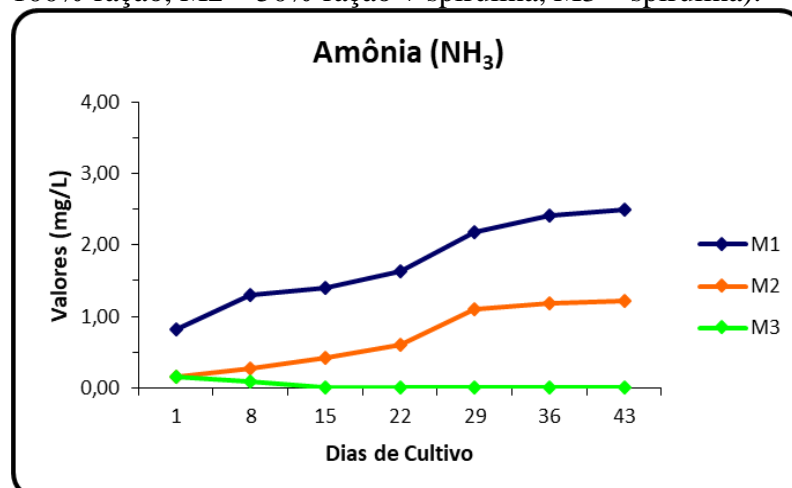
Gráfico 10 – Ortofosfato nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

A quantidade de amônia tóxica ou não ionizada (NH_3) aumentou até próximo ao limite sub-letal em M1 (2,50 mg/L), onde a matéria orgânica da ração foi mais ofertada e os peixes, que até a metade do cultivo tinham pesos médios semelhantes aos demais tratamentos, passaram a sofrer com as maiores taxas geradas desse produto metabólico (GRÁFICO 11).

Gráfico 11 – Amônia tóxica nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



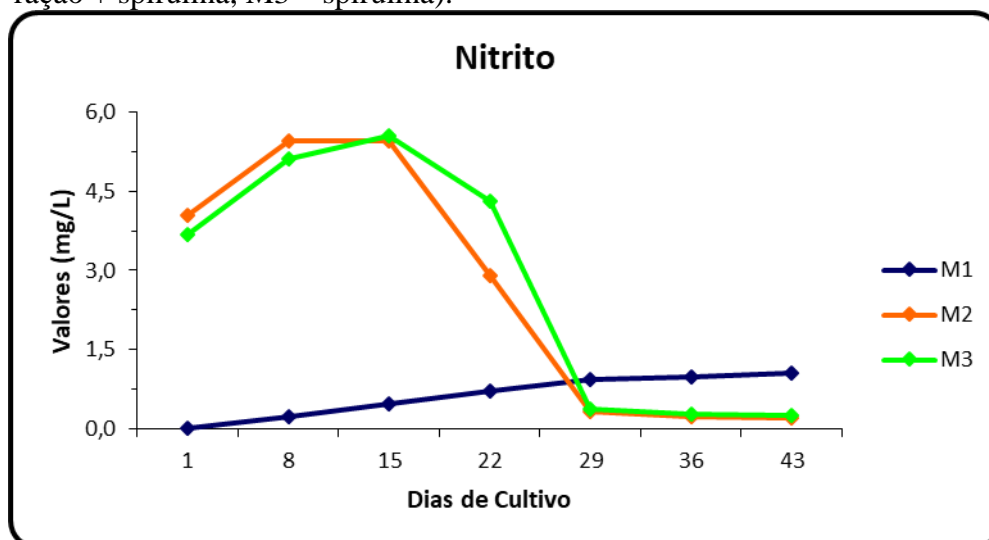
Fonte: Autor.

Em M2 (1,22 mg/L) a presença de spirulina não permitiu um grande aumento da amônia total, além da menor quantidade de ração fornecida e degradada dentro do metabolismo dos peixes cultivados (excreção).

A não detecção de amônia em M3 (0,00 mg/L) corrobora com estudos que utilizaram organismos fotossintetizantes no tratamento de águas residuais e efluentes aquícolas para melhoria da qualidade de água (VON SPERLING, 2005).

O sistema de filtragem, no que se refere à remoção de amônia e conversão em nitrito e nitrato, é o grande gargalo técnico de um sistema intensivo, aspecto evidenciado na criação de tilápias com elevada densidade de estocagem (JORDAN *et al.*, 2011). Os módulos tiveram as concentrações de nitrito (NO_2^-) diminuídas ao final do cultivo (GRÁFICO 12), M1 = 1,05mg/L; M2 = 0,21 mg/L; M3 = 0,27 mg/L, evidenciando a boa oxigenação do sistema e remoção de nitrogenados pela spirulina.

Gráfico 12 – Nitrito nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



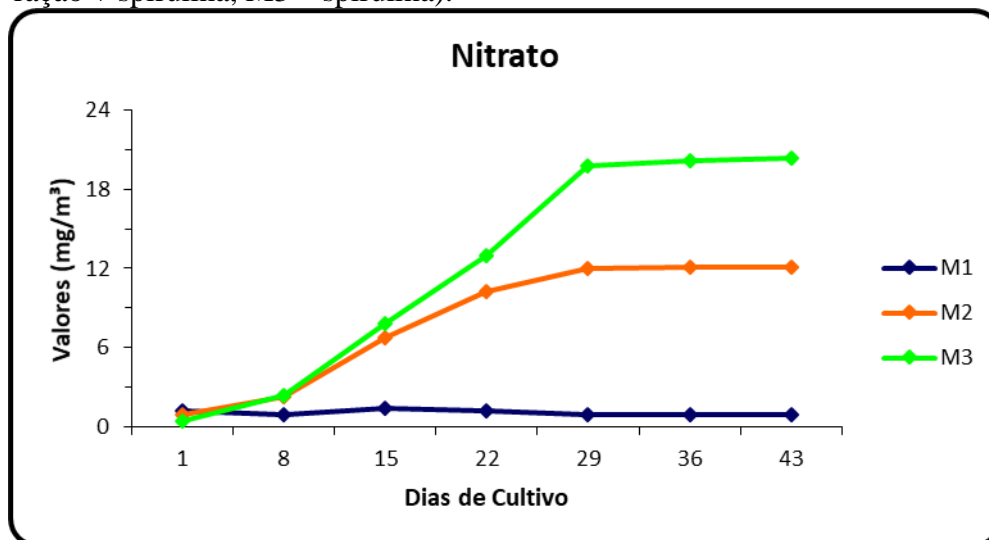
Fonte: Autor.

Entre as formas nitrogenadas presentes na água, o nitrato (NO_3^-) é a que menos apresenta risco aos organismos aquáticos cultivados (SÁ, 2012). A fração da amônia convertida em nitrato não é assimilada pelas microalgas, diferentemente das plantas superiores (HAYASHI *et al.*, 2008).

Assim, houve o acúmulo de nitrato em M2 e M3. Contudo, os valores observados desse parâmetro foram bem abaixo do valor de 10,0 mg/L (10.000 mg/m³ no gráfico), determinado na Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA

(BRASIL, 2005), que estabelece, entre outras regulamentações, as diretrizes ambientais, as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água naturais (GRÁFICO 13).

Gráfico 13 – Nitrato nos módulos de cultivo (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

No geral, os valores das variáveis físico-químicas permaneceram dentro dos valores de referência de máximo e de mínimo encontrados na literatura especializada ou em regulamentações de órgãos ambientais do governo federal.

4.3 Parâmetros hematológicos

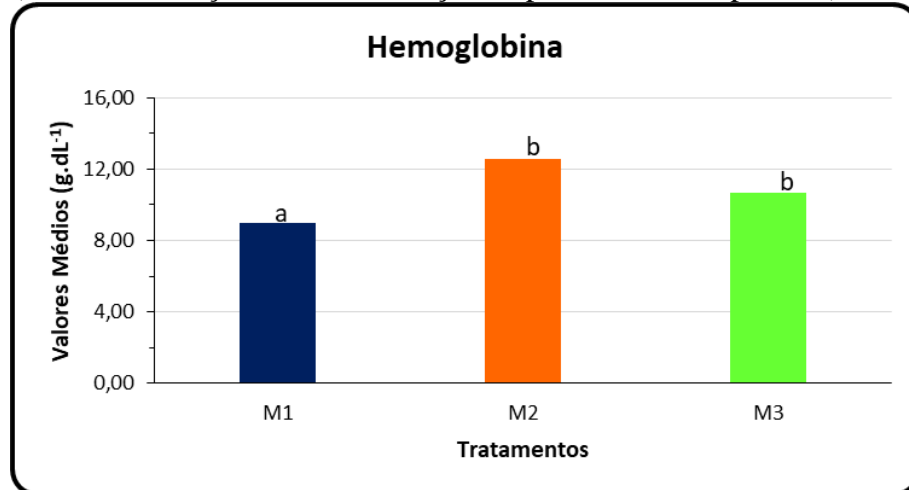
Os parâmetros hematológicos foram importantes para ratificar a saúde dos animais cultivados. Com os valores encontrados, pôde-se constatar a influência das condições ambientais como a qualidade de água nos exames sanguíneos, o que também sugere a pesquisa realizada por Satheeskumar *et al.* (2011).

As taxas de concentração de hemoglobina para os tratamentos com spirulina (M2 e M3) diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) do tratamento controle (M1). Foram encontrados valores variando entre $8,99 \pm 1,25 \text{ g.dL}^{-1}$ (controle) e $12,58 \pm 1,93 \text{ g.dL}^{-1}$ (M2).

O aumento da hemoglobina pode significar maior capacidade de transporte de gases no interior do corpo, melhorando o transporte de oxigênio para as células e recolhendo o CO_2 para ser eliminado do organismo (ETIM *et al.*, 2013).

A quantidade de hemoglobina em M2 (GRÁFICO 14) foi compatível com valores de Costa *et al.* (2014) para juvenis de tilápia do Nilo tendo óleo de peixe como fonte lipídica.

Gráfico 14 – Taxa de hemoglobina no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).

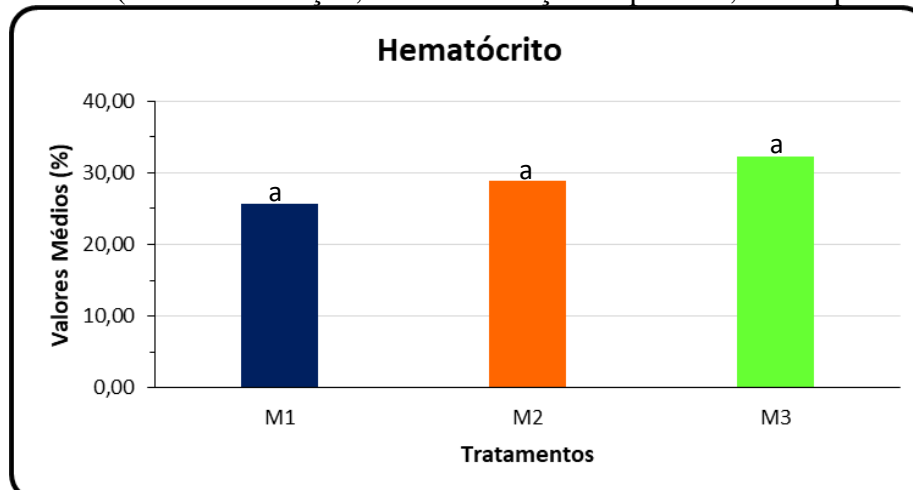


Fonte: Autor.

Devido à pequena margem de erro na determinação (taxa percentual), a contagem de hematócrito indica a proporção entre a quantidade de eritrócitos encontrada comparada ao volume total de leucócitos, trombócitos e plasma (RANZANI-PAIVA *et al.*, 2013).

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$), embora a contagem total de hematócrito tenha aumentado percentualmente com a proporção de spirulina viva para alimentação (até $32,22 \pm 3,29\%$ em M3), conforme o Gráfico 15.

Gráfico 15 – Contagem total de hematócrito no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



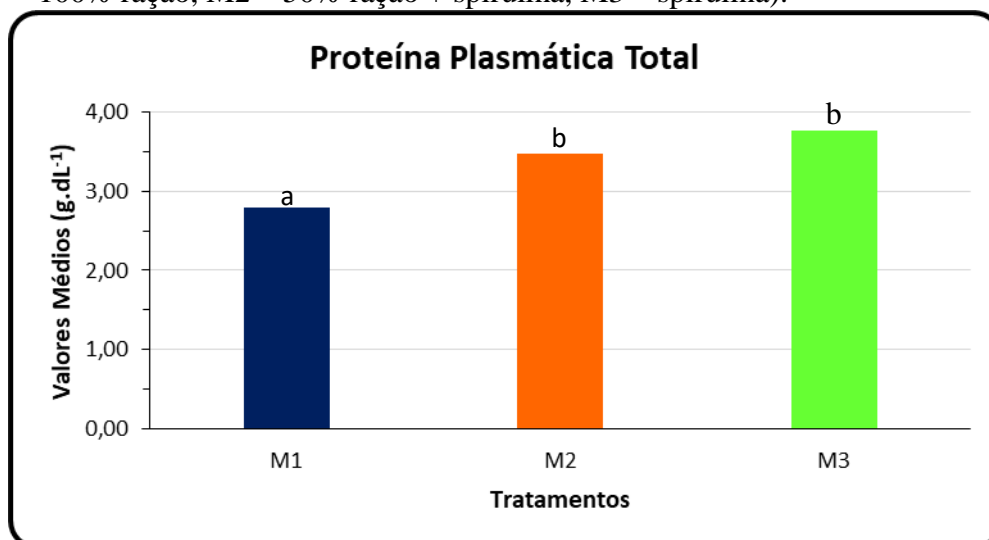
Fonte: Autor.

Essa tendência direta entre o hematócrito com suplementação de spirulina para *O. niloticus* também foi encontrada em estudo feito por Ibrahem, Mohamed e Ibrahim (2013).

A contagem de hematócrito permite a análise do diagnóstico de anemias microcítica e hipocrômica, além de outras condições patológicas que afetam essas células sanguíneas, como a deficiência de ferro ou de vitamina B12, baixa pressão sanguínea, entre outras (BUNN, 2018).

A concentração de proteína plasmática total, que inclui as globulinas, a albumina, fibrinogênio e apolipoproteínas, apresentou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos com spirulina (M2 e M3) e o controle (M1), conforme o Gráfico 16.

Gráfico 16 – Proteína plasmática total no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recría com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

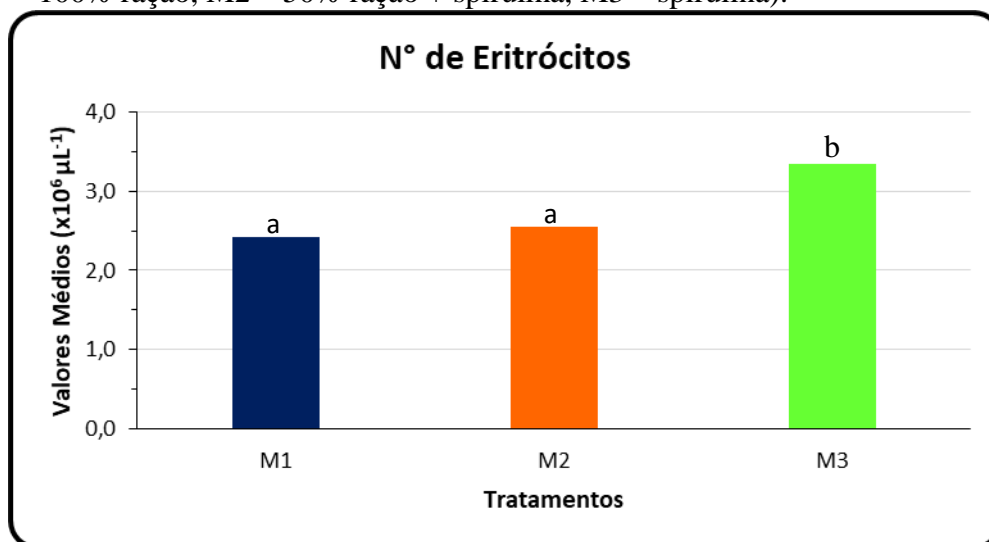
Nota-se a crescente concentração de proteína plasmática total (PPT) com a diminuição de fornecimento de ração e proporcionalmente consumo de alimento vivo (spirulina). O controle obteve valor de PPT em $2,79 \pm 0,11 \text{ g.dL}^{-1}$ e o valor máximo encontrado foi em M3 com $3,76 \pm 0,23 \text{ g.dL}^{-1}$.

Alterações nos valores da proteína plasmática poderiam ser correlacionadas a má nutrição ou estresse. Em estudo do perfil hematológico de tilápias alimentadas com diferentes fontes lipídicas, Araújo *et al.* (2015) encontraram valores para PPT que variaram entre 1,84 e 2,34 g.dL^{-1} , contudo valores maiores que 3,00 g.dL^{-1} também podem ser encontrados em exemplares de tilápia saudáveis (FERNANDES JUNIOR *et al.*, 2010; SIGNOR *et al.*, 2010).

Em média, a contagem total de eritrócitos em M1 (controle) foi de $2,41 \pm 0,20 \times 10^6 \mu\text{L}^{-1}$, valor semelhante ao encontrado em M2 ($2,54 \pm 0,16 \times 10^6 \mu\text{L}^{-1}$), porém com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) quando comparada ao M3 ($3,34 \pm 0,14 \times 10^6 \mu\text{L}^{-1}$). Esses valores encontrados de eritrócitos condizem com os encontrados por Pereira *et al.* (2016), que obtiveram contagens variando entre $2,2$ e $5,8 \times 10^6 \mu\text{L}^{-1}$ para a salinidade de 10 u.p.s.

Assim, evidencia-se que o número de eritrócitos totais em M2 (ração + spirulina) foi 23,73% maior do que no tratamento controle (M1). O tratamento alimentado somente com spirulina (M3) obteve contagem 3,39% menor que o controle (GRÁFICO 17).

Gráfico 17 – N° de eritrócitos totais no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

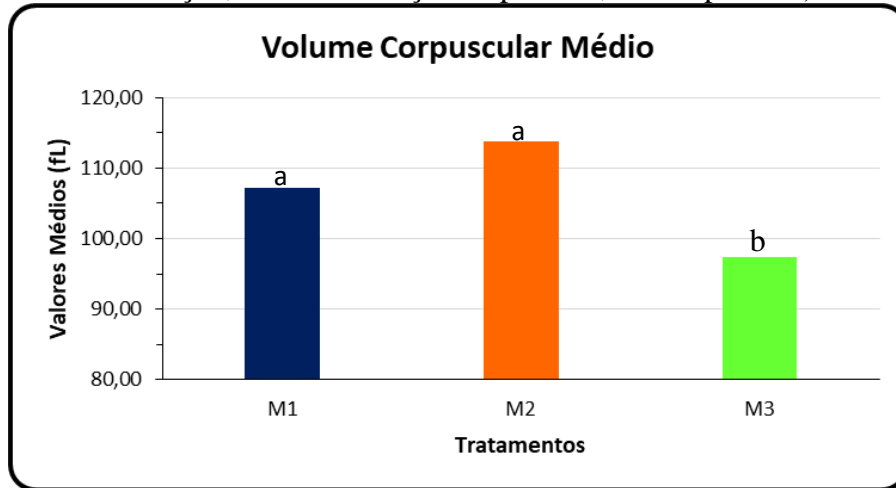
Quanto à morfologia das células contadas, os resultados obtidos evidenciaram os eritrócitos como predominantes, que variaram de ovais à elipsoidal com núcleo central.

Os resultados dos índices hematimétricos podem variar em função do número de eritrócitos, proporção de hematócrito e percentual de hemoglobina no sangue. Essas variáveis são fortemente influenciadas por situações de estresse ambiental pelas quais as tilápias cultivadas podem ser expostas devido ao confinamento, como a hipóxia (MELO *et al.*, 2009).

Os resultados de volume corpuscular médio (VCM) estão próximos aos encontrados em estudos hematológicos realizados em *O. niloticus* alimentadas com ração convencional e também com substituições de ingredientes na ração artificial (MARTELINE *et al.*, 2010).

De acordo com o Gráfico 18, os valores de VCM indicaram o maior número de hemácias com um menor volume em M3 ($97,36 \pm 15,69$ fL) diferindo estatisticamente de M1 e M2 ($p < 0,05$), com valores de VCM próximos a 110 fL.

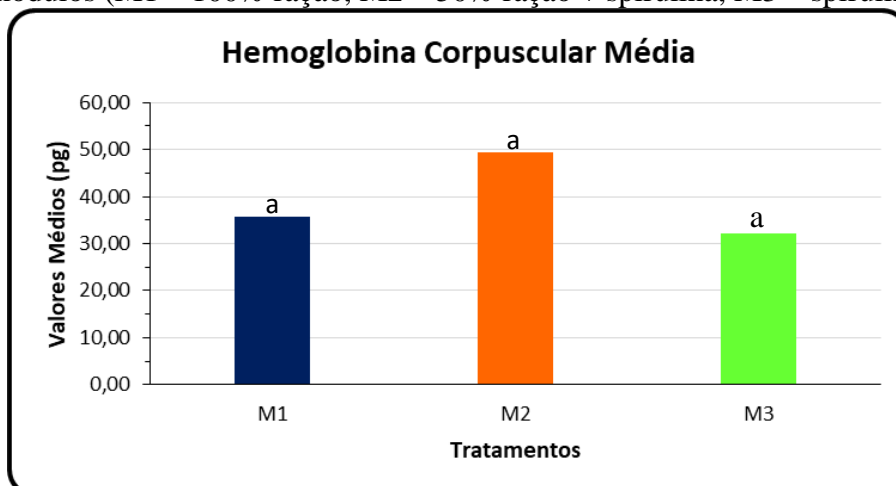
Gráfico 18 – Volume corpuscular médio no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Os valores de hemoglobina corpuscular média foram de $35,63 \pm 14,36$ pg em M1 (100% ração), $49,43 \pm 18,23$ pg em M2 (50% ração + spirulina) e $32,14 \pm 7,26$ pg em M3 (somente spirulina), conforme o Gráfico 19. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), sendo os valores muito semelhantes aos encontrados por Ueda *et al.* (1997) para tilápias de ambos os sexos.

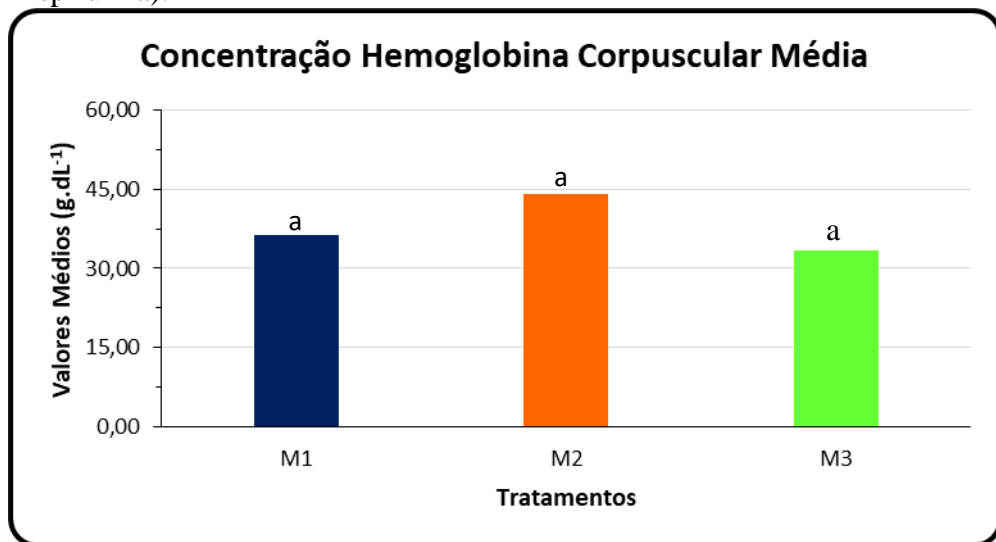
Gráfico 19 – Hemoglobina corpuscular média no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Também, de acordo com o Gráfico 20, não foi obtida diferença estatística significativa nas concentrações de hemoglobina corpuscular média (CHCM) entre os tratamentos ($p < 0,05$). Foram encontrados valores de $36,37 \pm 3,48 \text{ g.dL}^{-1}$ no controle (M1), $44,13 \pm 8,78 \text{ g.dL}^{-1}$ em M2 e $33,39 \pm 3,95 \text{ g.dL}^{-1}$ em M3, médias próximas às comparadas a estudos com tilápia do Nilo em sistemas semi-intensivos (BITTENCOURT *et al.*, 2003).

Gráfico 20 – Concentração de hemoglobina corpuscular média no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



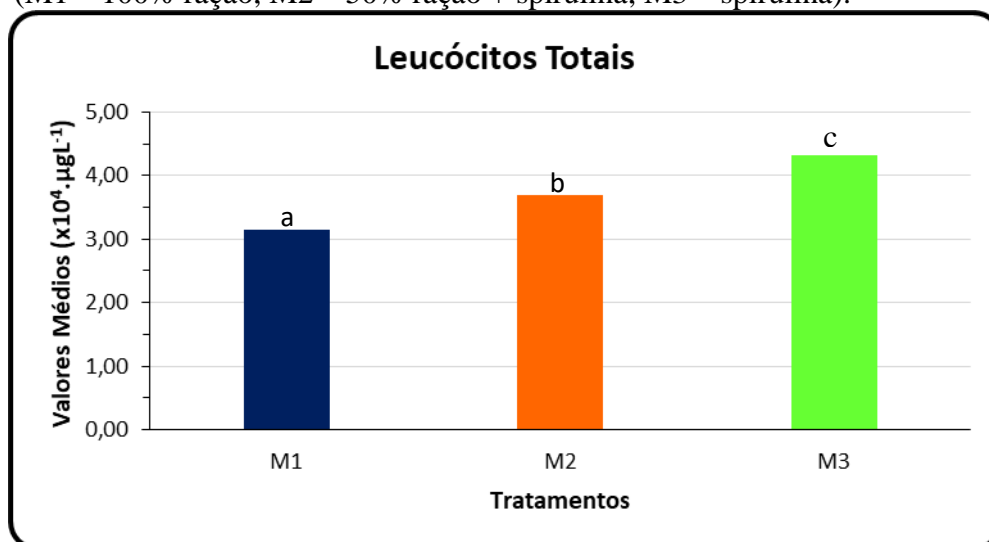
Fonte: Autor.

O leucograma trata-se de uma avaliação e determinação da quantidade de leucócitos, também denominados glóbulos brancos ou células brancas. A diminuição dos leucócitos na corrente sanguínea é indicativa de depleção no sistema imunológico, enquanto seu aumento pode caracterizar um início de estresse na tentativa de manter a homeostase em desequilíbrio, enquanto que o decréscimo pode ser atribuído pelo enfraquecimento do sistema imunológico (SILVA; LIMA; BLANCO, 2012).

A contagem total leucócitos foi de $3,15 \pm 0,23 \times 10^4 \cdot \mu\text{L}^{-1}$ para M1 (controle), $3,69 \pm 0,16 \times 10^4 \cdot \mu\text{L}^{-1}$ em M2 e de $4,31 \pm 0,14 \times 10^4 \cdot \mu\text{L}^{-1}$ no M3, um aumento de 72% da contagem de M3 em relação ao controle.

Os valores mais elevados foram observados com o aumento da disponibilidade de spirulina na dieta, apresentando diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre M2 em relação ao controle e a M3 (GRÁFICO 21).

Gráfico 21 – Número de leucócitos totais no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

A spirulina (*A. platensis*) suplementada na dieta de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) também apresentaram incremento no número de leucócitos, indicando elevação da imunidade e apresentando aumento no desempenho zootécnico e resistência a doenças em trabalho realizado com peixes logo após a fase de recria e descrito por Abu-Elala *et al.* (2016).

Estudos com outros peixes também obtiveram essa relação diretamente proporcional entre a melhora do sistema imunológico dos animais (aumento de eritrócitos e leucócitos) com a substituição ou suplementação de spirulina em suas dietas (ABDEL-TAWWAB; AHMAD, 2009; ABDULRAHMAN, 2014; EL-SHEEKH *et al.*, 2014).

A contagem diferencial de leucócitos teve o percentual de linfócitos apresentando diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos com spirulina e o controle, com valores mais elevados no tratamento com maior disponibilidade da microalga na dieta.

Os linfócitos observados mostraram-se predominantemente arredondados, de tamanho variado, com o citoplasma biofílico e sem granulações visíveis.

Os neutrófilos apresentaram relação inversa aos linfócitos, com a contagem maior no tratamento controle (M1). Foram observadas células arredondadas com núcleo em forma de bastonete e cromatina nuclear pouco compactada sem nucléolo visível.

O maior percentual de monócitos foi observado em M2 com diferenciação estatística em relação a M1 (TABELA 9). Foram detectadas grandes células de forma esférica, ocasionalmente arredondada ou apresentando-se irregulares ou polimorfismo. Possuíam núcleo pequeno, excêntrico, com cromatina densa e nucléolo ausente.

Tabela 9 – Contagem diferencial de leucócitos no sangue de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina) em valores percentuais.

TIPO DE LEUCÓCITOS	M1	M2	M3	REFERÊNCIA*
Linfócitos	41,00 ± 4,19 ^a	57,00 ± 5,94 ^b	69,00 ± 7,14 ^b	50,5
Neutrófilos	53,33 ± 3,92 ^a	36,00 ± 4,15 ^b	26,00 ± 4,43 ^c	45,0
Monócitos	2,33 ± 0,84 ^a	4,00 ± 1,35 ^b	3,33 ± 1,71 ^{ab}	3,0
Eosinófilos	3,33 ± 1,56 ^a	3,00 ± 1,74 ^a	1,67 ± 1,10 ^a	1,5

Fonte: Autor.

* Obs.: valores de referências para peixes saudáveis de acordo com Ranzani-Paiva *et al.* (2013).

O número de eosinófilos não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos e permaneceu acima do valor de referência normal para peixes considerados saudáveis. Os eosinófilos encontrados foram relativamente pequenos, variando de acordo com a quantidade e o tamanho de grânulos no citoplasma.

A relação inversa no percentual de linfócitos e neutrófilos pode ser explicada pela ação da spirulina no sistema imunológico. A quantidade de neutrófilos elevada é indicativa de estresse ambiental no cultivo, onde o organismo do peixe passa a preparar suas defesas contra possíveis inflamações (RANZANI-PAIVA *et al.*, 2013). Ao mesmo tempo, os linfócitos aumentados são indicativos de maior potencial homeostático do organismo, já que os mesmos são responsáveis por reconhecer agentes agressores, defender e manter a integridade das células (NETO *et al.*, 2009).

Os monócitos possuem atividade citotóxica não-específicas, representando resposta imunológica mediante fagocitose de antígenos bacterianos ou patógenos, atuando assim no mecanismo de defesa do hospedeiro (SILVA; LIMA; BLANCO, 2012). Na presente pesquisa, houve o aumento desse tipo leucócito em águas com spirulina.

Os eosinófilos apresentaram valores acima dos considerados para peixes saudáveis, não diferindo estatisticamente entre M1, M2 e M3. Eles representam um menor percentual de leucócitos no fluxo sanguíneo de peixes, contribuindo no sistema imunológico com a erradicação de parasitas multicelulares e certas infecções (RANZANI-PAIVA *et al.*, 2013).

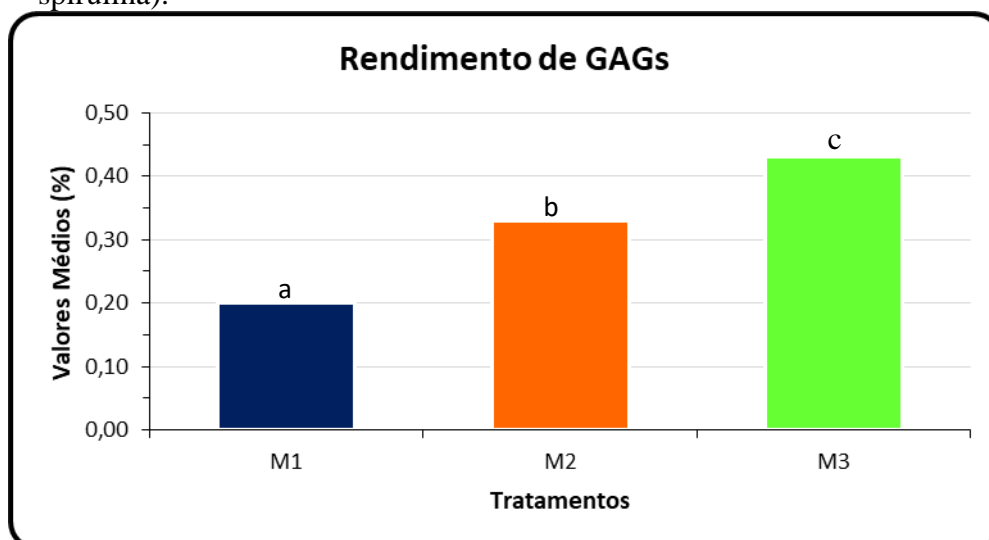
Os trombócitos foram caracterizados como células elípticas com núcleo fusiforme e com intensa vacuolização. A análise morfológica de todas as células sanguíneas observadas pode ser considerada normal em peixes tropicais cultivados no Brasil (DAL'BÓ *et al.*, 2015).

De um modo geral, a presença de spirulina na água de cultivo melhorou os parâmetros hematológicos dos peixes estudados, influenciando positivamente no desempenho zootécnico e eficiência alimentar. A eficiência da *A. platensis* na melhora das funções imunológicas não específicas contra patógenos em peixes também foi observada em estudos recentes (BAI; REDDY; KALARANI, 2014; IBRAHEM; IBRAHIM, 2014).

4.4 Extração de glicosaminoglicanos (GAGs)

A extração de glicosaminoglicanos (GAGs) utilizando a atividade enzimática da papaína e o uso do cloreto cetilpiridínio na etapa de precipitação dos GAGs presentes em 3,0 gramas de pele da tilápia do Nilo (*O. niloticus*) resultou em 6,0 mg de extrato total para M1 (tratamento controle), 10,0 mg para M2 e 13,0 mg para M3. Assim, o cálculo de rendimento percentual para 3,0 gramas de pele de tilápia obtido pode ser observado no Gráfico 22.

Gráfico 22 – Rendimento percentual do extrato de GAGs na pele de alevinões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Utilizando metodologia semelhante, Rodrigues *et al.* (2011) obtiveram valores proporcionalmente menores do total de GAGs extraídos da pele de *O. niloticus* (3,0 mg GAG/ 2,0 g pele), para peixes produzidos em tanques de alvenaria convencionais. Todavia,

Rodrigues *et al.* (2009), avaliando o extrato de GAGs isolados da pele da carpa comum (*Cyprinus carpio*) relataram a presença total de 5,70 mg GAG/ 2,0 g pele, valor próximo ao encontrado em M1.

A quantidade de GAG cresceu com a maior participação da spirulina na dieta dos peixes. Houve um incremento de 65,0% no extrato de GAGs de M2 em relação à M1 e 30,3% de M3 em relação à M2. Quando comparados M3 em relação a M1 esse valor chega a 115%.

Em algumas espécies de peixes criadas em cativeiro, a suplementação de vitaminas é capaz de aumentar a quantidade de GAGs no organismo, uma vez que algumas delas (em especial a vitamina A) participa diretamente da síntese de GAGs que agem na regulação do crescimento e diferenciação celular (SIGNOR *et al.*, 2013). A spirulina (*A. platensis*) é uma rica fonte de vitaminas A e E, além de possuir baixa toxicidade (MITCHELL *et al.*, 1990). Contudo, são necessários estudos que comprovem a influência dos parâmetros de qualidade de água e do manejo intensivo no cultivo na produção de GAGs (ARAÚJO *et al.*, 2010).

De acordo com Barra e Rodrigues (2014), a utilização das matrizes dérmicas se mostra excelente opção terapêutica para o tratamento de queimaduras complexas, assim como para contraturas cicatriciais.

A pele de tilápia possui estrutura semelhante ao arranjo morfológico da pele humana e elevada resistência e extensão à tração em quebra, o que torna sua aplicação como biomaterial bastante indicada. A derme da pele de *O. niloticus* é formada por feixes organizados de fibras de colágeno denso, predominantemente do tipo I, o que é excelente para uso clínico (ALVES *et al.*, 2015).

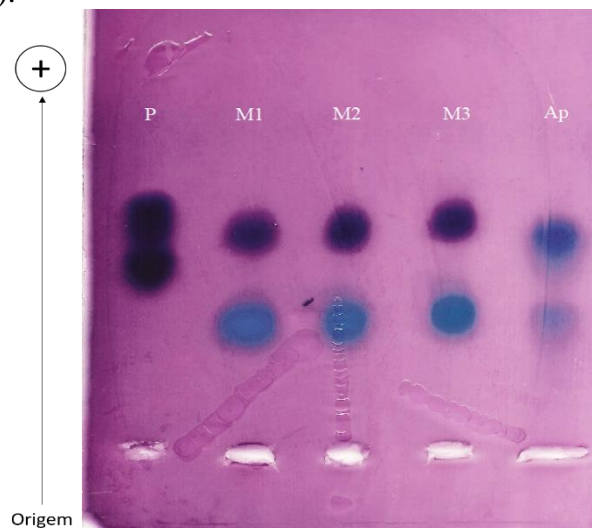
Em estudo realizado por Salles *et al.* (2017), pode-se constatar que a fração única de GAG contida na pele da tilápia do Nilo é o dermatan sulfato (DS). Assim, atribui-se a esse tipo de GAG a atividade regenerativa da pele desse peixe, funcionando como curativo biológico ocluso no tratamento de queimaduras (LIMA-JUNIOR *et al.*, 2017).

A metacromasia indica a presença de sulfatação na amostra, na qual o reagente passou de azul para rosa de acordo com a maior alíquota, encontrado no tratamento controle (M1) com 15 µL de reagente. Além disso, a resina de troca iônica mostrou-se eficiente no fracionamento, o que denota que a amostra analisada é rica em GAGs na matriz de pele.

A purificação dos polissacarídeos por cromatografia em DEAE-celulose resultou na separação de duas diferentes frações de GAGs, evidenciando o perfil da fração fornecida pela spirulina (Ap) e o perfil característico de dermatan sulfato (DS). Foi utilizada como padrão de GAGs (P) a mistura de CS + DS + Hep.

A eletroforese mostrou um perfil migratório similar ao padrão de DS. O fracionamento revelou uma banda com intensa metacromasia (mais carregada) nos tratamentos quando comparada ao perfil de corrida da microalga pura liofilizada (FIGURA 17).

Figura 17 – Eletroforese em gel de agarose das frações purificadas da pele de aleviões de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em recria com spirulina (*A. platensis*) nos módulos (M1 – 100% ração, M2 – 50% ração + spirulina, M3 – spirulina).



Fonte: Autor.

Por outro lado, as frações apresentaram um padrão homogêneo de cargas negativas e sua semelhança no perfil eletroforético dos GAGs da pele de tilápia do Nilo sugerem a ubiquidade preliminar da presença de DS nas amostras de pele estudadas. Entretanto, os GAGs de *O. niloticus* cultivados nessas condições requerem estudos mais aprofundados quanto aos mecanismos de ação anticoagulante e caracterização estrutural, conforme metodologia aplicada por Wu *et al.* (2010).

4.5 Análise financeira

A tecnologia do ferrocimento permite a associação da qualidade construtiva com o baixo consumo de material. Somando-se a isso, a relativa facilidade para instalação bem como a diversidade de estruturas possíveis de serem elaboradas faz com que construções de ferrocimento tenham seus custos normalmente reduzidos.

Fez-se levantamento dos investimentos necessários à instalação e à operacionalização de um módulo de cultivo proposto na presente pesquisa. Os indicadores de rentabilidade foram elaborados para a situação com e sem financiamento. Os dados de custos do sistema produtivo (materiais, mão-de-obra e insumos) foram listados no APÊNDICE A.

Para estudo do desempenho financeiro da recria de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) com spirulina (*A. platensis*) em tanques de ferrocimento, utilizou-se a conversão alimentar aparente e a sobrevivência no módulo de cultivo mais eficiente em desempenho (M2). Assim, foram necessárias ainda outras informações para a montagem do cenário de análise:

- a) densidade de estocagem final: 200 peixes/m³;
- b) conversão alimentar: 0,52:1 (0,52 kg ração : 1 kg peixe);
- c) sobrevivência: 98,5%;
- d) volume útil do módulo: 10 m³ (TP – habitat dos peixes);
- e) tempo de cultivo: 50 dias;
- f) peso médio final: 30 g.
- g) produção total anual estimada: 420 kg peixe/ano (14 milheiros);
- h) a taxa média de juros adotada foi de 10% ao ano;
- i) dado o cronograma de implantação da estrutura, a produção do ano zero será apenas 210 kg de peixe (3,5 ciclos semestrais). Considerou-se a produção anual a partir do ano 1 igual a produção total anual estimada;
- j) o preço médio de comercialização adotado foi de R\$ 350/milheiro de peixe (valor base para venda no varejo local);
- k) horizonte de planejamento: 10 anos;
- l) pagamento do empréstimo: 4 anos;
- m) carência do empréstimo: 2 anos com carência parcial;
- n) montante a financiar: 40%.

Conforme observado no APÊNDICE A, o custo total de instalação e operação do módulo em um ciclo de cultivo foi de R\$ 3.026,33. Deste valor, o material de construção dos tanques de ferrocimento representou 38,26% (R\$ 1.157,93), o sistema hidráulico constou de 3,35% (R\$ 101,50), o sistema de bombeamento correspondeu a 6,30% (R\$ 190,60), o sistema de aeração significou 12,07% (R\$ 365,30) e os insumos de produção foram iguais a 12,59% (R\$ 381,00). A mão-de-obra ficou em 27,43% do valor total (R\$ 830,00), todavia seus valores podem ser bastante flexíveis, variando de acordo com a localidade, oferta e demanda dos profissionais, bem como seu grau de qualificação.

Todos os dados de valores monetários foram baseados nas despesas para a realização da presente pesquisa, com valores de varejo local (depósitos) e de mão-de-obra da região. A quantidade de ração foi estimada pelo valor de conversão alimentar aparente encontrado e seu preço obtido pela média dos valores no mercado local.

Entre as componentes da instalação do módulo de cultivo, os tanques de ferrocimento, embora devam ter uma atenção especial no processo construtivo e grande utilização de material, possuem custo relativo baixo quando analisada sua vida útil de 30 a 50 anos (LIMA, 2018). O sistema de aeração trás o compressor de ar como o item de maior valor, contudo o mesmo pode ser utilizado em pelo menos três módulos (usou-se um compressor para os três módulos de cultivo avaliados nessa pesquisa).

Assim, na análise de investimento considerou-se a implantação de um empreendimento de 10 anos para a construção de um módulo com produção de 3,5 ciclos de cultivo por semestre. Visto que a área utilizada para o cultivo é bem reduzida ($\approx 24,5 \text{ m}^2$) optou-se por não incluir nos custos o valor do terreno e a mão-de-obra de manejo.

Para a análise de investimento, são necessárias as informações que são apresentadas nas Tabelas 10 a 14. São detalhados: financiamento, reinversões financeiras, imobilização financeira, custos operacionais e custos anuais fixos e variáveis. Tais dados permitem a elaboração do APÊNDICE B com o fluxo de receitas e custos.

Tabela 10 – Usos e fontes dos recursos para inversões*.

Especificações	Total (R\$)	A Financiar (%)	Fontes	
			Banco	Próprio
Módulo de cultivo ¹	1.324,33	40	529,73	794,60
Máq. e Equipamentos ²	586,00	40	234,40	351,60
TOTAL	1.910,33	-	764,13	1.146,20

Fonte: Autor.

* Gastos relacionados à aquisição de imóveis ou bens de capital;

¹ Todo o material usado na construção, excetuando-se as máquinas e equipamentos;

² Bomba submersa, compressor, *timer* analógico, balança digital e rede-de-arrasto.

Tabela 11 – Reinversões da recria de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) com spirulina (*A. platensis*)* para cinco anos de empreendimento com um módulo de cultivo.

Especificações	Vida Útil (anos)	Ano do Empreendimento					
		0	1	2	3	4	5
Módulo de cultivo	30	-	-	-	-	-	-
Máq. e Equipamentos	5	-	-	-	-	-	586,00
TOTAL (R\$)	-	-	-	-	-	-	586,00

Fonte: Autor.

* Novo gasto com bens de capital após sua vida útil.

Tabela 12 – Imobilização financeira *

Itens	Estoque Médio	Valor (R\$)
Alevinos	60 dias	160,00
Energia elétrica	60 dias	72,00
Ração balanceada	60 dias	126,00
Manutenção ¹	60 dias	30,26
TOTAL	-	388,26

Fonte: Autor.

* Custos operacionais médios para 2 meses.

¹ Considerando-se 1% dos custos dos tanques, máquinas e equipamentos.

Tabela 13 – Custos operacionais do empreendimento (valores em R\$).

Especificações	Anos do Empreendimento		
	0	1	2 e +
Alevinos	480,00	960,00	960,00
Energia elétrica	216,00	432,00	432,00
Ração balanceada	441,00	882,00	882,00
Manutenção ¹	90,79	181,58	181,58
TOTAL	1.227,79	2.455,58	2.455,58

Fonte: Autor.

¹ Considerando-se 1% dos custos dos tanques, máquinas e equipamentos.

Tabela 14 – Estrutura de custos anuais fixos e variáveis (valores em R\$).

Especificações	Anos do Empreendimento		
	0	1	2 e +
CUSTOS FIXOS	630,79	721,58	721,58
Depreciação ¹	198,54	198,54	198,54
- Módulo de cultivo	81,34	81,34	81,34
- Máq. e Equipamentos	117,20	117,20	117,20
Juros sobre o capital total ²	341,46	341,46	341,46
Manutenção	90,79	181,58	181,58
CUSTOS VARIÁVEIS	1.137,00	2.274,00	2.274,00
Alevinos	480,00	960,00	960,00
Energia elétrica	216,00	432,00	432,00
Ração balanceada	441,00	882,00	882,00
TOTAL (CF + CV)	1.767,79	2.995,58	2.995,58

Fonte: Autor.

¹ Depreciação linear (valor do bem novo / vida útil do bem);

² Compreende as inversões e a imobilização financeira.

Como visto no APÊNDICE B, o fluxo de caixa no ano zero (ano da instalação do módulo) foi negativo em ambas as circunstâncias (com e sem financiamento) devido aos custos de instalação tendo apenas a receita de 3,5 ciclos produtivos.

No ano 1 (segundo ano do cultivo instalado), a receita gerada pelos sete ciclos anuais já é suficiente para cobrir o fluxo de caixa negativo do ano zero caso haja ou não financiamento (entrada do crédito de investimento). Destaca-se também que os demais anos de vida útil do empreendimento apresentam fluxo de caixa positivo, mesmo no ano em que ocorrem a reinversão (ano 5), para ambas as situações.

Na análise dos indicadores financeiros (TABELA 15), verificou-se que nas situações com e sem financiamento o empreendimento é consideravelmente viável, pois tais indicadores encontraram-se positivos para variações na taxa de juros de 2 a 20%. A Relação Benefício/Custo ($R_{b/c}$) ficou sempre maior do que 1 (valores entre 1,54 a 1,75).

Tabela 15 – Indicadores financeiros.

Taxas de Descontos (%)	SEM FINANCIAMENTO		COM FINANCIAMENTO	
	$R_{b/c}$	VPL (R\$)	$R_{b/c}$	VPL (R\$)
2,00	1,75	20.552,68	1,70	20.140,94
4,00	1,73	18.332,86	1,68	18.030,54
6,00	1,71	16.406,65	1,66	16.221,83
8,00	1,69	14.751,32	1,64	14.663,53
10,00	1,66	13.314,13	1,62	13.314,13
12,00	1,64	12.060,28	1,61	12.139,90
14,00	1,62	10.961,24	1,59	11.113,24
16,00	1,60	9.993,55	1,57	10.211,50
18,00	1,57	9.137,80	1,56	9.415,96
20,00	1,55	8.377,89	1,54	8.711,13
	TIR (%) = 58,72		TIR (%) = 48,18	

Fonte: Autor.

Os Valores Presentes Líquidos (VPLs) são proporcionais à escala do sistema, com valores positivos (de R\$ 8.377,89 a R\$ 20.552,68). À taxa de mercado considerada (10%), o VPL é de R\$ 13.314,13 em ambas as situações. Tais valores encontrados estão na faixa de VPL encontrado por Vitela *et al.* (2013) para tanques escavados (R\$ 16.706,41). Portanto, além de atingirem uma Taxa Mínima de Atratividade de 10%, o empreendimento apresentou um excedente de R\$ 13.314,13 em valores atualizados.

A relativa estabilidade diante das oscilações da taxa de juros de mercado (desvio padrão da $R_{b/c}$ próximo de 0,06 sem e 0,04 com financiamento) infere ao empreendimento um baixo risco econômico. A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi de 48,18% com e 58,72% sem financiamento, mostrando as taxas de juros nas quais o VPL passa a ser nulo, indicando a partir delas a completa inviabilidade do empreendimento pela falta de capital a ser gerado.

Silva, Oliveira e Pereira-Neto (2018), em pesquisa com diferentes tipos de tanques circulares para aquicultura, encontraram para tanques de concreto uma Relação B/C de 1,22 e TIR de 38% (melhor valor), para uma taxa mínima de atratividade de 14,25%.

As medidas de resultado econômico também se comportaram positivamente para a viabilidade do empreendimento. O Lucro Total (LT) ou receita líquida da simulação realizada (TABELA 16) apresentou um valor de quase dois salários mínimos por ano (\approx 2,09 salários/ano) a partir do ano 1. Esse valor torna-se importante tanto para trabalhadores assalariados (14º e 15º salários) quanto para famílias de renda baixa que recebem benefícios sociais do governo.

Tabela 16 – Lucro total do empreendimento (valores em R\$).

Especificações	Anos do Empreendimento		
	0	1	2 e +
I. Receitas ¹	2.502,73	5.005,47	5.005,47
II. Custos Totais ²	1.767,79	2.995,58	2.995,58
III. Lucro Total³	734,94	2.099,89	2.009,89

Fonte: Autor.

¹ Valor bruto da produção (preço de venda x quantidade produzida);

² Custos Fixos – Custos Variáveis (TABELA 13);

³ Receitas – Custos Totais.

O Ponto de Nivelamento (PN) foi estimado em 113,31 kg de peixe, 26,42% em termos percentuais da capacidade instalada. Isso significa que, para o empreendimento começar a ter lucro, o sistema tem que operar com pelo menos 26,42% da sua capacidade máxima, obtendo uma produção mínima de 113,31 kg de peixe.

Assim, o PN indicou que um empreendimento semelhante ao simulado deverá começar suas atividades com não menos do que 1/4 da sua potencialidade de produção, valor significativamente menor que 38,20% encontrado por Santos-Filho *et al.* (2016) quando analisaram a viabilidade econômica do cultivo *O. niloticus* de pequena escala, utilizando sistema de recirculação de água em tanques de alvenaria.

Para os valores encontrados de lucro total, juros sobre o capital total, investimento total e imobilização financeira, a Taxa de Remuneração do Capital (TRC) ficou em 68,86%. Ou seja, do capital investido ocorreu uma remuneração de 68,86% em cada ano de atividade. Assim, o tempo necessário para o montante investido no início do empreendimento ser completamente restituído (Tempo de Reposição do Capital Investido – TRCI) seria de 1,45 (aproximadamente 1 ano e cinco meses).

Encontrou-se o valor máximo que o empreendimento dispõe para pagar anualmente pelo empréstimo obtido. Essa Capacidade de Pagamento (CP) mostra que haverá R\$ 2.549,89 anuais em caixa a partir do ano 1. Foi considerado que 30% do valor de CP poderiam ser usados como capacidade efetiva de pagamento do empréstimo. Assim, o montante de R\$ 764,97 seria utilizado para cumprir os compromissos financeiros assumidos, sendo, portanto, o empréstimo pago no final do ano 5 do empreendimento, prazo para o pagamento adicionados os dois primeiros anos de carência (TABELA 17).

Tabela 17 – Capacidade de pagamento do empreendimento (valores em R\$).

Especificações	Anos do Empreendimento		
	0	1	2 e +
I. Lucro Total	734,94	2.009,88	2.009,88
II. Depreciação	198,54	198,54	198,54
III. Juros sobre o capital total	341,46	341,46	341,46
IV. Capacidade de Pagamento¹	1.274,94	2.549,89	2.549,89

Fonte: Autor.

¹ Lucro total + Depreciação + Juros sobre o capital total.

O custo médio de produção foi de R\$ 5,72 para cada quilo de tilápia, quase o triplo dos valores obtidos em cultivos intensivos de tanques-rede instalados em viveiros povoados e não povoados, com 200 a 300 peixes/m³, R\$ 2,27 (SCORVO FILHO *et al.*, 2008). Também se comparando a cultivos em tanques-rede, o tempo de reposição do capital investido encontrado na presente pesquisa foi quase a metade dos 2 anos e 6 meses (6 ciclos) encontrados por Furlaneto, Ayroza e Ayroza (2010) com taxa de juros adotada de 12% ao ano.

Além disso, a representatividade desse custo médio de produção na presente pesquisa foi de apenas 49% do preço de venda, o que torna o empreendimento bastante atrativo quando se compara a proporção de lucro gerada pela receita.

Baseando-se nos resultados obtidos para os indicadores de análise de investimento e para as medidas de resultado econômico, pode-se afirmar que o cultivo de tilápias com spirulina em tanques de ferrocimento nas condições propostas se torna uma alternativa bastante viável para a produção de aleviões (recria). Assim, surge como uma tecnologia apropriada para o pequeno produtor pelo investimento inicial reduzido e pelo baixo risco frente às oscilações dos preços do produto e dos insumos, bem como da taxa de juros de mercado.

5 CONCLUSÃO

A recria de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) com spirulina (*A. platensis*) em tanques de ferrocimento com circulação de água salobra apresenta-se bastante viável, com indicadores financeiros positivos, quando se diminui a quantidade de ração fornecida pela metade em função da suplementação de spirulina viva na água de cultivo.

A microalga gera vários benefícios para a recria desses peixes, como a possibilidade de cessar o arraçoamento nas duas primeiras semanas de cultivo e a manutenção da qualidade de água em níveis ótimos para um desempenho zootécnico satisfatório nessa fase de cultivo.

Além disso, a spirulina agrega, através da sua composição química de alto valor nutricional, no aumento da atividade imunológica e no poder regenerativo de aplicação em tratamento de queimaduras, com o aumento de glicosaminoglicanos na matriz dermatológica dos animais cultivados.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-TAWWAB, M.; AHMAD, M. H. Live *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) as a growth and immunity promoter for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), challenged with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 40, n. 9, p. 1037-1046, 2009.
- ABDULRAHMAN, N. M. Evaluation of *Spirulina spp.* as food supplement and its effect on growth performance of common carp fingerlings. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 89-92, 2014.
- ABU-ELALA, N. M. *et al.* Effects of dietary supplementation of *Spirulina platensis* and Garlic on the growth performance and expression levels of immune-related genes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Aquaculture Research & Development**, [s.l.], v. 7, n. 7, p. 1-10, 2016.
- ALI, M. *et al.* Maintenance/submaximum feeding schedules for reducing solid wastes and improving feed conversion in aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 319-331, Jun. 2010.
- ALVES, A. P. N. N. *et al.* Avaliação microscópica, estudo histoquímico e análise de propriedades tensiométricas da pele de tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Queimaduras**, Goiânia, v. 14, n. 3, p. 203-210, 2015.
- AMBROSI, M. A. *et al.* Propriedades de saúde de *Spirulina spp.* **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 29, n. 2, p.109-117, 2008.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. Regulamentation 549-97, “State of the Art Report on Ferrocement”, Reported by **ACI Committee**, [s.l.], 1997.
- AMIRKOLAIE, A. K. Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. **Reviews in Aquaculture**, [s.l.], v. 3, p. 19-26, 2011.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22° ed., Denver: American Water Works Association, 2012. 1496 p.
- ARAÚJO, C. S. O. *et al.* Infecções parasitárias e parâmetros sanguíneos em *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (*Arapaimidae*) cultivados no estado do Amazonas, Brasil. In: TAVARES-DIAS, M. (org.). **Manejo e sanidade de peixes em cultivo**. Macapá: Embrapa Amapá, 1.ed., p. 389-424, 2009.
- ARAÚJO, G. S. *et al.* Cultivo da tilápia do Nilo em tanques-rede circulares em diferentes densidades de estocagem. **Bioscience Journal**, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 428-434, 2010.
- ARAÚJO, D. M. *et al.* Hematologia de tilápias-do-nilo alimentadas com dietas com óleos vegetais e estimuladas pelo frio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 294-302, mar., 2011.

_____. Perfil hematológico de tilápias-do-Nilo alimentadas com dietas contendo diferentes lipídeos e estimuladas por baixa temperatura. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 220-227, jan./mar., 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA – PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da piscicultura 2018**. PEIXE BR, 2018. 138 p. Disponível em: www.peixebr.com.br/anuario2018. Acessado em: 18 nov. 2018.

AUBIN, J. *et al.* Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: A Filipino case study. **Aquaculture**, [s.l.], v. 435, p. 217-227, 2015.

AYRES, M. *et al.* **BioEstat**: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Instituto Mamirauá, 2007. Disponível em: www.mamiraua.org.br/pt-br/downloads/programas/bioestat-versao-53. Acesso em: 15 jan. 2017.

AZIM, M. E. *et al.* Evaluation of polyculture of Indian major carps in periphyton-based ponds. **Aquaculture**, [s.l.], v. 213, p. 131-149, 2002.

BADIOLA, M.; MENDIOLA, D.; BOSTOCK, J. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 51, p. 26-35, 2012.

BAI, S. D.; REDDY, D. C.; KALARANI, V. Influence of spirulina on growth and immunity of the fingerlings common carp, (*Cyprinus carpio*, 1758), challenged with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. **International Journal of Pharmacy & Life Sciences**, [s.l.], v. 5, p. 3590-3602. Jun., 2014.

BAIN, B. J.; BATES, I.; LAFFAN, M. A. **Dacie and Lewis Practical Haematology**. 12. ed. ELSEVIER, 2016. 600 p.

BALDISSEROTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2. Edição. Santa Maria: Editora UFSM, 2009. 352 p.

BARDACH, J. E. Constraints to polyculture. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 5, p. 287-300, 1986.

BARRA, I. D.; RODRIGUES, K. V. M. Utilização de matrizes dérmicas no tratamento de queimaduras. **Revista Brasileira de Queimaduras**, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 83-89, 2014.

BARRETO, R. E.; VOLPATO, G. L. Ventilatory frequency of Nile tilapia subjected to different stressors. **Journal of Experimental Animal Science**, [s.l.], v. 43, p. 189-196, 2006.

BEVERIDGE, M. C. M. **Cage aquaculture**. 3ª ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. 368 p.

BIANCA, M. P. Farmed fish welfare-suffering assessment and impact on product quality. **Journal of Animal Science**. [s.l.], v. 8, p. 139-160, 2009.

BITTENCOURT, N. L. R. *et al.* Haematological and biochemical values for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in semi-intensive system. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 385-389, 2003.

BHIKSHMA, V.; RAVANDEKISHORE; SRINIVAS, R. Durability of polymer and fly ash modified ferrocement elements. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 14, p. 2642-2649, 2011.

BOONYARATPALIN, M.; UNPRASERT, N. Effects of pigments from different sources on colour changes and growth of red *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 79, p. 375–380, 1989.

BORGHETTI, J. R.; SILVA, U. A. T. Principais sistemas produtivos empregados comercialmente. In: OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. (ed.) **Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília: FAO, p. 73-94, 2008.

BOSMA, R. H.; VERDEGEM, M. C. J. Sustainable aquaculture in ponds: principles, practices and limits. **Livestock Science**, [s.l.], v. 139, p. 58-68, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005**: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em 17/12/2017.

BREGNBALLE, J. **A guide to recirculation aquaculture**: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO & EUROFISH, 2015. 95 p.

BRITO, T. M. D.; SILVA, A. M. C. Taxa de sobrevivência de tilápia *Oreochromis niloticus* em tanque de decantação com águas salobras em sistema intensivo de cultivo. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 40-50, 2014.

BROWN, B. A. **Hematology**: principles and procedures. 3. ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1980. 358 p.

BUENO, G.W. *et al.* Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu. **Acta Scientiarum – Biological Sciences**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 237-243, 2008.

BUNN, H. F. Approach to the anemias. In: GOLDMAN, L.; SCHAFER, A. I. (ed.) **Goldman-Cecil Medicina**, 25 ed., v. 1 e 2, Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 3332 p.

CALÍOPE FREITAS, J. W. *et al.* Alevinagem de tilápia utilizando uma ração comercial e outra à base de soja e milho. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 53-63, 2010.

CARVALHO, E. D.; RAMOS, I. P. A aquicultura em grandes represas brasileiras: interfaces ambientais, socioeconômicas e sustentabilidade. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia**, [s.l.], v. 38, p. 49-57, 2010.

CASTAGNOLLI, N. **Criação de peixes de água doce**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 189 p.

CASTRO, C. S. *et al.* Polyculture of frogs and tilapia in cages with high feeding frequency. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 61, p. 43-48, 2014.

CHANDRASEKHAR, T.; GUNNESWARA, T. D.; RAMANA, N. V. An appraisal of the shear resistance of ferrocement elements. **Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)**, [s.l.], v. 7, n. 6, p. 591-602, 2006.

CHÁVEZ-CROOKER, P.; OBREQUE-CONTRERAS, J. Bioremediation of aquaculture wastes. **Current Opinion in Biotechnology**, [s.l.], v. 21, p. 313-317, 2010.

CHEN, Y. Y. *et al.* Spirulina elicits the activation of innate immunity and increases resistance against *Vibrio alginolyticus* in shrimp. **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 55, p. 690-698, 2016.

COÊLHO, A. A. C. *et al.* Desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo cultivados em um sistema de recirculação de água com a microalga *Spirulina platensis*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 15, n. 1, p. 149-159, 2014.

COLLIER, H. B. The standardization of blood haemoglobin determinations. **Canadian Medical Association Journal**, [s.l.], v. 50, n. 6, p. 550-552, 1944.

COLLINS, R. A.; DELMENDO, M. N. Comparative economics of aquaculture in cages, raceways e enclosures. *In*: COLLINS R. A., DELMENDO M. N. **Advances in Aquaculture**. Kyoto: FAO, p. 72-477, 1979.

COSTA, D. V. *et al.* Parâmetros hematológicos de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com diferentes fontes de óleo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 15, n. 3, p.754-764, jul./set., 2014.

COSTA, F. T. M. *et al.* *Chlorella sp.* como suplemento alimentar durante a larvicultura de tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 4, p. 1103-1115, 2011.

COWARD, K.; BROMAGE, N. R. Reproductive physiology of female tilapia broodstock. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 1-25, 2000.

CREPALDI, D. V. *et al.* Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 86-99, jul./dez., 2006.

CYRINO, J. E. P. *et al.* A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 68-87, jul. 2010.

DAGNINO, R.; BRANDÃO, F. C.; NOVAES, H. T. Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. *In*: DAGNINO, R. (org.) **Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade**. 2. ed. Campinas: Komedi, p. 71-111, 2010.

- DAL'BÓ, G. A. *et al.* Hematological and morphometric blood value of four cultured species of economically important tropical foodfish. **Neotropical Ichthyology**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 439-446, 2015.
- DAVIDSON, J. *et al.* Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high system flushing rates. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 41, p. 136-145, 2009.
- DAY, A. J.; PRESTWICH, G. D. Hyaluronan-binding proteins: tying up the giant. **The Journal of Biological Chemistry**, [s.l.], v. 277, p. 4585-4588, 2002.
- DILLON, J. C.; PHUC, A. P.; DUBACQ, J. P. Nutricional value of the alga *Spirulina*. In: SIMOPOULOS, A. P. (ed.). **World review of nutrition and dietetics: plants in human nutrition**. 1 ed. v. 77. Basel: Karger, p. 32-46, 1995.
- DRUMOND, G.V. F *et al.* Características bioquímicas e hematológicas do pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (*Arapaimidae*) de cultivo semi-intensivo na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 591-596, 2010.
- EL-KHALDI, A. T. F. Effect of different stress factors on some physiological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Saudi Journal of Biological Sciences**, [s.l.], v. 17, p. 241-246, 2010.
- EL-SAYED, A. F. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* **Aquaculture**, [s.l.], v. 179, p. 149-168, 1999.
- EL-SHEEKH, M. *et al.* Effect of feeding *Arthrospira platensis* (spirulina) on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, [s.l.], v. 14, p. 471-478, 2014.
- ETIM, N. N. *et al.* Haematological parameters: Indicators of the physiological status of farm animals. **British Journal of Science**, [s.l.], v. 10, p. 33-45. Dec, 2013.
- FARIAS, T. H. V. *et al.* Melhora dos parâmetros hematológicos e bioquímicos de pacus alimentados com probiótico. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal, v. 8, p. 1-6, 2016.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. **Outlook FIESP 2027**: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: Fiesp, 2017. 90 p.
- FERNANDES JUNIOR, A. C. *et al.* Resposta hemática da tilápia-do-Nilo alimentada com dietas suplementadas com níveis crescentes de colina e submetida a estímulo por baixa temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 8, p. 1619-1625, 2010.
- FERREIRA, M. S.; OLIVEIRA, A. M.; VAL, A. L. Velocidade crítica de natação (Ucrit) de matrinxã (*Brycon amazonicus*) após exposição à hipóxia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 4, p. 699-704, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2018**: meeting the sustainable development goals. Rome: FAO, 2018. 210 p.

FRATI-MUNARI, A. C. Glicosaminoglicanos en las enfermedades vasculares. **Revista Mexicana de Angiología**, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 89-99, 2012.

FRIES, E. M. *et al.* Avaliação dos parâmetros hematológicos do pacu *Piaractus mesopotamicus* infectado por *Lernea spp.* **Revista Cultivando o Saber**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 479-485, out./dez., 2016.

FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, D. M. M. R.; AYROZA, L. M. S. Análise econômica da produção de tilápia em tanques-rede, ciclo de verão, região do médio Paranapanema, Estado de São Paulo, 2009. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 5-11, abr., 2010.

GARRIDO, E. Z. Glicosaminoglicanos como posibles reguladores de inflamación durante la malaria placentaria. **Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología**, [s.l.], v. 79, n. 4, p. 288-293, 2014.

GHIRALDELLI, L. *et al.* Hematologia de *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) e *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) mantidos em diferentes condições de manejo e alimentação no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 319-325, Oct./Dec., 2006.

GIULIETTI, N. *et al.* **Cadeia Produtiva do Pescado**. Relatório Técnico. São Paulo: Instituto de Pesca - Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1996. 55p.

GJERDE, B. *et al.* Quantitative genetics of body weight, fillet weight and fillet yield in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 342, p. 117-124, 2012.

GOLDENFARB, P. B. *et al.* Reproducibility in the hematology laboratory: the microhematocrit determination. **American Journal of Clinical Pathology**, [s.l.], v. 56, n. 1, p. 35-39, 1971.

GOMES, I. G. R. F. *et al.* Efeito da suplementação da dieta com *Spirulina platensis* no crescimento e coloração de tilápia vermelha. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, [s.l.], v. 25, p. 462-471, 2012.

GONÇALVES, A. F. N. *et al.* Mentol e eugenol como substitutos da benzocaína na indução anestésica de juvenis de pacu. **Acta Scientiarum – Animal Sciences**, Maringá, v. 30, p. 339-344, 2008.

GONÇALVES, A. F. N. *et al.* Transporte de juvenis de curimatá *Prochilodus lineatus* em diferentes densidades. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 205-211, 2010.

HABIB, M. A. B. *et al.* A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. **FAO Fisheries and Aquaculture Circular**. No. 1034. Rome: FAO, 2008. 33 p.

HAYASHI, L. *et al.* Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. **Aquaculture**, [s.l.], v. 277, p. 185-191, 2008.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, [s.l.], v. 248, p. 118-124, 2009.

HERNANDEZ, F. Y. F.; KHANDUAL, S.; LÓPEZ, I. G. R. Cytotoxic effect of *Spirulina platensis* extracts on human acute leukemia Kasumi-1 and chronic myelogenous leukemia K-562 cell lines. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 14-19, 2017.

HILDSORF, A. W. S. Genética e cultivo de tilápias-vermelhas: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 22, p.73-84, 1995.

HIRAHASHI, T. *et al.* Activation of the human innate immune system by Spirulina: augmentation of interferon production and NK cytotoxicity by oral administration of hot water extract of *Spirulina plantesis*. **International Immunopharmacology**, [s.l.], v. 2, p. 423-434, 2002.

HISANO, H.; BARROS, M. M; PEZZATO, L. E. Levedura e zinco como pró-nutrientes para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): aspectos hematológicos. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 35-42, 2007.

HOPKINS, T. A.; MANCI, W. E. Aquaculture: opportunity now, part 1. **Aquaculture Magazine**, [s.l.], v. 18, n. 6, p. 43-47, nov./dec., 1992.

HOSHIBA, M. A.; GONÇALVES, F. D.; URBINATI, E. C. Respostas fisiológicas de estresse no matrinxã (*Brycon amazonicus*) após exercício físico intenso durante a captura. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 2, p. 445-452, 2009.

HRUBEC, T. C.; SMITH, S. A. Hematology of Fishes. *In*: WEISS, D. J.; WARDROP, K. J. (ed.). **Schalm's veterinary hematology**. Ames: Wiley-Blackwell, 6. ed., p.994-1003, 2010.

HUET, M. T. **Tratado de piscicultura**, 4. ed. Madrid: Mundi-Prensa Libros, 1998, 780 p.

IBRAHEM, M. D.; IBRAHIM, M. A. The potential effects of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) on tissue protection of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through estimation of P53 level. **Journal of Advanced Research**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 133-136, Jan., 2014.

IBRAHEM, M. D.; MOHAMED, M. F.; IBRAHIM, M. A. The role of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) in growth and immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its resistance to bacterial infection. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 5, n. 6, p. 109-117, 2013.

IBRAHIM, H. M. H. Shear capacity of ferrocement plates in flexure. **Engineering Structures**, [s.l.], v. 33, p. 1680-1686, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa pecuária municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: www.ibge.gov.br/estatistica. Acesso em: 09 ago. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Texto para discussão 2328**. Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. Rio de Janeiro: IPEA, 2017.

ISHIKAWA, M. M. *et al.* Heparina e Na₂EDTA como anticoagulante para surubim híbrido (*Pseudoplatystoma reticulatum* x *P. corruscans*): eficácia e alterações hematológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1557-1561, 2010a.

ISHIKAWA, M. M. *et al.* Procedimentos básicos para colheita de sangue em peixes. **Circular Técnica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010b. 8 p.

JAIME-CEBALLOS, B. *et al.* Uso de la harina de *Spirulina platensis* como atrayente em el alimento para el camarón *Litopenaeus schimitti*. **Hidrobiológica**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 113-117, 2007.

JAIN, N. C. **Schalm's veterinary hematology**. 4. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1986. 1221 p.

JATOBÁ, A. *et al.* Frequency in the supply of *Lactobacillus* influence its probiotic effect for yellow tail lambari. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 10, p. 1-7, 2018.

JOHNSON, E. A.; VILLA, T. G.; LEWIS, M. J. *Phaffia rhodozyma* as an astaxanthin source in salmonid diets. **Aquaculture**, [s.l.], v. 20, p. 123-134, 1980.

JORDAN, R. A. *et al.* Sistema intensivo de criação de peixe com recirculação de água e controle de temperatura via bomba de calor duplo efeito térmico. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 5, n. 1, p. 12-22, jan./abr., 2011.

JOSEPH, G. P. Design of small capacity ferrocement water tanks. **Indian Concrete Journal**, [s.l.], v. 63, n. 12, p. 579-584, 1989.

JUNIOR, G. P. *et al.* Parâmetros hematológicos de juvenis de tambaqui alimentados com rações contendo farinha de crueira de mandioca. **Acta Biomedica Brasiliensia**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 1-11, jul., 2013.

JUNIOR, G. P. *et al.* Características hematológicas de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818) alimentados com rações contendo farinha de folha de leucena (*Leucaena leucocephala*). **Acta Biomedica Brasiliensia**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 15-24, dez., 2014.

KAMPEN, E. J.; ZIJLSTRA, W. G. Erythrocytometric methods and their standardization. **Clinica Chimica Acta**, [s.l.], v. 6, p. 538-542, 1964.

KILKENNY, C. *et al.* Improving bioscience research reporting: the ARRIVE guidelines for reporting animal research. **PLoS Biology**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 1-5, 2010.

KONDRAIVENDHAN, B.; PRADHAN, B. Effect of ferrocement confinement on behavior of concrete. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 23, p. 1218-1222, 2009.

KÖWITSCH, A.; ZHOU, G.; GROTH, T. Medical application of glycosaminoglycans: A review. **Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 23-41, 2018.

KUBITZA, F. O impacto da amônia, do nitrito e do nitrato sobre o desempenho e a saúde dos peixes e camarões. **Panorama da Aquicultura**, São Carlos, v. 27, n. 164, p. 14-27, 2017.

_____. Adubação de viveiros e produção de tilápia. In: KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Degaspari, p. 49-76, 2000.

KUMAR, G. V.; SHARMA, P. C. Investigation of the behaviour of ferrocement in flexure. **Journal of Structural Engineering**, [s.l.], v. 2, n. 4, p. 137-144, 1975.

KUMAR, N. *et al.* Anti-oxidative and immuno-hematological status of Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) during acute toxicity test of endosulfan. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [s.l.], v. 99, n. 1, p. 45-52, 2011.

KUNITA, N. M. *et al.* Avaliação genética de características morfométricas em tilápias do Nilo cultivadas. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 62, p. 555-566, 2013.

LABH, S. N.; SHAKYA, S. R. Application of immunostimulants as an alternative to vaccines for health management in aquaculture. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, [s.l.], v. 2, p. 153-156, 2014.

LANDAU, M. Culture systems. In: LANDAU, M. **Introduction to aquaculture**. New York: John Wiley, p. 112-118, 1992.

LEGENDRE, M.; KERDCHUEN, N. Larval rearing of on African catfish *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, Claridae): effect of dietary lipids on growth, survival and fatty acid composition of fry. **Aquatic Living Resources**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 363-365, 1995.

LÈVEQUE, C. Out of Africa: the success story of tilapias. **Environmental Biology of Fishes**, [s.l.], v. 64, n. 4, p. 461-464, 2002.

LI, J. *et al.* Experimental study of bioturbation by *Sipunculus nudus* in a polyculture system. **Aquaculture**, [s.l.], v. 437, p. 175-181, 2015.

LIMA, A. R. C. **Cartilha do Ferrocimento Artesanal**. Tecnologias Apropriadas: 2018. 50 p. Disponível em: www.tecnologiasapropriadas.com.br. Acesso em: 13 mar. 2018.

LIMA, E. C. R. *et al.* Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 16, n. 4, p. 948-957, out./dez., 2015.

LIMA-JUNIOR, E. M. *et al.* Uso da pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*), como curativo biológico oclusivo, no tratamento de queimaduras. **Revista Brasileira de Queimaduras**, Goiânia, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2017.

- LIN, C. K.; YI, Y. Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. **Aquaculture**, [s.l.], v. 226, p. 57-68, 2003.
- LIU, Q. *et al.* Medical application of *Spirulina platensis* derived C-phycoerythrin. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, [s.l.], v. 2016, p. 1-14, 2016.
- LOGAN, D.; SHAH, S. P. Moment capacity and cracking behaviour of ferrocement in flexure. **Journal of American Concrete Institute**, [s.l.], v. 70, n. 12, p. 799-804, 1973.
- LOPES, S. T. A. **Manual de patologia clínica veterinária**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2007. 107 p.
- LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 2006. 606 p.
- MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.
- McLEAN, J. The thromboplastic action of cephalin. **American Journal of Physics**, [s.l.], v. 41, p. 250-257, 1916.
- MAEDA, H. *et al.* Efeitos da densidade de estocagem na segunda alevinagem de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), em sistema *raceway*. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, n. 3, p. 265-272, jul./set. 2006.
- _____. Densidade de estocagem na alevinagem de tilápia-do-Nilo em tanque-rede. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 3, p. 471-476, jul./set., 2010.
- MALECHA, S. R. *et al.* Polyculture of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, chinese and common carps in ponds enriched with swine manure: Initial trials. **Aquaculture**, [s.l.], v. 25, p. 101-116, 1981.
- MANSUR, M. A.; TAN, K. L.; NAAMAN, A. E. Strength of bolted moment connections in ferrocement construction. **Cement & Concrete Composites**, [s.l.], v. 32, p. 532-543, 2010.
- MARENGONI, N. G. *et al.* Qualidade física e química da água em sistema fechado de recirculação durante o cultivo de juvenis de tilápia-do-Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 927-934, mar./abr., 2013.
- MARINHO, R. G. B. *et al.* Respostas hematológicas de *Arapaima gigas* (Pisces: Arapaimidae) parasitados naturalmente por protozoários e metazoários. **Biota Amazônia**, Manaus, v. 5, n. 1, p. 105-108, 2015.
- MARKOU, G.; VANDAMME, D.; MUYLAERT, K. Microalgal and cyanobacterial cultivation: The supply of nutrients. **Water Research**, [s.l.], v. 65, p. 186-202, 2014.
- MARTELINE, M. A. *et al.* Eritrograma em *Oreochromis niloticus* alimentadas com níveis de sorgo. **Nucleus Animalium**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 27-32, nov., 2010.

- MARTIRENA-HERNANDEZ, J. F. Analysis, design and construction of ferrocement water tanks in Cuba. **Journal of Ferrocement**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 25-33, 1993.
- MARTINS, C. I. M.; EDING, E. P. H.; VERRETH, J. A. J. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 126, p. 1001-1005, 2011.
- MARTINS, C. I. M. *et al.* New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 43, p. 83-93, 2010.
- MAZZA, L. R. *et al.* Contenido de lípidos, ácidos grasos, exopolisacáridos y minerales de *Arthrospira maxima* cultivada en fotobiorreactores. **Agronomía Tropical**, [s.l.], v. 61, n. 3-4, p. 231-240, 2011.
- MELO, D. C. *et al.* Perfil proteico de tilápia nilótica chitralada (*Oreochromis niloticus*), submetida ao estresse crônico por hipóxia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 5, p. 1183-1190, 2009.
- MEZZOMO, N. *et al.* Cultivation of microalgae *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) from biological treatment of swine wastewater. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 173-178, 2010.
- MITCHELL, G. V. *et al.* Effects of graded dietary levels of *Spirulina* on vitamins A and E in male rats. **The Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 120, n. 10, p. 1235-1240, 1990.
- MOAV, R. *et al.* Intensive polyculture of fish in freshwater ponds: Substitution of expensive feeds by liquid cow manure. **Aquaculture**, [s.l.], v. 10, p. 25-43, 1977.
- MOITA, G. F. *et al.* Experimental and numerical analysis of large ferrocement water tanks. **Cement & Concrete Composites**, [s.l.], v. 25, p. 243-251, 2003.
- MOORE, A. C.; BURRIS, D. L. An analytical model to predict interstitial lubrication of cartilage in migrating contact areas. **Journal of Biomechanics**, [s.l.], v. 47, p. 148-153, 2014.
- MOREIRA, R. L.; MARTINS, R. R. O.; FARIAS, W. R. L. Utilização de spirulina platensis como suplemento alimentar durante a reversão sexual da tilápia-do-Nilo (var. chitralada) em água salina. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 12, n. 1, p. 76-82, 2011.
- MORO, G. V. *et al.* Anatomia e fisiologia de peixes de água doce. In: RODRIGUES, A. P. O. *et al.* **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. 1. ed. Brasília: Embrapa, p. 301-336, 2013.
- MUNAKATA, A.; KOBAYASHI, M. Endocrine control of sexual behavior in teleost fish. **General and Comparative Endocrinology**, [s.l.], v.165, p. 456-468, 2010.
- NAAMAN, A. E.; ARGON, A. S.; MOAVENZADEH, F. A fracture model for fiber reinforced cementitious materials. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 3, n. 4, p. 397-411, 1973.

NAAMAN, A. E.; SHAH, S. P. Tensile tests of ferrocement. **Journal of American Concrete Institute**, [s.l.], v. 68, n. 9, p. 693-698, 1971.

NETO, E. C. *et al.* Linfócitos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, São Paulo, v. 7, n. 12, p. 1-8, jan., 2009.

NEVES, F. F. *et al.* Efeito do uso de efluente doméstico tratado, como meio de cultura, sobre o crescimento e produtividade no cultivo de *Chlamydomonas sp.* isolada de lixiviado de aterro sanitário. **Tecnológica**, Maringá, v. 17, n. 1, p. 30-37, 2013.

NGUYEN, N. H. *et al.* Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 305, p. 1-5, 2010.

NUNES, A. L. *et al.* Hematologia e tempo de migração de macrófagos em surubim *Pseudoplatystoma spp.* frente a inoculação de *Saccharomyces cerevisiae*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 867-874, mar./abr., 2014.

OLIVEIRA, C. A. L. *et al.* Avaliação genética de tilápias do nilo durante cinco anos de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 10, p. 871-877, out., 2015.

PÁDUA, S. B.; ISHIKAWA, M. M. Metacromasia para identificação de basófilos sanguíneos em surubim híbrido: contribuição metodológica. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 3, p. 147-150, 2011.

PEDREIRA, M. M. *et al.* Substrates for biofilter in recirculating system in Nile tilapia larviculture production. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 17, n. 3, p. 553-560, 2016a.

PEDREIRA, M. M. *et al.* Cultivo de duas linhagens de tilápia nilótica sob diferentes densidades de estocagem em tanques-rede. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 14, p. 37-45, 2016b.

PEREIRA, D. S. P. *et al.* Parâmetros hematológicos e histológicos de tilápia do Nilo em resposta ao desafio de diferentes níveis de salinidade. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 635-647, 2016.

PEREIRA, J. S. *et al.* Eutrophization process in a system used for rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), São Paulo State, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 24, n. 4, p. 387-396, 2012.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 81-88, 2005.

PHILIPPART, J. C.L.; RUWET, J. C.L. Ecology and distribution of tilapias. *In*: PULLIN, R. S. V.; LOWE-McCONNELL, R. H. (ed.). The biology and culture of tilapias. ICLARM CONFERENCE, 7., 1982, Manila. **Proceedings...** Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1982. p. 15-59.

- PICARD, A.; LACHANCE, L. Preliminary fatigue tests on ferrocement plates. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 4, p. 967-978, 1974.
- QUEIROZ, J. F. *et al.* Aquaculture in Brazil: Research priorities and potential for further international collaboration. **World Aquaculture Magazine**, [s.l.], v. 36, p. 45-50. 2005.
- RADHAKRISHNAN, S *et al.* Replacement of fish meal with *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* and *Azolla pinnata* on non-enzymatic and enzymatic antioxidante activities of *Macrobrachium rosenbergii*. **The Journal of Basic and Applied Zoology**, [s.l.], v. 67, p. 25-33, 2014.
- RAMOS, I. P.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; CARVALHO, E. D. Influence of cage fish farming on the diet of dominant fish species of a Brazilian reservoir (Tietê River, High Paraná River Basin). **Acta Limnologica Brasiliensis**, Rio Claro, v. 20, p. 245-252, 2008.
- RANZANI-PAIVA, M. J. T. *et al.* Hematological characteristics and relative condition factor (Kn) associated with parasitism in *Schizodon borellii* (Osteichthyes, Anostomidae) and *Prochilodus lineatus* (Osteichthyes, Prochilodontidae) from Paraná River, Porto Rico region, Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 2, p. 515-521, 2000.
- RANZANI-PAIVA, M. J. T. *et al.* **Métodos para análise hematológica em peixes**. Maringá: EDUEM, 2013. 299 p.
- RANZANI-PAIVA, M. T. J.; SILVA-SOUZA, A. T. Hematologia de peixes brasileiros. In: RANZANI-PAIVA, M. T. J.; TAKEMOTO, R. M.; LIZAMA, M. L. P. (org.) **Sanidade de organismos aquáticos**. São Paulo: Editora Varela, 1. ed., p.89-120, 2004.
- RAPAG, H. M.; KHALIL, R. H.; MUTAWIE, H. H. Immunostimulant effects of dietary *Spirulina platensis* on tilapia *Oreochromis niloticus*. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 26-31, 2012.
- RATHISH, K. P.; RAO, C. B. K. Constitutive behavior of high-performance ferrocement under axial compression. **Magazine of Concrete Research**, [s.l.], v. 58, n. 10, p. 647-56, 2006.
- REBOUÇAS, V. T. *et al.* Tolerance of Nile tilapia juveniles to highly acidic rearing water. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 37, n. 3, p. 227-233, Jul.-Sept., 2015.
- REIS NETO, R. V. *et al.* Genetic parameters and trends of morphometric traits of GIFT tilapia under selection for weight gain. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, p. 259-265, 2014.
- RIAÑO, B.; HERNÁNDEZ, D.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. C. Microalgal-based systems for wastewater treatment: Effect of applied organic and nutrient loading rate on biomass composition. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 49, p.112-117, Dez., 2012.
- RIBEIRO, C. S.; MOREIRA, R. G. Fatores ambientais e reprodução dos peixes. **Revista da Biologia**, São Paulo, n. 8, p. 58-61, 2012.
- RICHMOND, A. Cell response to environmental factors. In: RICHMOND, A. (ed.). **Handbook of microalgal mass culture**. Boca Raton: CRC, p. 69-100, 1990.

- RIDHA, M. T.; CRUZ, E. M. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in a simple recirculating system. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 24, p. 157-166, 2001.
- RODRIGUES, J. A. G. *et al.* Purificação e atividade anticoagulante de glicosaminoglicanos isolados da pele da carpa comum, *Cyprinus carpio*. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 381-387, 2009.
- _____. Purificação, caracterização físico-química e atividade anticoagulante de glicosaminoglicanos isolados da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 233-241, 2011.
- ROUBACH, R. *et al.* Aquaculture planning, development in brazilian federal waters. **Global Aquaculture Advocate**, [s.l.], July/Aug. p. 40-43, 2015.
- ROUGHLEY, P. J.; MORT, J. S. The role of aggrecan in normal and osteoarthritic cartilage. **Journal of Experimental Orthopaedics**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 1-11, 2014.
- RUALES, D. C. A.; CASTAÑEDA, A. G. D. Evaluation of a recirculation system for larviculture stage of dorada (*Brycon moorei*-Steindachner 1878) from the Magdalena River Basin. **Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 179-189, 2014.
- SÁ, M. V. C. **Limnocultura**: limnologia para aquicultura. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 218 p.
- SALBACH, J. *et al.* Regenerative potential of glycosaminoglycans for skin and bone. **Journal of Molecular Medicine**, [s.l.], v. 90, p. 625-635, 2012.
- SALLES, T. C. *et al.* Inibição da geração de trombina por dermatam sulfato isolado da pele de *Oreochromis niloticus*. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 1, p. 98-104, 2017.
- SAMUEL-FITWI, B. *et al.* Sustainability assessment tools to support aquaculture development. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 32, p. 183-192, 2012.
- SANDOVAL JÚNIOR, P. *et al.* **Manual de criação de peixes em tanques-rede**. Brasília: CODEVASF, 2010. 69 p.
- SANTOS, A. I. *et al.* Bayesian genetic parameters for body weight and survival of Nile tilapia farmed in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 33-43, 2011.
- SANTOS, K. R. S.; SANT'ANNA, C. L. Cianobactérias de diferentes tipos de lagoas (“salina”, “salitrada” e “baía”) representativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v.33, n.1, p. 61-83, jan.-mar., 2010.
- SANTOS-FILHO, L. G. *et al.* Utilização de indicadores de viabilidade econômica na produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema de recirculação: estudo de caso de uma piscicultura de pequena escala em Parnaíba-PI. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 304-314, 2016.

- SATAKE, F.; PÁDUA, S. B.; ISHIKAWA, M. M. Distúrbios morfológicos em células sanguíneas de peixes em cultivo: uma ferramenta prognóstica. *In*: TAVARES-DIAS, M. (org.). **Manejo e sanidade de peixes em cultivo**. Macapá: Embrapa Amapá, 1.ed., p. 330-345, 2009.
- SATHEESHKUMAR, P. *et al.* Haematology and biochemical parameters of different feeding behavior of teleost fishes from Vellar Estuary, India. **Comparative Clinical Pathology**, [s.l.], v. 21, n. 6, p. 1187-1191, 2011.
- SCORVO FILHO, J. D. *et al.* Custo operacional de produção da criação de tilápias tailandesas em tanques-rede, de pequeno volume, instalados em viveiros povoados e não povoados. **Custos e Agronegócio**. Recife, v. 4, n. 2, p. 98-116, mai./ago., 2008.
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Aquicultura no Brasil**: série estudos mercadológicos. Brasília: SEBRAE, 2015. 76 p.
- _____. **Criação de tilápia em tanques escavados**. Natal: SEBRAE/RN, 2014. 32 p.
- SHRESTHA, M. K.; LIN, C. K. Phosphorus fertilization strategy in fish pond based on sediment phosphorus saturation level. **Aquaculture**, [s.l.], v. 142, p. 207-219, 1996.
- SIGNOR, A. *et al.* Parâmetros hematológicos da tilápia-do-Nilo: efeito da dieta suplementada com levedura e zinco e do estímulo pelo frio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 3, p. 509-519, 2010.
- SIGNOR, A. A. *et al.* Vitamina A em dieta de juvenis de pacu cultivados em tanques-rede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.4 8, n. 8, p. 1103-1109, ago., 2013.
- SILI, C.; TORZILLO, G.; VONSHAK, A. *Arthrospira* (Spirulina). *In*: WHITTON, B. A. (ed.). **Ecology of cyanobacteria II**: Their diversity in space and time. Heidelberg: Springer Verlag, p. 677-705, 2012.
- SILVA, A. M.; DUNCAN, W. L. P. Aspectos biológicos, ecologia e fisiologia do pirarucu (*Arapaima gigas*): uma revisão da literatura. **Scientia Amazonia**, Manaus, v. 5, n. 3, p. 31-46, 2016.
- SILVA, A. S. E.; LIMA, J. T. A. X.; BLANCO, B. S. Hematologia em peixes: revisão bibliográfica. **Revista Centauro**, Lisboa, v. 3, n. 1, p. 24-32, 2012.
- SILVA, G. F. *et al.* **Tilápia-do-nilo**: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná. Curitiba: GIA, 2015. 290 p.
- SILVA, J. S.; OLIVEIRA, L. G.; PEREIRA-NETO, A. Análise econômico-financeira da construção de tanques circulares para a aquicultura. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 50-60, 2018.
- SINGH, S. P.; SINGH, P. Effect of CO₂ concentration on algal growth: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 38, p. 172-279, 2014.

- SINGH, G.; THOMAS, P. B. Nutrient removal from membrane bioreactor permeate using microalgae and in a microalgae membrane photoreactor. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 117, p. 80-85, 2012.
- SONODA, D. Y.; FRANÇA, E. D.; CYRINO, J. E. P. Modelo de preço de ração para peixe no período de 2001 a 2015. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 57-71, 2016.
- SOUSA, F. M. C. *et al.* Morfologia das células sanguíneas de mandi (*Pimelodus maculatus*, Lacépède, 1803). **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, São Paulo, v. 11, n. 21, jul., 2013.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Influência da luz, manejo e tempo de residência sobre algumas variáveis limnológicas em um viveiro de piscicultura. **Biotemas**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 61-71, 1995.
- SPOLAORE, P. *et al.* Commercial applications of microalgae: Review. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, [s.l.], v. 101, n. 2, p. 87-96, Fev., 2006.
- STOSKOPF, M. K. **Fish Medicine**. 2. ed. North Carolina: ART Sciences LLC, 2010. 625 p.
- STRICTAR-PEREIRA, L.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. Cage culture with tilapia induces alteration in the diet of natural fish populations: the case of *Auchenipterus osteomystax*. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, p. 1021-1030, 2010.
- TAVARES-DIAS, M. *et al.* Can thrombocytes participate in the removal of cellular debris in the blood circulation of teleost fish?: Acytochemical study and ultrastructural analysis. **Journal of Applied Ichthyology**, [s.l.], v. 23, p.709-712, 2007.
- TAVARES-DIAS, M. *et al.* Relação peso-comprimento e fator de condição relativo (Kn) do pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimidae) em cultivo semi-intensivo no estado do Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Zootecias**, Juíz de Fora, v. 12, n. 1, p. 59-65, 2010.
- TEIMOURI, M.; AMIRKOLAIE, A. K.; YEGANEH, S. The effects of dietary supplement of *Spirulina platensis* on blood carotenoid concentration and fillet color stability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 414-415, p. 224-228, 2013.
- TENDENCIA, E. A. Polyculture of green mussels, brown mussels and oysters with shrimp control luminous bacterial disease in a simulated culture system. **Aquaculture**, [s.l.], v. 272, p. 188-191, 2007.
- THELIN, M. A. *et al.* Biological functions of iduronic acid in chondroitin/dermatan sulfate. **The FEBS Journal**, [s.l.], v. 280, n. 10, p. 2431-2446, 2013.
- TORRISSEN, O. J. Pigmentation of salmonids: factors affecting carotenoid deposition in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 46, p. 133-142, 1985.
- TROMBETA, T. D.; BUENO, G. W.; MATTOS, B. O. Análise econômica da produção de tilápia em viveiros escavados no Distrito Federal, 2016. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 47, n. 2, abr./jun., p. 42-49, 2017.

UEDA, I. K. *et al.* Estudos hematológicos em *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (Cichlidae, Teleostei) - parte I. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 270-275, 1997.

VICENTE, I. S. T.; FONSECA-ALVES, C. E. Impact of introduced Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on non-native aquatic ecosystems. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 121-126, 2013.

VIEIRA, N. T. *et al.* Efeitos dos glicosaminoglicanos e sulfato de condroitina A sobre a cartilagem articular normal e com doença articular degenerativa em cães. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, n. 5, p. 1117-1127, 2010.

VITELA, M. C. *et al.* Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados. **Custos e Agronegócio**, Recife, v. 9, n. 3, p. 154-173, 2013.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 240 p.

WANG, J. Q. *et al.* Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds: Intensive polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids. **Aquaculture**, [s.l.], v. 163, p. 11-27, 1998.

WATANABE, H.; YAMADA, Y.; KIMATA, K. Roles of aggrecan, a large chondroitin sulfate proteoglycan, in cartilage structure and function. **Journal of Biochemistry**, Tokyo, v. 124, p. 687-693, 1998.

WEINERT, N. C. *et al.* Avaliação hematológica e presença de células granulocíticas especiais em carpas (*Cyprinus carpio*). **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 36-36, Oct., 2014.

WINKALER, E. U. *et al.* Biomarcadores histológicos e fisiológicos para o monitoramento da saúde de peixes de ribeirões de Londrina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 2, p. 507-514, 2001.

WU, M. *et al.* Physicochemical characteristics and anticoagulant activities of low molecular weight fractions by free-radical depolymerization of a fucosylated chondroitin sulfate from sea cucumber *Thekenata ananas*. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 122, n. 3, p. 716-723, 2010.

YASINI, S. P. *et al.* Haematologic and clinical aspects of experimental ovine anaplasmosis caused by *Anaplasma ovis* in Iran. **Iranian Journal of Parasitology**, [s.l.], v. 7, p. 91-98, 2012.

YOSHIDA, G. M. *et al.* Associação entre características de desempenho de tilápia do nilo ao longo do período de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 816-824, 2013.

ZAID, A. A. A.; HAMMAD, D. M.; SHARAF, E. M. Antioxidant and anticancer activity of *Spirulina platensis* water extracts. **International Journal of Pharmacology**, [s.l.], v. 11, n. 7, p. 846-851, 2015.

ZHANG, S. Y. *et al.* An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 45, p. 93-102, 2011.

ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. *In*: CYRINO, J. E. P. *et al.* (ed.) **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. 1. ed. São Paulo: TecArt, 2004. p. 239-266.

APÊNDICE A – MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INSUMOS

Tabela 18 – Lista de materiais, equipamentos, mão-de-obra e insumos para implantação e operacionalização de um módulo durante um ciclo de cultivo.

ITENS	QUANT.	UNID. (R\$)	TOTAL (R\$)
¹ Malha pop (15 x 15)	82,5 m ²	67,71 / 15 m ²	372,41
¹ Tela fachadeira 40 g/m ² em PEAD	31 m ²	92,00 / 100 m ²	28,52
¹ Cimento CP II-E-32	21 sacos	22,00 /saco 50 kg	462,00
¹ Areia grossa	3 m ³	58,00 / m ³	174,00
¹ Arame liso recozido	2 kg	8,00 / kg	16,00
¹ Argamassa AC II	10 sacos	7,00 / saco 15 kg	70,00
¹ Fitolho plástico	300 m	5,00 / rolo	5,00
¹ Lona plástica preta	40 m ²	0,75 / m ²	30,00
² Tubo de PVC 25 mm	10 m	2,30 / m	23,00
² Tubo de PVC 50 mm	4,5 m	10,00 / m	45,00
² Registro esfera VS 50 mm	1 unid.	16,00 / unid.	16,00
² Tê roscável 50 mm	1 unid.	6,80 / unid.	6,80
² Adaptador soldável curto 25 mm	1 unid.	0,80 / unid.	0,80
² Joelho 90° 25 mm	4 unid.	0,80 / unid.	3,20
² Joelho redução 90° 50 x 25 mm	1 unid.	2,50 / unid.	2,50
² Fita veda rosca 25 mm	1 unid.	2,80 / unid.	2,80
² Adesivo plástico p/ PVC 17 g	1 unid.	1,40 / unid.	1,40
³ Bomba submersa 60 W	1 unid.	165,00 / unid.	165,00
³ Mangueira de jardim siliconada ½”	4 m	2,00 / m	8,00
³ Caixa e disjuntor 16 A	1 unid.	10,80 / unid.	3,80
³ Cabo de força pp 3 x 25 mm	1,5 m	1,80 / m	2,70
³ Eletroduto flexível 32 mm	1,5 m	0,40 / m	0,60
³ Fita isolante 19 x 2 m	1 unid.	3,50 / unid.	3,50
⁴ Compressor a diafragma 1/3 hp	1 unid.	300,00 / unid.	300,00
⁴ Mangueira PVC trançada atóxica	7 m	3,50 / m	24,50
⁴ Chuveiro plástico 9” c/ braço	1 unid.	12,00 / unid.	12,00
⁴ Adaptador p/ mangueira 3/8”	1 unid.	0,80 / unid.	0,80
⁴ Abraçadeira inox flexível 13-19 mm	2 unid.	1,00 / unid.	2,00
⁴ Timer analógico bivolt 220 V	1 unid.	26,00 / unid.	26,00
⁵ Pedreiro	5 diárias	100 / dia	500,00
⁵ Auxiliar de pedreiro	5 diárias	50,00 / dia	250,00
⁵ Bombeiro-eletricista	1 diária	80,00 / diária	80,00
⁶ Alevinos	2.000 peixes	80,00 / milheiro	160,00
⁶ Ração balanceada	50 kg	63,00 / 25 kg	126,00
⁶ Balança digital 5 kg (0,1 g)	1 unid.	25,00 / unid.	25,00
⁶ Rede-de-arrasto 5 x 2 m	1 unid.	70,00 / unid.	70,00
TOTAL	-	-	3.026,33

¹ Módulo de ferrocimento (R\$ 1.157,93);

² Sistema hidráulico (R\$ 101,50);

³ Sistema de bombeamento (R\$ 190,60);

⁴ Sistema de aeração (R\$ 365,30);

⁵ Mão-de-obra de construção (R\$ 830,00);

⁶ Insumos de produção (R\$ 381,00).

APÊNDICE B – TABELA DE FLUXO DE RECEITAS E CUSTOS

Tabela 19 – Fluxo de receitas e custos (10 anos).

ITENS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. SEM FINANCIAMENTO											
1. Receitas	2.502,73	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.393,73
- Receitas de Produção	2.502,73	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47
- Rec. de Desinvestimento ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	388,26
2. Custos	4.642,38	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	3.041,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58
- Inversões	3.026,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Reinversões	-	-	-	-	-	586,00	-	-	-	-	-
- Imobilização Financeira	388,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Custos Operacionais	1.227,79	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58
3. Fluxo de Caixa	-2.139,65	2.549,89	2.549,89	2.549,89	2.549,89	1.963,89	2.549,89	2.549,89	2.549,89	2.549,89	2.938,15
4. Fluxo de Caixa Acumulado	-2.139,65	410,24	2.960,13	5.510,01	8.059,90	10.023,79	12.573,67	15.123,56	17.673,44	20.223,33	23.161,48
B. COM FINANCIAMENTO											
1. Crédito de Investimento	1.210,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Total de Entradas²	3.713,26	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.005,47	5.393,73
3. Serviço de Dívidas ³	-	121,05	121,05	423,69	393,42	363,16	332,90	-	-	-	-
4. Total de Saídas⁴	4.642,38	2.576,63	2.576,63	2.879,27	2.849,00	3.404,74	2.788,48	2.455,58	2.455,58	2.455,58	2.455,58
5. Fluxo de Caixa	-929,12	2.428,83	2.428,83	2.126,20	2.156,46	1.600,73	2.216,99	2.549,89	2.549,89	2.549,89	2.938,15
6. Fluxo de Caixa Acumulado	-929,12	1.499,72	3.928,55	6.054,75	8.211,22	9.811,94	12.028,93	14.578,82	17.128,71	19.678,59	22.616,74

¹ Considerou-se o desinvestimento do módulo de cultivo (R\$ 388,26), estimado com base no valor das imobilizações financeiras.

² Receitas + Crédito.

³ O financiamento será pago em 4 anos com 2 anos de carência parcial. Considerou-se uma taxa de juros real de 10% a.a.

⁴ Custo + Serviço da Dívida.

ANEXO A – TABELA ALIMENTAR DE RAÇÃO INTEGRAL MIX

Semanas cultivo	Dias cultivo	Peso médio peixe (g)	Ganho peso peixe (g)/dia	Ganho peso peixe (g)/semana	% biomassa	Gramas ração/dia/peixe	Gramas ração/semana/peixe	Ração diária kg/1000 peixes	Ração semanal kg/1000 peixes	Tipo de ração	Tratos por dia
1	1	0,50	0,12	0,8	17,5	0,1	0,612	0,087	0,612	Aquamix PL-0	8
2	8	1,33	0,21	1,5	12,0	0,2	1,111	0,159	1,111	Aquamix AL-1	8
3	15	2,82	0,34	2,4	9,0	0,3	1,787	0,255	1,787	Aquamix AL-1	8
4	22	5,23	0,51	3,6	7,2	0,4	2,649	0,378	2,649	Aquamix AL-5	6
5	29	8,80	0,71	5,0	6,8	0,5	3,709	0,530	3,709	Aquamix AL-5	6
6	36	13,80	0,96	6,7	6,6	0,9	6,385	0,912	6,385	Aquamix AL-10	6
7	43	21,00	1,24	8,7	5,8	1,2	8,282	1,183	8,282	Aquamix AL-10	6
1	1	29,20	2,13	14,9	7,0	2,0	14,213	2,030	14,213	Aquamix AL-30	4
2	8	44	2,68	18,7	6,2	2,5	17,850	2,550	17,850	Aquamix AL-30	4
3	15	62	3,13	21,9	5,9	3,9	27,141	3,877	27,141	Aquamix AC-50	4
4	22	84	3,57	25,0	5,3	4,4	30,994	4,428	30,994	Aquamix AC-50	4
5	29	109	4,01	28,1	4,6	5,0	34,791	4,970	34,791	Aquamix AC-50	4
6	36	137	4,45	31,1	4,0	5,5	38,539	5,506	38,539	Aquamix AC-50	4
7	43	168	4,87	34,1	3,6	6,0	42,244	6,035	42,244	Aquamix AC-50	4
8	50	203	5,30	37,1	3,2	6,6	45,910	6,559	45,910	Aquamix AC-50	4
9	57	240	5,71	40,0	3,0	7,1	49,541	7,077	49,541	Aquamix AC-50	4
10	64	280	6,13	42,9	3,6	10,0	70,019	10,003	70,019	Aquamix AC-50	4
11	71	322	6,84	45,8	3,3	10,7	74,722	10,675	74,722	Aquamix AC-300	4
12	78	368	6,95	48,6	3,1	11,3	79,389	11,341	79,389	Aquamix AC-300	4
13	85	417	7,35	51,5	2,9	12,0	84,022	12,003	84,022	Aquamix AC-300	4
14	92	468	7,76	54,3	2,7	12,7	88,624	12,661	88,624	Aquamix AC-300	4
15	99	523	8,16	57,1	2,5	13,3	93,196	13,314	93,196	Aquamix AC-300	4
16	106	580	8,56	59,9	2,4	14,0	97,741	13,963	97,741	Aquamix AC-300	4
17	113	640	8,95	62,7	2,3	14,6	102,206	14,609	102,206	Aquamix AC-600	4
18	120	702	9,34	65,4	2,2	15,3	106,755	15,251	106,755	Aquamix AC-600	4
19	127	768	9,74	68,2	2,1	15,9	111,225	15,889	111,225	Aquamix AC-600	4
20	134	836	10,13	70,9	2,0	16,5	115,674	16,525	115,674	Aquamix AC-600	4
21	141	907	10,51	73,6	1,9	17,2	120,101	17,157	120,101	Aquamix AC-600	4
22	148	980	10,76	75,3	1,8	17,6	135,125	17,563	135,125	Aquamix AC-600	4
Despesca	150	1002									

Obs.: Ração para tilápia do Nilo (*O. niloticus*): PL-0 (45% PB) / AL-1 (45% PB) / AL-5 (40% PB) / AL-10 (35% PB) / AL-30 (35% PB) / AC-50 (30% PB) / AC-300 (30% PB) / AC-600 (28% PB).