

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

ADRIANA VANESSA MUTUMBAJOY BENAVIDES

**DESEMPENHO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM SISTEMA DE
RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA PARA O CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*), EM INTERAÇÃO COM UM SISTEMA AQUAPÔNICO NA
PRODUÇÃO DE ALFACE**

Ilha Solteira - SP

2024

ADRIANA VANESSA MUTUMBAJOY BENAVIDES

**DESEMPENHO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM SISTEMA DE
RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA PARA O CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*), EM INTERAÇÃO COM UM SISTEMA AQUAPÔNICO NA
PRODUÇÃO ALFACE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de (Mestre) em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Iván Andrés Sánchez Ortiz

Coorientador: Prof. Dr. Tsunao Matsumoto

Ilha Solteira - SP

2024

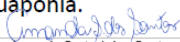
FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B456d Benavides, Adriana Vanessa Mutumbajoy.
Desempenho do tratamento de efluente de um sistema de recirculação
aquícola para o cultivo de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em interação
com um sistema aquapônico na produção de alface / Adriana Vanessa
Mutumbajoy Benavides. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
203 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e
Tecnologias Ambientais, 2024

Orientador: Iván Andrés Sánchez Ortiz
Co-orientador: Tsunao Matsumoto
Inclui bibliografia

1. Tratamento de efluente. 2. Sistema de recirculação aquícola. 3.
Decantador de leito móvel. 4. Reator de biofilme aerado em membrana. 5.
Reuso de efluente. 6. Aquaponia.


Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB8-0061
Seção Técnica de Biblioteca, Arquivamento ao
Jusélio e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O crescimento exponencial de aquicultura no mundo encaminhou a adoção de sistemas de cultivo mais eficientes e sustentáveis, como os sistemas de recirculação aquícola. Com a pretensão de aprimorar as avantajadas características, não apenas produtivas, da mesma forma, na remoção de compostos poluentes, tem-se a implementação de tecnologias para o tratamento de água: o decantador de leito móvel e o reator de biofilme aerado em membrana, na busca de acelerar os processos de remediação do efluente de piscicultura cuja composição nutricional esta implicada na eutrofização de corpos aquáticos e assim viabilizar o posterior reuso como recurso importante para fornecer nutrientes em cultivos vegetais. Dessa forma, será evidente a demanda menor de recurso hídrico na produção aquícola e agrícola, oferecendo proteína de origem animal e alimento vegetal de qualidade atendendo as necessidades nutricionais da população mundial tendo em vista o seu contínuo crescimento, e neste contexto, visando aportar aos objetivos dois e seis estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) para alcançar o desenvolvimento sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The exponential growth of aquaculture worldwide has led to the adoption of more efficient and sustainable cultivation systems, such as recirculating aquaculture systems. With the aim of improving its advantageous characteristics, not only in terms of production, but also in terms of removing polluting compounds, water treatment technologies have been implemented: the moving bed settler and membrane aerated biofilm reactor, were applied in an attempt to accelerate the remediation processes of fish farming effluent, its nutritional composition is implicated in the eutrophication of aquatic bodies and thus enable its subsequent reuse as an important resource to provide nutrients in vegetable cultivations. In this way, the lower demand of water resources in aquaculture and agricultural production will be evident, offering animal protein and plant-based food of significant quality to supply the nutritional needs of the world population taking into account its continuous growth, and in this context, aiming to contribute to objectives two and six established by the Organization United Nations (OUN) to achieve sustainable development.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESEMPENHO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA PARA O CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*), EM INTERAÇÃO COM UM SISTEMA AQUAPÔNICO NA PRODUÇÃO DE ALFACE

AUTORA: ADRIANA VANESSA MUTUMBAJOY BENAVIDES

ORIENTADOR: IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ

COORIENTADOR: TSUNAO MATSUMOTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Civil, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ (Participação Virtual)
Departamento de Recursos Hidrobiológicos / Universidad de Nariño

Documento assinado digitalmente
 MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Data: 21/07/2024 09:49:51-0300
Verifique em <https://validar.i.gov.br>

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. EMANUEL SOARES DOS SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Ensino - Eixo de Recursos Naturais / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Documento assinado digitalmente
 EMANUEL SOARES DOS SANTOS
Data: 26/07/2024 21:07:54-0300
Verifique em <https://validar.i.gov.br>

Ilha Solteira, 24 de julho de 2024

Documento assinado digitalmente
 IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ
Data: 21/07/2024 11:22:39-0300
Verifique em <https://validar.i.gov.br>

Em especial, para a minha adorada mãe Lidia, meu irmão Ricardo, que mesmo distantes sempre me apoiaram de todas as formas, meu namorado Luis; e à memória dos meus queridos avós: Matilde e José.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora, por ter-me guiado com seu amor infinito neste caminho de aprendizado constante.

A minha mãe, Lidia, e meu irmão Ricardo, por seu apoio e amor incondicional em todas as circunstâncias, por estarem presentes, orgulhando-se e alegrando-se com cada pequena conquista, por acreditar em mim.

A Luis meu namorado, por seu infinito amor, companheirismo, cumplicidade, compreensão e apoio nos momentos mais difíceis ao longo dessa caminhada.

A minha família materna, que me apoiaram e encorajaram durante as dificuldades.

A meu amigo Juan José, que apesar da distância, esteve comigo nos piores e melhores momentos, sempre me incentivando e torcendo por mim. E à Tatiana minha amiga e colega, pelo apoio, parceria e carinho inestimável.

Ao Pr. Dr. Iván Andrés Sánchez pela confiança que depositou em mim, suas orientações sábias, imensurável dedicação e transmissão de conhecimentos foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Minha admiração pelo senhor sempre.

Ao Pr. Dr. Tsunao Matsumoto por seu apoio permanente, paciência e valiosos ensinamentos transmitidos ao longo destes dois anos, expresso ao senhor meu profundo reconhecimento.

Ao Pr. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, ao grupo de pesquisa e ao laboratório de nutrição de plantas, por me permitir realizar a segunda fase deste estudo, pelas valiosas contribuições, conhecimentos e auxílios prestados no decorrer do experimento.

A minha companheira Ana Beatriz pelo apoio, ajuda, vivências e intercâmbio de conhecimentos comigo, muito obrigada por tudo.

Ao colega Carlos Henrique Rossi por sua contribuição ao longo da pesquisa.

Aos técnicos de laboratório de Engenharia Civil, em particular à Natalia, pelo apoio na montagem do sistema e ao longo da fase experimental.

Ao laboratório de hidroquímica em Andradina por disponibilizar suas instalações e aparelhos para conclusão das análises de parâmetros do experimento.

Aos membros da banca examinadora, por ter aceitado o convite e pelo tempo cedido para a avaliação desta pesquisa.

Ao PPGE e a CAPES pela bolsa de estudos concedida.

“NOSSA MAIOR FRAQUEZA
ESTÁ EM DESISTIR. O CAMINHO
MAIS CERTO DE VENCER É
TENTAR MAIS UMA VEZ”

Thomas Edison

RESUMO

Com a pretensão de aprimorar as bases do tratamento de água residuária proveniente da criação de peixes, a presente pesquisa buscou avaliar o rendimento na remoção de nutrientes e matéria orgânica do efluente de descarte proveniente do sistema de recirculação aquícola (SRA), para produção intensiva de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), com biomassa inicial de 21,73 kg/m³, equipado com um decantador de leito móvel (MBS) operando com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 0,6 horas e um reator de biofilme aerado em membrana (MABR) com TDH de 1,2 horas, além de propor o posterior aproveitamento de efluente em um sistema hidropônico (SH), configurado com nutrient film technique (NFT) para o cultivo de três cultivares de alface (*Lactuca sativa*). Nesse cenário, no SRA foram monitorados os parâmetros de temperatura, oxigênio dissolvido (OD), pH, alcalinidade, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), amônia não ionizada (NH₃), amônia ionizada (NH₄⁺), nitrogênio amoniacal total (NAT), nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻), fósforo total (PT) sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), e no sistema hidropônico com efluente de descarte do SRA foram analisados: temperatura, OD, pH, condutividade elétrica (CE), NT e NH₃. Diante do exposto, os resultados mostraram uma eficiência média em termos de remoção no SRA de 98,6% de turbidez, 88,7% para DBO, 88,4% de DQO, 17,5% para NT, 42,8% de NAT, 55,9% de NO₂⁻, 36,3% para NO₃⁻, 29,7% de PT. As eficiências médias de ST, SST e SDT foram de 67,2%, 97,1% e 16,8% respectivamente. No sistema hidropônico utilizando o efluente de descarte proveniente do SRA as remoções alcançaram médias de 40,2% de NT e 36,2% para NH₃. Por outro lado, em relação ao rendimento animal de Tilápia do Nilo indicou uma produção final de 31,89 kg/m³, ganho de peso diário de 1,03 g e sobrevivência final de 84,8%. Finalmente, o rendimento vegetal indicou que o efluente pode ser utilizado nas primeiras fases do crescimento de alface, dessa forma a alface crespa cultivar Jade e lisa cultivar Stela alcançaram maior produção com 0,8 kg/m², a alface americana cultivar Angelina apresentou menor produtividade com 0,5 kg/m².

Palavras chave: Tratamento de efluente; sistema de recirculação aquícola; decantador de leito móvel; reator de biofilme aerado em membrana; reuso de efluente; aquaponia.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF A RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM EFFLUENT TREATMENT FOR THE CULTIVATION OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*), IN INTERACTION WITH AN AQUAPONIC SYSTEM FOR LETTUCE PRODUCTION

With the aim of improving the bases of wastewater treatment from fish farming, this research sought to evaluate the efficiency in nutrients and organic matter removal from the discharge effluent of the recirculating aquaculture system (RAS) for intensive production of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), with an initial biomass of 21.73 kg/m³, equipped with a moving bed settler (MBS) operating with a hydraulic retention time (HRT) of 0.6 hours and a membrane aerated biofilm reactor (MABR) with a HRT of 1.2 hours, proposing the subsequent use of effluent in a hydroponic system (HS) configured with nutrient film technique (NFT) for the cultivation of three lettuce cultivars (*Lactuca sativa*). In this scenario, the following parameters were monitored in the RAS: temperature, dissolved oxygen (DO), pH, alkalinity, turbidity, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), non-ionized ammonia (NH₃), ionized ammonia (NH₄⁺), total ammoniacal nitrogen (TAN), nitrites (NO₂⁻), nitrates (NO₃⁻), total phosphorus (TP), total solids (TS), total suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS) and in the hydroponic system with RAS discharge effluent, the following were analyzed: temperature, DO, pH, electrical conductivity (EC), TN and NH₃. In view of the above, the results showed an average efficiency in terms of removal in the RAS of 98.6% for turbidity, 88.7% for BOD, 88.4% for COD, 17.5% for NT, 42.8% for NAT, 55.9% for NO₂⁻, 36.3% for NO₃⁻ and 29.7% for PT. The average efficiencies of TS, TSS and TDS were 67.2%, 97.1% and 16.8% respectively. In the hydroponic system using the discharge effluent from the RAS, removals averaged 40.2% for NT and 36.2% for NH₃. On the other hand, the animal yield of Nile tilapia indicated a final production of 31.89 kg/m³, daily weight gain of 1.03 g and final survival of 84.8%. Finally, the plant yield indicated that the effluent can be used in the early stages of lettuce growth, thus the curly lettuce cultivar Jade and the smooth lettuce cultivar Stela achieved higher production with 0.8 kg/m², the American lettuce cultivar Angelina presented lower productivity with 0.5 kg/m².

Keywords: Effluent treatment; recirculating aquaculture system; moving bed settler; membrane aerated biofilm reactor; effluent reuse; aquaponics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Tipos de piscicultura de acordo aos sistemas de produção e a estratégia de alimentação.....	28
Figura 2	- Pontos de biomassa crítica, biomassa econômica e capacidade de suporte em um sistema de criação de peixes..	33
Figura 3	- Teor das diferentes formas químicas da amônia em variação do pH a 25°C.....	45
Figura 4	- Disposição da comunidade bacteriana no biofilme.....	52
Figura 5	- Processo de transformação de nitrogênio em mecanismos de tratamento biológico.....	53
Figura 6	- Processos de nitrificação e desnitrificação, requerimentos e características.....	53
Figura 7	- Interação entre os componentes em sistemas de aquaponia....	58
Figura 8	- Nutrient Film Technique.....	61
Figura 9	- Sistema da primeira fase do experimento.....	71
Figura 10	- Configuração do MBS.....	73
Figura 11	- Bombas em serie do SRA.....	74
Figura 12	- Meio suporte: mídia de polipropileno	75
Figura 13	- Dimensionamento e disposição do tubo interno, no reator de biofilme aerado em membrana.....	76
Figura 14	- Estrutura do tubo de PVC externo e área de decantação, no reator de biofilme aerado em membrana.....	77
Figura 15	- Membrana disposta no tubo interno do MABR.....	78
Figura 16	- Soprador de ar THOMAS.....	79
Figura 17	- Cultivo de microrganismos nitrificantes na membrana.....	80
Figura 18	- Configuração de hidroponia com NFT para a cultura de alface.....	82
Figura 19	- Vista em planta de sistema de recirculação equipado com o MBS e associado ao MABR.....	84
Figura 20	- Valores medidos de temperatura no SRA.....	91
Figura 21	- Valores obtidos para OD no SRA.....	92
Figura 22	- Valores de temperatura e teor de OD no tanque de criação.....	94

Figura 23	- Valores medidos de pH no SRA.....	96
Figura 24	- Valores obtidos de alcalinidade no SRA.....	97
Figura 25	- Valores medidos de pH e alcalinidade no tanque de criação.....	98
Figura 26	- Valores medidos de NH_3 e NH_4^+ no tanque de criação.....	99
Figura 27	- Valores obtidos de turbidez no SRA.....	101
Figura 28	- Eficiência de remoção de turbidez no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	102
Figura 29	- Valores obtidos para DBO no SRA.....	103
Figura 30	- Eficiência de remoção de DBO no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	104
Figura 31	- Valores obtidos para DQO no SRA.....	106
Figura 32	- Eficiência de remoção de DQO no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	107
Figura 33	- Valores obtidos para NT no SRA.....	108
Figura 34	- Eficiência de remoção de NT no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	109
Figura 35	- Valores obtidos para NH_3 no SRA.....	111
Figura 36	- Valores obtidos para NH_4^+ no SRA.....	112
Figura 37	- Eficiência de remoção de NAT no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	112
Figura 38	- Valores obtidos para NO_2^- no SRA.....	114
Figura 39	- Eficiência de remoção de NO_2^- no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	115
Figura 40	- Valores obtidos para NO_3^- no SRA.....	117
Figura 41	- Eficiência de remoção de NO_3^- no MBS (A), MABR (B), SRA (C)	117
Figura 42	- Valores obtidos para PT no SRA.....	119
Figura 43	- Eficiência de remoção de PT no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	119
Figura 44	- Valores obtidos para ST no SRA.....	121
Figura 45	- Eficiência de remoção de ST no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	122

Figura 46	- Valores obtidos para SST no SRA.....	123
Figura 47	- Eficiência de remoção de SST no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	123
Figura 48	- Valores obtidos para SDT no SRA.....	125
Figura 49	- Eficiência de remoção de SDT no MBS (A), MABR (B), SRA (C).....	125
Figura 50	- Valores de temperatura e OD no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B).....	126
Figura 51	- Valores de CE no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B).....	127
Figura 52	- Valores de pH no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B).....	128
Figura 53	- Valores de NT no sistema hidropônico e aquapônico.....	129
Figura 54	- Eficiência de remoção de NT no sistema hidropônico (A) e no sistema hidropônico (A), e no sistema aquapônico (B).....	129
Figura 55	- Valores de NH ₃ no sistema hidropônico e aquapônico.....	131
Figure 56	- Eficiência de remoção do NH ₃ no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B).....	131
Figura 57	- Relação peso-comprimento inicial de indivíduos de Tilápia do Nilo.....	134
Figura 58	- Relação peso-comprimento final de indivíduos de Tilápia do Nilo.....	134
Figura 59	- Comprimento da parte aérea (A) e do sistema radicular (B) das diferentes variedades de alface no SH e SA.....	137
Figura 60	- Massa fresca da parte aérea (A) e sistema radicular (B), Massa seca da parte aérea (C) e sistema radicular (D) no sistema hidropônico e aquapônico.....	139
Figura 61	- NF das diferentes variedades de alface aos 10, 20 e 30 DAT....	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros de qualidade da água para o cultivo de Tilápia.....	32
Tabela 2	- Produtividade obtida em SRA para o cultivo de Tilápia.....	50
Tabela 3	- Valores de parâmetros de desempenho para os processos de nitrificação e desnitrificação.....	55
Tabela 4	- Parâmetros de qualidade de água para peixes de água tropical ou fria, plantas e bactérias nitrificantes.....	59
Tabela 5	- Concentração nutricional para o sistema de hidroponia e aquaponia.....	62
Tabela 6	- Espécies vegetais utilizadas em sistemas de aquaponia.....	63
Tabela 7	- Rendimento de peixes e vegetais em sistemas de aquaponia...	67
Tabela 8	- Teor nutricional da ração comercial com 28% de proteína, utilizada para alimentação de Tilápia.....	72
Tabela 9	- Monitoramento dos principais parâmetros em diferentes pontos de amostragem do SRA.....	85
Tabela 10	- Parâmetros de monitoramento, método, materiais e equipamentos a ser usados nas análises.....	86
Tabela 11	- Delineamento do segundo experimento conformado por dois tratamentos.....	88
Tabela 12	- Variáveis zootécnicas de Tilápia do Nilo no SRA durante 110 dias.....	132
Tabela 13	- Índices zootécnicos obtidos nesta pesquisa comparados com a literatura.....	136
Tabela 14	- Análise do CPA e CR da alface aos 10, 20 e 30 DAT.....	138
Tabela 15	- Análise para a MFPA e MFR da alface aos 10, 20 e 30 DAT....	140
Tabela 16	- Análise de MSPA e MSR da alface aos 10, 20 e 30 DAT.....	142
Tabela 17	- Análise para o NF de alface aos 10, 20 e 30 DAT.....	144
Tabela 18	- Análise do ICF da alface aos 20 e 30 DAT.....	145
Tabela 19	- Análise da produtividade do cultivo de alface aos 30 DAT.....	145
Tabela 20	- Teor de nutrientes na parte aérea e sistema radicular das diferentes variedades de alface no SH e SA.....	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Vantagens de sistemas de recirculação.....	42
Quadro 2	- Composição da água de cultivo para as bactérias nitrificantes....	80

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AFBR	Reator de leito fluidizado airlift trifásico
Al₂O₃	Óxido de alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ATP	Trifosfato de adenosina
BAS-CT	Reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos
BOA	Bactérias oxidantes de amônio
BON	Bactérias oxidantes de nitrito
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CO₂	Gás carbônico
CPA	Comprimento da parte aérea
CR	Comprimento da raiz
DAT	Dias após o transplântio
DBO	Demanda bioquímica de Oxigênio
DC	Decantador de coluna
DCv	Decantador convencional
DQO	Demanda química de oxigênio
EC	Economia circular
EMABR	Entrada do reator de biofilme aerado em membrana
EMBS	Entrada do decantador de leito móvel
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESA	Entrada do sistema aquapônico
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FSB	Reator de leito fluidizado
GP	Ganho de peso
H⁺	Íon hidrogênio
ICF	Índice de clorofila foliar
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, Recursos Naturais Renováveis
MABR	Reator de biofilme aerado em membrana
MBS	Decantador de leito móvel

MBBR	Biorreator de leito móvel com biofilme
MBR	Biorreator de membrana
MFPA	Massa fresca da parte aérea
MFR	Massa fresca da raiz
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
NAT	Nitrogênio amoniacal total
NF	Número de folhas
NH₃	Íon amônia não ionizada
NH₄⁺	Íon amônia ionizada
N₂	Nitrogênio
NO₂⁻	Íon nitrito
NO₃⁻	Íon nitrato
NT	Nitrogênio total
N₂O	Óxido nitroso
OCDE	Organization for Economic Co-operation and Development
OD	Oxigênio dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
ON	Óxido nítrico
PDMS	Polidimetilsiloxano
PEIXEBR	Associação Brasileira da Piscicultura
pH	Potencial hidrogeniônico
PT	Fósforo total
S	Sobrevivência
SA	Sistema aquapônico
SBR	Reator de batelada sequencial
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SH	Sistema hidropônico
SMABR	Saída do reator de biofilme aerado em membrana
SMBS	Saída do decantador de leito móvel
SMBR	Reator de membrana submerso
SPDR	Reator de desnitrificação em fase sólida
SPE	Substâncias poliméricas extracelulares

SRA	Sistema de recirculação aquícola
SSA	Saída do sistema aquapônico
SST	Sólidos suspensos totais
ST	Sólidos totais
TDH	Tempo de detenção hidráulica
TCAA	Taxa de conversão alimentar aparente
Ti-Mn	Titânio-Manganês
TiO₂	Óxido de titânio
TN	Taxa de nitrificação
UPMR	Reator de fluxo ascendente com mídia plástica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
2	OBJETIVOS.....	26
2.1	OBJETIVO GERAL.....	26
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	27
3.1	AQUICULTURA.....	27
3.1.1	Piscicultura.....	27
3.1.2	Piscicultura continental.....	29
3.1.3	Tipos de piscicultura.....	29
3.1.3.1	Piscicultura extensiva.....	30
3.1.3.2	Piscicultura semi-intensiva.	30
3.1.3.3	Piscicultura intensiva.....	31
3.1.4	Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	31
3.1.4.1	Qualidade da água para criação de Tilápia.....	32
3.1.5	Sistemas de criação para piscicultura	32
3.2	PANORAMA DA PISCICULTURA NO BRASIL.....	34
3.3	IMPACTOS DA PISCICULTURA.....	35
3.3.1	Eutrofização.....	36
3.4	PISCICULTURA SUSTENTÁVEL.....	38
3.5	SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA (SRA).....	41
3.5.1	Balanço de massas.....	43
3.5.2	Tratamento de efluente de piscicultura com SRA.....	47
3.5.3	Rendimento produtivo de Tilápia em SRA.....	49
3.6	REATOR DE BIOFILME AERADO EM MEMBRANA (MABR).....	50
3.6.1	Processos de nitrificação e desnitrificação.....	52
3.6.2	Tratamento de efluente de piscicultura com MABR.....	56
3.7	SISTEMA DE AQUAPONIA (SA)	56
3.7.1	Qualidade de água no sistema de aquaponia.....	58
3.7.2	Tipos de técnicas em aquaponia.....	59
3.7.2.1	Nutrient Film Technique (NFT).....	60
3.7.2.2	Composição da solução nutritiva.....	61

3.7.3	Tipos de vegetais utilizados em aquaponia.....	62
3.7.3.1	Alface (<i>Lactuca sativa</i>)	64
3.7.4	Espécies piscícolas utilizadas em aquaponia.....	64
3.7.5	Rendimento de um sistema de aquaponia com Tilápia e alface....	65
3.7.6	Perspectivas de aquaponia no Brasil.....	66
3.8	ECONOMIA CIRCULAR (EC)	68
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
4.1	LOCAL DE TRABALHO DA PESQUISA.....	70
4.2	MATERIAIS.....	70
4.2.1	Descrição geral do sistema de recirculação aquícola.....	70
4.2.1.1	Tanque para o cultivo de Tilápia.....	71
4.2.1.2	Decantador de leito móvel (MBS).....	72
4.2.1.3	Reator de biofilme aerado em membrana (MABR).....	75
4.2.2	Descrição geral do sistema de aquaponia.....	81
4.3	MÉTODOS.....	83
4.3.1	Avaliação de eficiência do tratamento com SRA.....	83
4.3.2	Desenvolvimento do sistema de aquaponia.....	85
4.3.3	Determinação das variáveis aquícolas.....	87
4.3.4	Rendimento vegetal.....	87
4.3.5	Delineamento experimental e análises estatísticos.....	88
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	90
5.1	MONITORAMENTO DE PARÂMETROS EM SRA	90
5.1.1	Monitoramento de temperatura.....	90
5.1.2	Monitoramento de OD.....	92
5.1.3	Análise de temperatura e OD no tanque de criação.....	94
5.1.4	Monitoramento do pH.....	95
5.1.5	Monitoramento de alcalinidade.....	96
5.1.6	Análise de pH e alcalinidade no tanque de criação.....	97
5.1.7	Análise de amônia não ionizada e amônia ionizada no tanque de criação.....	98
5.2	ANÁLISES DE EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATERIA ORGÂNICA,, NITROGÊNIO E SÓLIDOS DO SRA.....	100
5.2.1	Turbidez.....	100

5.2.2	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	103
5.2.3	Demanda química de oxigênio (DQO)	105
5.2.4	Nitrogênio total (NT)	108
5.2.5	Amônia não ionizada (NH₃) e amônia ionizada (NH₄⁺)	110
5.2.6	Nitrito (NO₂⁻)	114
5.2.7	Nitrato (NO₃⁻)	116
5.2.8	Fósforo total (PT)	118
5.2.9	Sólidos totais (ST)	120
5.2.10	Sólidos suspensos totais (SST)	122
5.2.11	Sólidos dissolvidos totais (SDT)	124
5.3	ANÁLISE DE PARÂMETROS NO SEGUNDO APARATO EXPERIMENTAL	126
5.3.1	Monitoramento de temperatura e OD	126
5.3.2	Reposição da condutividade elétrica (CE) e correção do pH	127
5.3.3	Nitrogênio total (NT)	128
5.3.4	Amônia não ionizada (NH₃)	130
5.4	DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DA TILÁPIA DO NILO	132
5.5	RENDIMENTO VEGETAL	137
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	148
6.1	CONCLUSÕES	148
6.2	RECOMENDAÇÕES	149
	REFERÊNCIAS	150
	APÊNDICE A - MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DIÁRIOS NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA	180
	APÊNDICE B - CONCENTRAÇÕES DE ALCALINIDADE E TURBIDEZ NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA	183
	APÊNDICE C - CONCENTRAÇÕES DE DBO E DQO NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA	184
	APÊNDICE D - CONCENTRAÇÕES DE NT E PT NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA	185
	APÊNDICE E - CONCENTRAÇÕES DE NAT, NH₃ e NH₄⁺ NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA	186

APÊNDICE F - CONCENTRAÇÕES DE NITRITO E NITRATO NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA.....	187
APÊNDICE G - CONCENTRAÇÕES DE SÉRIE DE SÓLIDOS NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA.....	188
APÊNDICE H - DADOS BIOMÉTRICOS TILÁPIA DO NILO.....	189
APÊNDICE I - MONITORAMENTO E CORREÇÃO DE PARAMETROS NO SH E SA.....	192
APÊNDICE J - CONCENTRAÇÕES DE NT E NH ₃ NO SH E SA	194
APÊNDICE K - DADOS DA PRIMEIRA AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ALFACE.....	195
APÊNDICE L - DADOS DA SEGUNDA AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ALFACE.....	196
APÊNDICE M - DADOS DA TERCEIRA AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ALFACE.....	197
APÊNDICE N - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS PARA ALFACE.....	198
APÊNDICE O - CULTURA DE ALFACE NO FINAL DO EXPERIMENTO NO SH (A) e SA (B).....	203

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é considerada uma das atividades milenares do mundo, de crescimento mais rápido em comparação com outros setores de produção de proteína o seu intenso progresso contribuiu para o desenvolvimento econômico e nutricional da população (Fao, 2022).

Em 2020, o setor aquícola apesar de enfrentar uma situação pandêmica, a atividade alcançou a produção de 66 milhões de toneladas em águas doces, 83% em sistemas de aquicultura; alcançando assim, uma taxa média global de incremento de 2,7% por ano, continuou a expandir-se, embora um ritmo mais lento comparado com o aumento prolongado que só foi alcançado até 2018 (Fao, 2022).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), reportou que o continente Americano no ano 2020 contribuiu com 12% da produção total da pesca e da aquicultura mundial. Pela sua parte, o Brasil em 2021 atingiu 5,9% em termos de produção de peixes de cultivo, com 802.930 toneladas, a Tilápia, é a espécie com maior contribuição para esta produção total, com mais de 60% (Peixe Br, 2022).

Um relatório recente apresentado pela OCDE (Organisation for Economic Co-operation and Development) e FAO (2022) indica que, atualmente, foi enfrentada várias sequência de desafios, o que levou a um declínio significativo, para a qual várias técnicas estão sendo utilizadas para impulsionar a produção aquícola global e gerar maior controle sobre o ambiente aquático (Siqueira, 2017)

Uma das alternativas adotadas são os Sistemas de Recirculação Aquícola (SRA), que são introduzidos como uma opção para o cultivo intensivo de espécies com elevadas densidades de estocagem, além disso, para tratar o efluente final, reutilizar o recurso hídrico e promover o controle sanitário da espécie de peixe de cultivo (Timmons; Ebeling, 2010).

A respeito da aquaponia, é proposta como um mecanismo de crescimento completo que combina três grupos de organismos: peixes, plantas aquícolas, plantas de consumo e bactérias, como alternativa para eliminar os efeitos ambientais e repercussões na área produtiva (Somerville *et al.*, 2014).

Contudo isso, o efluente proveniente da criação de peixes tem elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, restos de ração e dejetos dos animais (Leira *et al.*, 2017; Almeida, *et al.*, 2023).

Portanto, um problema associado a estes sistemas é a alta concentração de resíduos da ração, matéria orgânica e os diferentes tipos de nitrogênio tóxico, pois os peixes só assimilam entre 20% e 30% dos nutrientes da alimentação (Avnimelech, 2006).

Segundo Syron e Casey (2008), várias tecnologias para o tratamento de efluentes da piscicultura, são implantadas em conjunto com os sistemas de cultivo, como, os biorreatores, amplamente utilizados atualmente, uma vez que promoverem a redução ou eliminação das grandes cargas carbonáceas e de nutrientes como nitrogênio e fósforo, produzidos em um ambiente de cultivo, sob condições controladas.

Dessa maneira, alternativas utilizadas para a piscicultura com potencial de utilização tem-se Reator de Biofilme Aerado em Membranas - MABR (Do inglês Membrane Aerated Biofilm Reactor), consiste basicamente na imobilização do biofilme em uma membrana permeável ao oxigênio, para que ocorram os processos de difusão do oxigênio através da membrana diretamente para o biofilme, gerando a oxidação dos poluentes (Syron; Casey, 2008).

Vários fatores, incluindo os efeitos da pandemia de COVID-19, impediram de certo modo a continuidade de várias iniciativas e mais precisamente, em relação a esta série de desafios sanitários e de segurança alimentar, a produção aquícola deve ser repensada com algumas estratégias tais como a implementação de sistemas de produção cada vez mais eficientes, ecologicamente corretos, que promovam condições favoráveis à produção de fontes de proteínas animais, as quais podem ser complementadas por outras alternativas alimentares para a nutrição humana.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como intuito avaliar um SRA equipado com um Decantador de Leito Móvel (MBS) e MABR associado aos sistemas de aquaponia, como alternativas para o tratamento de efluentes em piscicultura e opções de produção que aportam a segurança alimentar, pois apesar das várias avaliações disponíveis na literatura, a integração de tais sistemas ainda não foi relatada com este tipo de biorreator.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de tratamento do efluente resultante do Sistema de Recirculação Aquícola, para produção intensiva de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), equipado com um MBS em conjunto com MABR, cujo efluente de descarte pretende ser usado em um Sistema Aquapônico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a eficiência de tratamento e remoção do Sistema de Recirculação Aquícola com Decantador de Leito Móvel, Reator de Biofilme Aerado em Membrana em interação com Sistema de Aquaponia;
- Estimar as variáveis produtivas de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) para a biomassa utilizada neste sistema de cultivo, e
- Estabelecer o rendimento vegetal de três cultivares de alface (*Lactuca sativa*), no sistema de aquaponia, mediante a utilização de efluente de cultivo de Tilápia do Nilo de um sistema de recirculação aquícola.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AQUICULTURA

A aquicultura é considerada a criação de organismos aquáticos, incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas, mediante alguma forma de intervenção no processo de cultivo, com objetivo de alcançar a otimização das variáveis de produção.

A produção global de animais aquáticos para o ano 2020 foi estimada em 178 milhões de toneladas, a aquicultura contribuiu com 88 milhões de toneladas (49%), do total da produção, 66 milhões de toneladas (37%) foi desenvolvida em ambientes de água doce, das quais 54,4 milhões de toneladas foram aportadas por diferentes sistemas de cultivo, além disso, foi identificado que da produção aquícola mundial, mais de 157 milhões de toneladas (89%) foram destinadas ao consumo humano (Fao, 2022).

Embora exista uma grande diversidade de espécies aquáticas que podem ser cultivadas em sistemas controlados, apenas um pequeno número de espécies predomina na produção aquícola. Com um rendimento de produção bastante relevante em 2020 a nível mundial na aquicultura de água doce, a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) contribuiu com 11,8% em termos de produção global (Fao, 2022).

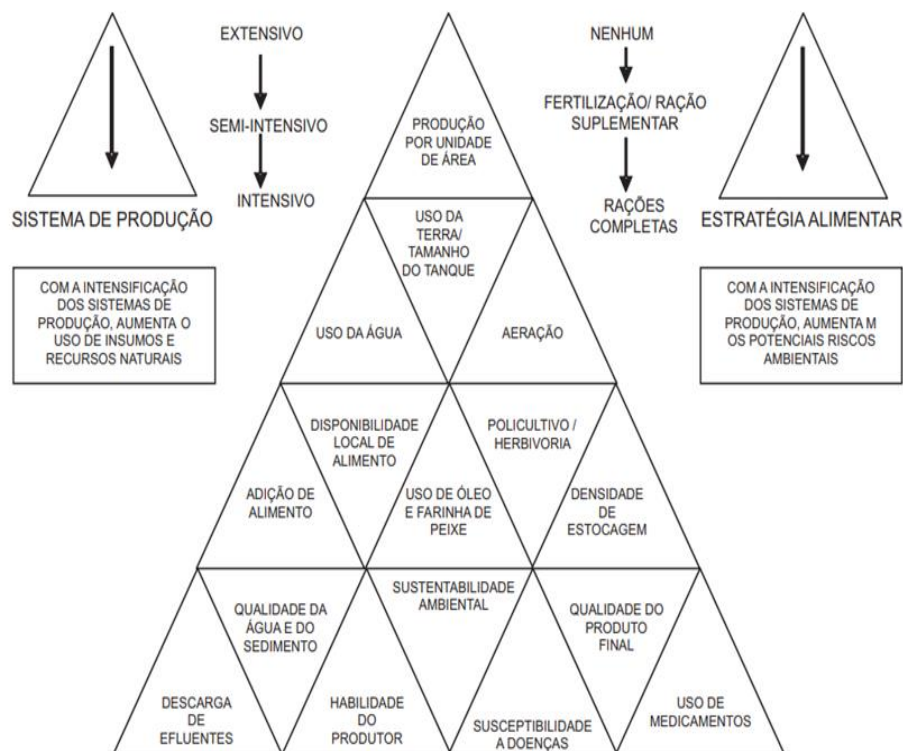
Em vista disso, o Brasil destaca-se como um país com maior potencial para a aquicultura, principalmente devido à disponibilidade hídrica, clima favorável e ocorrência natural de espécies aquáticas de interesse zootécnico e econômico (Ministério da Pesca e Aquicultura, 2013).

3.1.1 Piscicultura

Entende-se por piscicultura a criação de peixes em águas continentais, ou marinhas, geralmente de interesse econômico produtivo, sob alguma forma de intervenção no processo de cultivo, cuja produção é alcançada sob processos e condições controladas (Fao, 2022). Em 2021, o Brasil produziu 841.005 toneladas de peixes de cultivo e a produção percebeu um crescimento de 4,7% (Peixe Br, 2022).

Segundo Espejo (2006), uma das formas produtivas de proteína animal mais comumente desenvolvida atualmente é a piscicultura, bem seja de água doce ou de água salgada, que pode ser praticada em diferentes tipos de sistemas de criação, de acordo com características específicas, como: manejo e controle aplicado ao cultivo da espécie, tipo de ração e a produção obtida em termos de biomassa. De acordo com isto, em termos de estratégia de alimentação, o uso do alimento natural e segundo a pirâmide trófica, os tipos de piscicultura estão nos níveis extensivo, semi-intensivo e intensivo, como indica a Figura 1.

Figura 1 - Tipos de piscicultura de acordo aos sistemas de produção e a estratégia de alimentação



Fonte: Adaptado de Tacon; Foster (2003).

A atividade piscícola pode ser praticada em um mesmo corpo de água ou sistema, com uma ou várias espécies, utilizando totalmente a coluna de água, dependendo da natureza de cada organismo aquícola. Neste sentido, o cultivo de uma espécie é conhecido como monocultivo; e se uma ou mais espécies estão envolvidas no mesmo ambiente de cultivo é referido como policultivo (Inpa, 2001).

De acordo com a EMBRAPA (2013), a classificação dos sistemas de produção intensiva de espécies hidrobiológicas em relação ao uso de água são, sistemas abertos, semifechados e fechados. Os sistemas abertos são o cultivo de organismos no mesmo ambiente natural do qual a espécie é originária. Sistemas semifechados permitem uma passagem de água no sistema e o efluente é descartado. Nos sistemas fechados, a água é reciclada e retorna para as unidades de cultivo.

3.1.2 Piscicultura continental

A piscicultura continental refere-se ao cultivo de espécies de peixes em ambientes de água doce. Atualmente este tipo de atividade utiliza uma grande variedade de espécies de peixes, métodos e instalações de criação (Fao, 2022).

As espécies utilizadas para a produção podem ser nativas ou exóticas. Para Lima *et al.* (2013), os animais nativos se reproduzem naturalmente nas bacias hidrográficas. As espécies exóticas são peixes que se encontram fora de sua área de distribuição natural ou histórica.

De acordo a Associação Brasileira da Piscicultura (comumente conhecida como PEIXE BR), indicou que, para o ano de 2021 a piscicultura de água doce no Brasil foi representada principalmente pela Tilápia, atingindo 534.005 toneladas e sua participação na produção total de peixes de cultivo foi de 63,5%. O Brasil consolidou-se como o quarto maior produtor de Tilápia no mundo. Espécies como carpa, truta e pangasius, mostraram alto desempenho e somaram 44.585 toneladas da produção total, ou seja 5,3% (Peixe Br, 2022).

Por outro lado, os peixes nativos foram um setor com baixo desempenho da piscicultura brasileira, cuja produção foi de 262.370 toneladas (31,2%), devido principalmente, a falta de programas oficiais de apoio ao cultivo e dificuldades de mercado (Peixe Br, 2022).

3.1.3 Tipos de piscicultura

Os sistemas de produção são desenvolvidos conforme os fatores como: densidade de estocagem, o nível de manejo, a dependência de ração pelos peixes, uso de insumos, emprego de tecnologia, os recâmbios de água na unidade de criação

e do desempenho produtivo alcançado. Segundo Zimmermann e Fitzsimmons (2004), a piscicultura está nas categorias: extensiva, semi-intensiva e intensiva.

3.1.3.1 Piscicultura extensiva

Neste tipo de piscicultura é mínima a intervenção do humano no processo, a tecnologia é usada em menor grau, geralmente as estruturas mais utilizadas são, açudes, barragens e represas. As trocas de água ocorrem apenas nos períodos de chuva, ou mesmo quando ocorre a despesca da população, acontece o processo, sem esgotamento total do volume de água (Sant'ana *et al.*, 2013).

A alimentação da espécie provém principalmente pela produtividade primária desenvolvida no ambiente, cuja disponibilidade é ajustada aos nutrientes existentes na coluna d'água, mesmo assim, não existe um gerenciamento rigoroso dos processos de alimentação e fertilização na produção. Neste sentido, é recomendada baixa densidade de estocagem entre 500 a 1.000 alevinos por ha, um tempo de cultivo bastante longo, com variações entre 12-18 meses, para obter um desempenho produtivo de até 150 a 500 kg/ha (Embrapa, 2013).

3.1.3.2 Piscicultura semi-intensiva

Neste caso, existe maior controle por parte do criador no processo de produção, mediante o uso de tecnologia para incrementar produtividade, são utilizados com frequência sistemas estruturados por viveiros ou barragens. A alimentação é controlada sendo necessário o fornecimento de uma dieta balanceada, além do emprego da produção natural, do mesmo modo, é essencial o acompanhamento da qualidade da água, mediante monitoramento dos parâmetros como: temperatura, transparência, pH, oxigênio dissolvido (OD), amônia não ionizada (NH_3), nitritos (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (Frasca-Scorvo; Scorvo-Filho, 2011).

A densidade de estocagem está entre 5.000 a 25.000 alevinos/ha e trocas de água entre 5 a 10% do volume total. O período de criação varia de 4 a 8 meses, atingindo uma produção final de 2.500 a 12.500 kg/ha (Zimmermann; Fitzsimmons, 2004; Embrapa, 2013).

3.1.3.3 Piscicultura intensiva

A piscicultura intensiva requer maior gerenciamento por parte do produtor, as tecnologias usadas devem ser mais sofisticadas, tanques-rede, canais ou raceways, são as principais estruturas usadas para a criação de uma espécie aquícola. O manejo da produção é intensificado, o alimento fornecido é proveniente de dietas balanceadas, sendo oferecida com alta frequência ao longo do dia, e deve ser realizado, um monitoramento rigoroso e constante da qualidade da água (Brabo *et al.*, 2013).

O manejo da taxa de estocagem está entre 25.000 e 100.000 alevinos/ha em viveiros escavados, de 20 a 80 peixes/m³ em raceways e de 100 a 600 peixes/m³ em tanques-rede. Destina-se um período de tempo para a criação de três a seis meses e obtendo rendimentos produtivos de 12.500 a 50.000 kg/ha, de 10 a 40 kg/m³ e de 50 a 200 kg/m³ respectivamente (Zimmermann; Fitzsimmons, 2004).

3.1.4 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A Tilápia é uma espécie originária da bacia do rio Nilo, no Leste da África, é um peixe rústico, de alimentação onívora, caracterizada pela sua alta viabilidade produtiva e econômica, tornou-se a espécie exótica mais popular utilizada na aquicultura (El-Sayed, 2019).

Pertencente à ordem dos Perciformes, família Cichlidae, são produzidas amplamente nas regiões tropicais e subtropicais, como em Israel, no Sudeste Asiático (Indonésia, Filipinas e Formosa) e no Continente Americano (USA, México, Panamá e toda a América do Sul) (Carvalho, 2006).

Para Lima *et al.* (2013), a Tilápia é um peixe que apresenta potencial para piscicultura, devido a características, como: fisiologia e biologia reprodutiva, plasticidade genética, desenvolvimento de linhas domésticas, adaptação a todos os sistemas de produção e a diferentes níveis de salinidades da água, e aceitabilidade para comercialização.

Compreende mais de 70 espécies e distribuídas em quatro gêneros: *Oreochromis*, *Sarotherodon*, *Tilapia* e *Danakilia*. Este grupo de peixe no Brasil foi introduzido na década de 70 por meio da espécie pura *Oreochromis niloticus* (Lima *et al.*, 2013).

3.1.4.1 Qualidade da água para criação de Tilápia

Um dos fatores mais importantes no cultivo de espécies de aquicultura é a qualidade da água, que se refere aos níveis ideais de variáveis físicas, químicas e biológicas para que os organismos possam desenvolver satisfatoriamente os processos de crescimento, fisiológicos, alimentação, reprodução, etc. (Makori *et al.*, 2017; Leira *et al.*, 2017). Geralmente, o sucesso da produção de uma espécie de aquicultura depende em grande parte pela adaptação do sistema, às condições do mesmo ambiente natural do qual o organismo é originário, assim, os valores e limites permitidos dos parâmetros variam conforme sua ambiente historicamente conhecido (Baltazar; Palomino, 2004); para o caso da Tilápia, a Tabela 1 descreve os valores recomendados para sua criação.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água para o cultivo de Tilápia

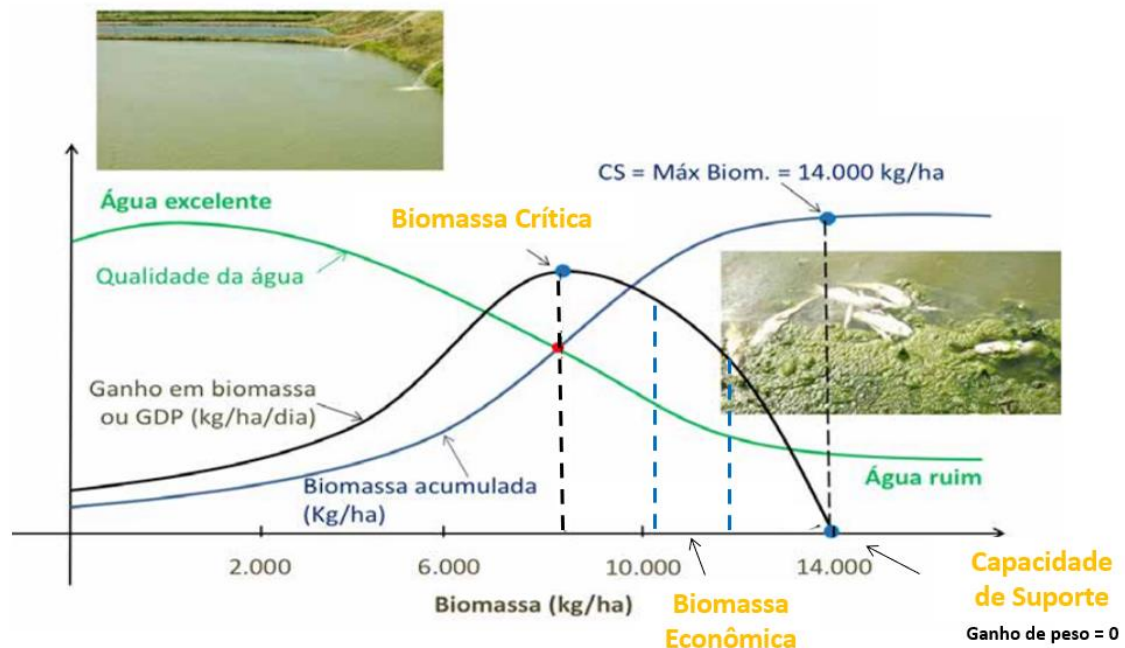
Parâmetro	Valores para Tilápia (Espécie de água cálida)
Temperatura (°C)	26-30
OD (mg/L)	4,0-6,0
pH (-)	6,5-8,5
Alcalinidade (CaCO ₃ /L)	40-150 mg/L
Dióxido de carbono - CO ₂ (mg/L)	30-50
NH ₃ (mg/L)	<0,04
NO ₂ ⁻ (mg/L)	<1,0
Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L)	<80
Dureza (mg/L)	20-200

Fonte: Adaptado de Connolly; Tebic (2010); Timmons; Ebeling (2010); Silva; Massago; Marchiori (2019).

3.1.5 Sistemas de criação para piscicultura

Existem diversos sistemas e estratégias de produção para espécies aquícolas, ainda assim, é de suma importância o conhecimento dos conceitos e a quantificação da capacidade de suporte, biomassa crítica e biomassa econômica, da mesma maneira é fundamental determinar o desempenho das espécies cultivadas, para obter maior índice de planejamento e otimização da produção. Na Figura 2 é representado, graficamente, os conceitos de biomassa crítica, biomassa econômica e capacidade de suporte (Rangel; Makeakis, 2002).

Figura 2 - Pontos de biomassa crítica, biomassa econômica e capacidade de suporte em um sistema de criação de peixes



Fonte: Adaptado de Kubitza (2016).

A capacidade de suporte de um sistema aquícola, é a máxima biomassa de peixe que a unidade é capaz de tolerar. É fundamental o gerenciamento dos fatores que podem limitar o crescimento e desenvolvimento da espécie de cultivo, evitando assim, perdas por problemas ambientais ou a consequente formação de patógenos oportunistas no ambiente. Os principais fatores limitantes numa unidade de criação de peixes são: OD; disponibilidade e qualidade de alimento; concentração de amônia; concentração de matéria orgânica e quantidade e qualidade da água disponível para o cultivo (Kubitza, 2000; Silva; Massago; Marchiori, 2019).

Segundo Kubitza (2011) descreve a biomassa crítica como o crescimento dos peixes que atinge seu valor máximo de forma diária (g/d), por unidade de área (kg/ha/dia) ou volume (kg/m³/dia), ou seja, o máximo ganho de peso possível. Depois disso, se torna evidente a diminuição do ganho de peso, até que à mesma unidade de cultivo atinja seu ponto limite na capacidade de suporte, e os peixes param de crescer.

Entre a capacidade de suporte e biomassa crítica numa piscicultura se acumula o máximo lucro obtido durante o cultivo, que é conhecido como biomassa econômica, momento ideal para efetuar processos de despesca, se esse momento foi adiado, aumenta o custo de produção sem um aumento significativo no preço de venda,

inclusive isso depende do custo da ração, da conversão alimentar e do valor no mercado do peixe produzido, entre um 60% e 80% da capacidade do sistema, representa a biomassa econômica (Kubitza, 2011, 2016).

3.2 PANORAMA DA PISCICULTURA NO BRASIL

A piscicultura brasileira em 2021 produziu 841.005 toneladas de peixes de cultivo, e a produção teve um crescimento de 4,7%, avanço que vem sendo mantido desde 2014, a produção de espécies piscícolas é a atividade que mais cresce dentro do setor de produtivo animal nos últimos anos e mantém média de crescimento de 5,6% (Peixe Br, 2022).

Além disso, para o 2021 houve exportações de US\$ 20,7 milhões, que se refletiu em um aumento significativo de 78%, por tanto o crescimento registrado foi de 49%, passando de 6.681 t em 2020 para 9.932 t em 2021 (Peixe Br, 2022).

O Brasil consolidou-se como o quarto maior produtor de Tilápia no mundo, cuja espécie é a mais representativa da produção total, atingiu 534.005 t, o rendimento produtivo desta espécie aumentou significativamente entre todos os peixes de cultivo, o desempenho cresceu 9,8% em relação ao ano anterior, em termos de participação do total da produção deste recurso exótico representou 63,5% (Peixe Br, 2022).

Ademais, e no continente Americano, levando em conta a atividade aquícola, o país continua sendo o segundo maior produtor depois do Chile (Schulter; Vieira, 2018).

O progresso da tilapicultura está sendo gerado em diversas regiões do país (Pedroza *et al.*, 2020), embora para o ano 2021 tenha sido apresentado um cenário desafiante relacionado aos elevados custos de produção e problemas com a estiagem, sendo os estados de Paraná, São Paulo e Minas Gerais os três maiores produtores desta espécie, com 182.000, 76.140 e 47.000 t, respectivamente (Peixe Br, 2022).

Deste modo, o setor da produção animal que representa maior crescimento no Brasil é a piscicultura, principalmente por diversas condições favoráveis para o desenvolvimento da atividade como, clima adequado para o cultivo de várias espécies, dimensões continentais com alto potencial para criação de peixes (Embrapa, 2018), possui uma grande reserva hídrica, com cerca de 12% da água doce total disponível no mundo, assim como também, mais de 4 milhões de hectares de

represas artificiais e reservatórios de água de diversos tamanhos (Valenti *et al.*, 2021) e uma costa marítima de aproximadamente 8500 km de extensão (Ana, 2020).

3.3 IMPACTOS DA PISCICULTURA

Os sistemas de produção piscícola apresentam grande potencial poluidor relacionados sobretudo à qualidade de água, a criação de uma espécie aquícola produz basicamente resíduos provenientes de concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo, matéria orgânica e sólidos (Guo; Li, 2003).

Assim, com a intensificação dos sistemas de cultivo, acontece a produção constante e acelerada de compostos nitrogenados e resíduos sólidos, cujas concentrações são influenciadas pelo tipo de ração utilizada, os procedimentos de alimentação, o cenário de confinamento, e as condições gerais de criação (Reis; Azevedo; Ulbricht, 2004; Timmons; Ebeling, 2010), sendo que, a ração pode ser considerada a principal fonte de resíduos e a principal causa de grande parte do impacto ambiental da aquicultura (D'orbcastel; Blancheton; Aubin, 2009).

Especialmente os compostos nitrogenados, como amônia e nitrito, quando atingem concentrações elevadas representam um fator limitante nas produções (Reis; Azevedo; Ulbricht, 2004).

Frequentemente, a alimentação de uma espécie íctica em confinamento, utiliza dietas com grandes proporções proteicas (aminoácidos), uma parte destas proteínas é assimilada pelo animal e transformada em proteína animal, a porção restante é eliminada, que pode ser excretada na forma de fezes como nitrogênio orgânico ou na estrutura inorgânica como amônia, que é a principal forma de excreção dos peixes (Hegazi *et al.*, 2010).

A amônia se apresenta em duas formas: NH_3 (amônia não ionizada ou dissolvida), atribuída a problemas de toxicidade para os organismos aquáticos e amônia ionizada (NH_4^+), menos tóxica (Hutchinson *et al.*, 2004). A decomposição do alimento não consumido em conjunto com a adição de fertilizantes, como o sulfato de amônio, utilizado como fertilizante inorgânico, principalmente como fonte de nitrogênio para incrementar o teor nutricional num tanque, e obter maiores rendimentos produtivos (Borges, 2009), junto com adubos orgânicos utilizados em piscicultura, incrementa o teor da série de nitrogênio num cultivo de peixes (Tavares *et al.*, 2009).

Hussar *et al.* (2002) expõem, que também estão presentes os compostos fosfatados, nas rações como nos dejetos dos peixes, assim o fósforo total (PT) na água, é apresentado nas formas de: ortofosfato, polifosfato e fósforo inorgânico, além de ser considerado um nutriente primordial na produção animal e vegetal, torna-se um componente limitante na produtividade primária (fitoplâncton e zooplâncton) deste modo, as concentrações de P no ambiente estão determinados pelo tipo de fluxo, laminar e contínuo ou turbulento (Brasil, 2005).

Em piscicultura o recomendável é manter concentrações baixas de P, visto que nos processos de recuperação do efluente, se constitui um parâmetro de difícil remoção (Comeau *et al.*, 2001).

Esses compostos mencionados, são considerados os principais poluentes em corpos de águas naturais e solos receptores (Mariscal-Lagarda *et al.*, 2012), um dos principais desafios relacionados à piscicultura em rios, lagos e reservatórios é o incremento da concentração de partículas e nutrientes dissolvidos no ambiente, que promovem assim os processos de eutrofização (Azevedo *et al.*, 2011).

A modo geral, os problemas de gerenciamento dos resíduos gerados na produção piscícola, estão relacionados aos impactos internos, que por infortúnio são de grande acúmulo, e aquela fração disponível no meio, produto da disposição e lançamento inadequados em solos e corpos d'água (Hussar *et al.*, 2002).

3.3.1 Eutrofização

O termo eutrofização provém da palavra grega *eutrophos* (“eutrofico”) que significa bem nutrido. A eutrofização é atribuída como uma condição do meio aquático, produto do enriquecimento de nutrientes dos corpos d'água, nutrientes majoritariamente disponíveis como nitrogênio e fósforo, que resultam consequentemente na proliferação de algas, degradando assim a qualidade da água dos recursos hídricos (Sonarghare *et al.*, 2020).

O fenômeno de eutrofização está caracterizado pelo incremento excessivo de plantas e algas decorrente da disponibilidade de fatores de crescimento como, luz solar, dióxido de carbono, nutrientes, entre outros, que são limitantes para efetuar os processos de fotossíntese (Zhang; Chen; Haffner, 2023).

Este crescimento e proliferação massiva de plâncton, que conjunto com a circulação da água no ambiente, gera um consumo grande de oxigênio e

subsequentemente ocasionando a redução das concentrações de oxigênio na água, podendo induzir estresse respiratório e bioquímico nos peixes, acarretar riscos à saúde, atingindo até a mortalidade do lote de peixes, que representam perdas significativas num determinado ecossistema (Tundisi; Tundisi, 2008; Moro *et al.*, 2013).

De acordo com Sonarghare *et al.* (2020) a partir do século XX com os recentes modelos de produção de proteína animal implementados globalmente, refletiu-se em repercussões maiores com a geração de efluentes descartados nos corpos receptores, cujo teor de N e P por ano incrementou aproximadamente em 50%.

Assim, estima-se que nitratos contribuam entre 20 a 50% e os fosfatos entre 35 a 55% para a ocorrência da eutrofização, concentrações que provêm principalmente de atividades agrícolas, efluentes de aquicultura, processos de alimentação animal, e como também da fertilização aplicada em agricultura (Beusen *et al.*, 2016).

De acordo com Akinawo (2023), a abundância nutricional num meio aquático é influenciada por uma série de fatores que promoveram a eutrofização, tais como:

- Fator natural: O regime de pluviosidade e tempestades é considerada a principal fonte de condução de nutrientes para o recurso hídrico. Além disso, o desgaste dos corpos hídricos resulta no acúmulo de sedimentos de matéria orgânica, contribuindo assim, para uma alta taxa de crescimento de florações de cianobactérias e fitoplâncton (Paerl; Paul, 2012; Yang, 2022).
- Fertilizantes: O uso excessivo de fertilizantes nas produções agrícolas que resultou num enriquecimento do sistema aquático, ocasionando uma densa proliferação de plantas aquáticas e algas (Knight, 2021).
- Atividade aquícola e os processos de alimentação: O conteúdo de nitrogênio e fosfato nos efluentes da aquicultura, na ração concentrada, nas fezes dos organismos de cultivos, bem como nos adubos orgânicos utilizados é considerado a principal fonte de nutrientes que são lixiviados nos ecossistemas aquáticos (Yang, 2022).

Dessa maneira, diversos pesquisadores também descreveram os principais efeitos da eutrofização que são listados a seguir (Von Sperling, 2005; Tundisi; Tundisi, 2008; Smith; Schindler, 2009; Rocha, 2021):

- Condições anóxicas (ausência de OD) do corpo de água, devido ao crescimento de bactérias heterotróficas, ocasionando a morte de peixes e de invertebrados, diminuição da qualidade de água e também resulta na liberação de gases tóxicos como o ferro e o manganês, levando a problemas no

abastecimento de águas, o fosfato como fonte para o desenvolvimento do fitoplâncton, e o gás sulfídrico associado a toxicidade e odores desagradáveis;

- Proliferação planctônica excessiva, como algas potencialmente tóxicas ou não comestíveis (cianobactérias), algas bentônicas e epifíticas e macrófitas aquáticas;
- Produção de substâncias tóxicas provenientes do crescimento acelerado de cianobactérias;
- Redução da transparência da água, com a subsequente deterioração do valor recreativo e estético dos reservatórios, pelas frequentes florações das águas, crescimento elevado da vegetação, presença de moscos e insetos, maus odores, e eventuais mortalidades de peixes,
- Diminuição da biomassa de diversidade espécies de animais ocasionado pelas eventuais mortalidades massivas e perda de plantas aquáticas devido às elevadas concentrações de nutrientes.
- Altas concentrações de matéria orgânica, que altera as condições de qualidade da água do ecossistema e incrementa o risco de disseminação de doenças; e
- Incremento dos custos para o tratamento de água, devido a necessidade de remoção de algas, cor, sabor, odor, além de grandes investimentos em produtos químicos e limpeza.
- Diminuição do acesso ao recurso hídrico para as populações que estão nas proximidades do corpo de água afetado (Akinnowo, 2023).

Portanto, é fundamental aplicar práticas de gestão e planejamento da produção, para redução de geração de efluentes com elevadas cargas nutricionais, assim como garantir a qualidade do efluente e fomentar o reaproveitamento do recurso hídrico (Lisbôa, 2019).

3.4 PISCICULTURA SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento da atividade aquícola produziu muitos resultados socioeconômicos positivos e estabeleceu-se como um dos setores de produção de proteína animal que mais crescem em nível mundial (Fao, 2022). No entanto, precisa-se que o processo e cadeia produtiva seja viável em curto, médio e longo prazo, sem

afetar os diferentes aspectos: social, econômico e ambiental, atingindo todas as classes de produtores e assegurar efetivamente a sustentabilidade (Sebrae, 2016).

De acordo com Valenti (2012) o termo de sustentabilidade pode ser definido como a “gestão de recursos naturais, financeiros, tecnológicos, institucionais, e sociais, garantindo a satisfação contínua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras”. Assim, a atividade piscícola deve incluir um desenvolvimento sustentável com respeito ao uso racional e responsável dos recursos naturais, considerando que para criação de espécies aquáticas é indispensável um dos recursos mais finitos do planeta, a água (Valenti *et al.*, 2018).

A sustentabilidade na produção aquícola envolve três eixos principais, inicialmente o cenário econômico a partir do processo produtivo e lucrativo, o aspecto ambiental relacionado a gestão e uso racional dos recursos naturais, o que implica garantir condições de conservação dos ecossistemas, e por último o contexto social, mediante a concepção de melhorar a qualidade de vida da comunidade, com a geração de empregos no local (Valenti *et al.*, 2018). Para manter o ciclo sustentável essas três dimensões são fundamentais e inerentes.

Nas atividades produtivas, como a piscicultura, conseguem-se obter grandes benefícios no aspecto social e econômico na região incorporada, ainda assim, existe certos níveis de repercussões no ambiente, por conseguinte, é imprescindível traçar um planejamento do manejo dos recursos provenientes de meio natural, levando em consideração os princípios sócioambientais (Eler; Millani, 2007).

No Brasil, a atividade piscícola continua expandindo-se, contribuindo majoritariamente na geração de emprego e renda, comprometido também com a segurança alimentar e nutricional e redução da pobreza (Cardoso; El-Deir; Cunha 2016; Siqueira, 2018).

Assim sendo que, o Ministério do Meio Ambiente, com o Ministério de Agricultura e Pecuária, vinculado com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e com a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), asseguram o acréscimo da aquicultura, mesmo assim a sustentabilidade, procurando a preservação dos ecossistemas aquáticos, mediante uma estrutura legal estabelecida.

Assim, têm-se algumas legislações, como são descritas a continuação:

- Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997, Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Brasil, 1997).
- Lei 11.959, de 29 de junho de 2009, dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e Pesca (Brasil, 2009).
- Resolução CONAMA Nº 459, de 04 de outubro de 2013, que dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências (Brasil, 2013).
- Instrução Normativa IBAMA Nº 22 de 22 de dezembro de 2021, que regulamenta o Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (Brasil, 2021).

É necessário a intervenção das autoridades nacionais que regem a aquicultura a partir de um marco legal compacto, voltada para assegurar os processos de conservação ambiental que estejam diretamente relacionados aos privilégios sociais e econômicos e político-institucionais do setor (Sebrae, 2016). Portanto, um equilíbrio no sistema pode-se conseguir conjuntamente, toda vez que o produtor, aliados, consumidores e o público geral que faz parte da área piscícola cimentem a concepção sustentável (Osmundsen *et al.*, 2020).

Assim, como assegura Rakocy; Masser; Losordo (2006) o incremento em termos produtivos, à diminuição dos efeitos ambientais, integração de sistemas intensificados, preservar o solo e limitar o uso de químicos, é o princípio que deve reger o campo piscícola.

Desse modo, para garantir a expansão da aquicultura sustentável é imprescindível realizar a difusão e aplicação de tecnologias para o cultivo de peixes, que asseguram uma carga mais intensiva de manejo, incrementem a utilidade por volume de água e a disposição de nutrientes, com objetivo de mitigar os impactos ambientais (Hu *et al.*, 2015).

Nesse contexto, para confrontar o desenvolvimento da produção de peixes e atender a dinâmica da demanda de pescado, por causa do progressivo incremento da população no mundo e conseqüentemente a grande exigência de alimento, é determinante executar sistemas produtivos, aptos para sustentar a aquicultura em nível ambiental, econômico, social e governamental (Palma, 2022).

3.5 SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA (SRA)

O SRA trata-se de um tipo sistema de cultivo fechado, representam uma alternativa ao consumo intenso da água, sendo uma estratégia mais compacta para a criação intensiva de espécies ícticas, inclusive com elevadas densidades de estocagem (Timmons; Ebeling, 2010), atingindo certos níveis de biossegurança para os animais. Requer recursos limitados para uma maior produção e proporcionam sustentabilidade ambiental (Aich *et al.*, 2020).

A técnica de recirculação implica o tratamento de uma porção ou da totalidade da água de descarga, para sua devolução ao sistema de criação de peixes. Portanto, da totalidade da água que circula apenas uma pequena porcentagem é descarregada, somente de 10% ou menos do volume por dia, além disso, precisa menor quantidade de terreno do que os sistemas convencionais necessitam para produzir a mesma biomassa animal (Sugita; Nakamura; Shimada, 2005), neste tipo de sistema só é necessário entre 38 e 76 L de volume médio de água para produzir um kg de peixe (Crepaldi *et al.*, 2006).

De acordo com Timmons e Ebeling (2010), o SRA tem a capacidade de controlar e vigiar diariamente parâmetros como temperatura, salinidade, pH, alcalinidade, composição química e OD. Os sólidos são filtrados e removidos, o oxigênio é adicionado para manter os níveis suficientes para a densidade de estocagem e o efluente passar por biofiltração para realizar os processos de conversão biológica do nitrogênio amoniacal em nitrato, que é a forma de nitrogênio mais aceitável pelas espécies de peixes.

Para o funcionamento de um SRA é necessário considerar os seguintes componentes principais (Kubitza, 2006a):

- Se adaptaram diversas formas de unidades de criação dos organismos de cultivo, sendo comumente utilizados os tanques circulares e octogonais, dado que, as concentrações de sólidos se acumulam no dreno central, facilitando os processos de remoção;
- Um decantador, cuja função principal é assimilar os sólidos sedimentáveis e os filtros mecânicos para remoção de sólidos em suspensão;
- Os biofiltros são fundamentais para os processos de nitrificação, portanto são primordiais na fixação das bactérias nitrificantes, para possibilitar a oxidação da amônia, na forma de nitrito, e de nitrito a nitrato;

- Um sistema de aeração, como sopradores de ar, difusores, aeradores mecânicos, entre outros, para a injeção de oxigênio no sistema, para reposição do consumo e eliminação dos níveis de gás carbônico;
- Bombeamento, indispensável na recirculação de água entre cada elemento que compõe o sistema.

Quando comparados com sistemas convencionais ou tradicionais em aquicultura, os sistemas de recirculação apresentam algumas vantagens conforme é descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens de sistemas de recirculação

Aspecto	Descrição
Custos de produção	Reduz os custos operacionais diretos da ração, exerce controle de predadores e agentes parasitários, assim como a eliminação na liberação de parasitas nas águas receptoras. Além disso, reduzem a dependência de antibióticos ou medicamentos, gerando maior qualidade do produto final obtido.
Qualidade de água para cultivo	Devido ao controle e vigilância dos parâmetros de qualidade de água, o SRA proporciona uma condição de cultivo adequada para os peixes em termos de fluxo de água, densidade de estocagem e mantém o equilíbrio fisiológico ideal para um bom desenvolvimento da espécie.
Criação de variedade de espécies	Envolve o cultivo de uma ampla gama de espécies independentemente dos requisitos de temperatura e também permite a produção segura de espécies não endêmicas.
Alto Fator de Conversão Alimentar (FCA)	As condições ambientais ideais promovem excelentes FCA, em espécies ícticas de alto valor comercial.
Tratamento do efluente	Facilita a remoção de resíduos metabólicos dos peixes, como fezes, amônia e dióxido de carbono, assim com a remoção de resíduos de ração e produtos de decomposição, principalmente na forma de compostos orgânicos sólidos e dissolvidos.

Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2010); Murray; Bostock; Fletcher (2014); Aich *et al.* (2020).

3.5.1 Balanço de massas

Para Timmons e Ebeling (2010), trata-se do mecanismo mediante o qual estabelece o cálculo necessário para manter os parâmetros, como OD, amônia, nitritos, dióxido de carbono e sólidos suspensão no nível adequado, para garantir a qualidade de água num sistema de produção aquícola assim como, o desenvolvimento da espécie íctica.

Como destaca Martins (2018) o modelo de balanço de massas, é uma das aplicações mais frequentes para identificar o nível de fluxo nos diversos componentes de um sistema controlado em aquicultura, empregando o princípio da conservação da massa, determinando assim, a distribuição da matéria, com o propósito fundamental de efetuar a estimativa para cada parâmetro em forma independente, estabelecendo os limites pertinentes.

Principalmente, num sistema de recirculação aquícola o fluxo de água, conduz o oxigênio e é promovida também, a remoção da matéria orgânica, desta maneira, se deve assegurar que os parâmetros físico-químicos, estão dentro das faixas estabelecidas dependendo da espécie de cultivo, para atingir o equilíbrio no sistema, pois não somente estão envolvidos apenas em afetar a qualidade da água, do mesmo modo, participam nos rendimentos produtivos dos peixes (Timmons; Ebeling, 2010; Bjondahl, 2006).

Em aquicultura a temperatura, OD e amônia são considerados parâmetros críticos para os processos produtivos, toda vez que repercutem sobre o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência dos organismos de cultivo (Zhang *et al.*, 2020).

Em SRA para o cultivo de Tilápia o controle de oxigênio se converte num fator fundamental, principalmente no manejo de altas densidades de estocagem, assim deve-se garantir níveis de OD acima do valor mais baixo tolerado pela espécie, e em temperaturas baixas ocorre a máxima concentração da saturação, o valor de saturação de águas quentes (25°C) é de 8,26 mg/L, com valores de OD acima de 4 mg/L (Mongirdas; Kusta, 2006; Timmons; Guerdat; Vinci, 2018).

O oxigênio também é fundamental nos processos de oxidação da amônia em nitrito e nitrato, justamente porque as bactérias nitrificantes no bio-filtro precisam de oxigênio para os mecanismos de conversão, por tanto frequentemente o OD deve ser monitorado e gerenciado (Thorarensen; Farrell, 2011).

Por outra parte, o consumo de ração, número de vezes de refeições no dia, tamanho dos peixes e a atividade dos peixes afetam o consumo de oxigênio no sistema. Quando o tamanho dos peixes, os processos metabólicos, e a temperatura aumentam, também incrementa a concentração de oxigênio consumida, posto isto, se tem que por cada kg de ração consumida, o peixe consome cerca de 0,12 kg de oxigênio (Thorarensen; Farrell, 2011; Ragab *et al.*, 2022).

A alimentação é um processo essencial no SRA, normalmente cerca do 80% da ração fornecida é consumida pelos organismos aquáticos, e o 20% é eliminada na água em forma de fezes (Boyd; Tucker, 2014). Dos nutrientes absorvidos, uma parte é convertida em biomassa, e o restante é metabolizado e excretado principalmente como nitrogênio orgânico, amônia e outros compostos (Chatvijitkul *et al.*, 2017).

Geralmente o teor de nitrogênio orgânico no alimento dos peixes está entre 4,1-10,7%, sendo que os organismos somente assimilam entre 20-30% do nitrogênio fornecido pelo alimento é produzido também em decorrência da decomposição microbiana, assim aproximadamente 70% desse composto é descartado na água, cuja fração mais representativa está composta por nitrogênio amoniacal total (NAT) que na forma de amônia é altamente tóxica para os peixes (Ebeling; Timmons; Bisogni, 2006; Sandu; Hallerman, 2013; Lossordo; Delong, 2015).

Segundo Randall e Tsui (2002), o NH_3 apresenta elevada solubilidade em água permitindo à facilidade de difusão do composto para dentro do organismo e ocasionando assim, efeitos tóxicos nos peixes. A toxicidade da amônia é atribuída à forma não ionizada, porque a maioria das membranas biológicas nos peixes são permeáveis a essa forma do nitrogênio, pois a molécula é de natureza lipofílica, característica que lhe permite uma difusão livremente (Randall; Tsui, 2002; Ip; Chew, 2010; Lin *et al.*, 2023), mesmo que a permeabilidade nas membranas seja variável e baixa em alguns casos.

Conforme United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2013) foram descritas distintas vias de ação da amônia, que podem ocasionar efeitos tóxicos nos organismos aquáticos:

- Frequentemente, pode afetar o tecido branquial por sua solvência lipídica, atravessando facilmente os microporos hidrofóbicos, que resultam em aumento da taxa de abertura braquial, danificação o epitélio, e conseqüentemente, ocasionando lesões na estrutura e função de outros órgãos (Ip; Chew, 2010);
- Diminuição da capacidade de transporte de oxigênio das células sanguíneas,

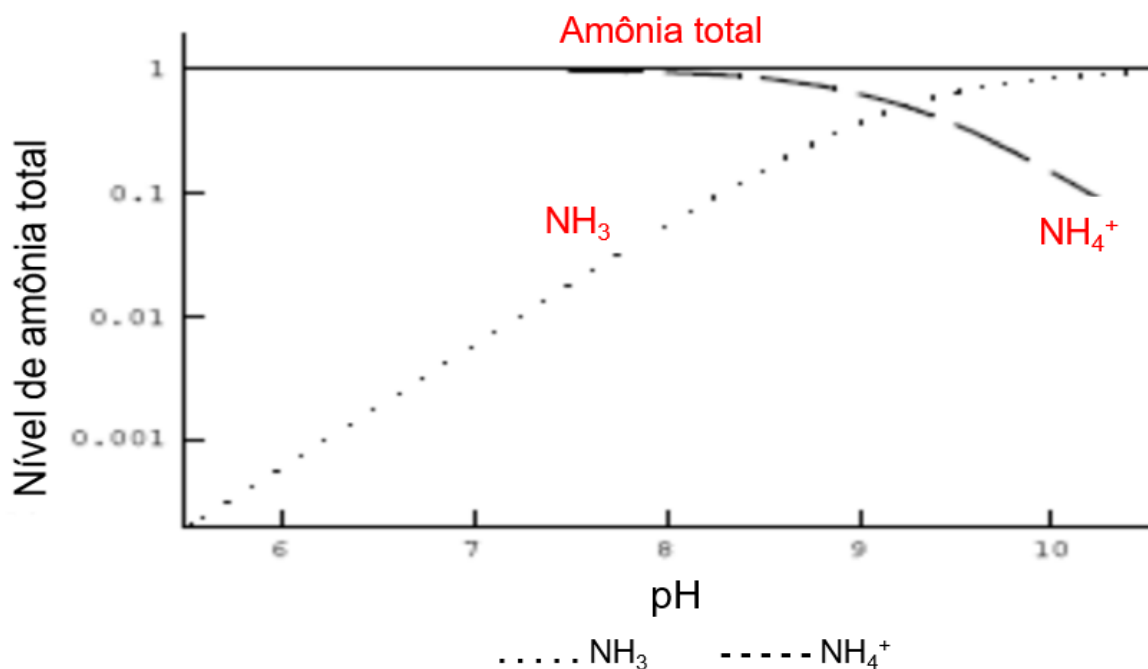
devido à processos de acidose progressiva (Russo, 1985; Randall; Tsui, 2002);

- Inibe e redução da produção de trifosfato de adenosina (ATP) no cérebro, por causa de uma dissociação no processo de fosforilação oxidativa (Camargo; Alonso, 2006); e
- Alteração da atividade osmorregulatória e circulatória, reduzindo o funcionamento dos processos metabólicos do fígado e dos rins (Arillo *et al.*, 1981).

O grau de toxicidade da amônia pode ser influenciada por diferentes fatores, incluindo a forma química da amônia, o pH, a temperatura e OD da água (Araújo *et al.*, 2021), assim como o período de exposição e o estágio de vida dos animais (Levit, 2010).

O nível de amônia e a toxicidade num ambiente aquático dependem do pH e da temperatura da água, pois um aumento destes fatores representa um incremento deste composto como se apresenta na Figura 3 (Araújo *et al.*, 2021). Sendo que a proporção de NH_3 aumenta dez vezes por cada acréscimo por unidade do pH e aproximadamente duas vezes para cada aumento de 10°C na temperatura na faixa de $0-30^\circ\text{C}$ (Us Epa, 2013).

Figura 3 - Teor das diferentes formas químicas da amônia em variação do pH a 25°C



Fonte: Adaptado de Us Epa (2013).

Assim mesmo, dependendo do grau de exposição, os efeitos da amônia nos organismos aquáticos podem apresentar-se na forma crônica ou aguda, mesmo em quantidades mínimas, danifica as brânquias e outros tecidos.

A condição aguda afeta principalmente o sistema nervoso central, ocasionando "intoxicação por amônia", gerando convulsões e até a morte letal dos animais (Randall; Tsui, 2002). Esse tipo de toxicidade prejudica o influxo de Na^+ , devido à redução de prótons no neurotransporte, pois ocorre a substituição de K^+ por NH_4^+ , alterando drasticamente a recuperação do potencial de ação e, portanto, afetando o metabolismo da glutamatose nas sinapses (Parvathy *et al.*, 2022).

Os efeitos crônicos, se refletem num período prolongado da exposição à amônia, levando a diminuição dos índices de crescimento, à alteração do processo metabólico, à maior suscetibilidade a qualquer agente patogênico, danos nas brânquias, resistência ao manuseio rotineiro e várias alterações fisiológicas (Ip; Chew, 2010).

Por outra parte, Ali (2012) e Khater *et al.* (2021) consideram que no SRA um teor baixo de OD ocasiona estresse nos peixes, deficiência no bio-filtro ou perdas produtivas significativas, enquanto à amônia em concentrações elevadas, ocasiona redução da sobrevivência, do crescimento que pode terminar na mortalidade total do lote dos organismos em cultivo (Urbinati; Carneiro, 2004).

Em vista disso, assegurar uma produção satisfatória depende em grande parte, da previsão dos parâmetros de qualidade de água, sendo que se torna em um método para estabelecer os índices de produtividade dos peixes e converte-se numa ferramenta importante para a avaliação do sistema aquícola (Khater *et al.*, 2021).

A partir de um balanço de massa, é possível aplicar critérios e fundamentos de design para o fluxo de água no sistema piscícola, e aplicar uma avaliação mais rigorosa face a eficiência do tratamento adotado para as características específicas do efluente (Martins, 2018).

Lawson (1995) sugere que o balanço de massa para um sistema de recirculação pode ser efetuado, determinando as seguintes considerações: (a) Indicar os limites do sistema de cultivo; (b) realizar um reconhecimento dos fluxos de água que ultrapassam os limites para os diversos parâmetros; (c) deve-se definir as variáveis a serem equilibradas; e (d) estabelecer os processos que afetam o balanço de massa dentro da margem do sistema. Assim, à Equação 1 apresenta um balanço de massa para um sistema de cultivo em condições de estado não estacionário:

$$Q_1 C_2 + Q_0 C_0 + P = Q_0 C_1 + C_1 Q_1 \quad (1)$$

Na qual:

C_0 , C_1 e C_2 : Corresponde às concentrações (mg/L) do parâmetro X (amônia, CO_2 , nitrogênio total, sólidos totais...) que atravessam o volume de controle.

Q_0 : Vazão (m^3/dia) que passa pelo tanque de criação dos peixes.

Q_1 : Água em recirculação (m^3/dia)

P : Taxa de produção (kg/dia)

Como é argumentado por Timmons e Ebeling (2010), para aplicar um balanço de massa num sistema de produção aquícola é imprescindível aplicar critérios operacionais principalmente relacionados aos aspectos citados em seguida:

- Local de instalação do sistema de criação (altitude, temperatura, topografia do solo);
- Características das unidades de cultivo como o volume dos tanques e a vazão de design;
- Espécie piscícola e às variáveis produtivas em termos de: peso, etapa de cultivo, biomassa, taxa alimentar, frequência alimentar e tipo de ração a subministrar; e
- Parâmetros físico-químicos tais como: temperatura, OD, SST, nitrogênio amoniacal total (NAT), NO_3^- , NO_2^- , e CO_2 , conforme os valores ótimos para o desenvolvimento da espécie de produção em condições de cultivo.

3.5.2 Tratamento de efluente de piscicultura com SRA

A produção de proteína de origem animal tem o desafio de aumentar o rendimento por meio do uso eficiente da água, segundo Mungkung *et al.* (2014) globalmente a aquicultura utilizou 201 km^3 de água doce em 2010, e espera-se que que em 2050 incremente esse volume para 469 km^3 . Ademais, a matéria orgânica, o nitrogênio e o fósforo da ração utilizada para a alimentação dos peixes, são convertidos em energia, biomassa de peixe e produtos residuais, o material residual

em grande concentração no meio aquático geram grandes impactos que frequentemente deve ser quantificado para aplicar um tratamento (Van Rijn, 2013).

Nesse quadro, os sistemas de recirculação já implementados na aquicultura podem obter maior rendimento de produção por volume de água, bem como opções para a purificação e reutilização do efluente, mantendo a qualidade da água para o cultivo das espécies aquáticas (Timmons; Ebeling, 2010)

Um dos compostos com maior concentração num sistema de aquicultura é o amônio, como resultado dos processos metabólicos dos organismos de cultivo, por isso é imperativo que seja convertido na forma não tóxica do nitrogênio, o nitrato, por meio da nitrificação, que geralmente é realizado no SRA mediante biofilmes nitrificantes suspensos em um meio pelo qual a água pode passar, antes que o recurso seja recirculado ou reutilizado (Losordo; Delong, 2015; Costigan, 2022).

Com respeito ao fósforo, os peixes precisam de fósforo suplementar na ração, uma vez que ele não está presente em níveis elevados nas matérias-primas da ração, assim qualquer forma de fosfato será excretada, o que pode prejudicar ao ambiente por meio da eutrofização. Portanto, o fósforo deve ser adequadamente removido do efluente antes do descarte ou posterior uso (Lazzari; Baldisserotto, 2008).

Vários resultados foram relatados em relação à eficiência em termos de remoção de nutrientes quando um sistema de recirculação é implementado, Eding *et al.* (2009) conseguiram ótimos desempenhos com SRA, equipado com reator de fluxo ascendente para desnitrificação no cultivo de Tilápia, atingindo remoções de 81% para nitrogênio, 59% para DQO, 30% para CO₂ e 58% para sólidos dissolvidos (SD).

Um sistema de recirculação que utilizou um reator de leito fluidizado e tecnologia de células imobilizadas, atingiu uma remoção entre 80-90% para NAT e por acima de 80% para o caso de nitrito (Peirong; Weig, 2011).

Uma avaliação efetuada por Lepine *et al.*, (2018) em uma instalação de produção de SRA com biorreator, obtiveram eficiências mínimas e máximas de remoção de nitrogênio de aproximadamente 49 e 71%, as taxas anuais de 6,06 e 11,75 kg de NO₃⁻/m³/ano, em tempos de detenção hidráulica (TDH) de 20 e 24 horas, respectivamente.

Por outro lado, Bregnballe (2022) afirmou que um sistema de recirculação com filtros mecânicos de 40, 60 e 90 microns, pode alcançar uma faixa de 45-85% para remoção de fósforo total, entre 15-32 % de nitrogênio total e 50-90% de remoção de sólidos suspensos totais.

Dessa forma, um SRA bem gerenciado não está associado a processos de poluição e de eutrofização, devido à extração e filtragem da concentração nutricional proveniente de cultivo de espécies aquícolas, pois os lodos provenientes dos filtros num sistema de recirculação podem possuir mais de 2% de nitrogênio, 3% de fósforo e 2% de potássio e alguns micronutrientes, que mediante mineralização ou compostagem (gestão de resíduos) podem ser reaproveitados na agricultura e hidroponia (Lopes *et al.*, 2020).

Assim, a possibilidade de eutrofização proveniente de SRA está entre 26-38% menor do que em sistema de fluxo contínuo (D'orbcastel; Blancheton; Aubin, 2009), e 40% menor do que sistema de tanques-rede (Ayer; Tyedmers, 2009).

Os SRA se convertem em uma técnica de cultivo biosseguro, pois, permitem maior controle da qualidade da água, evitando a contaminação ambiental através de eliminação da grande fração de compostos que resultam ser altamente contaminantes para um corpo hídrico.

3.5.3 Rendimento produtivo de Tilápia em SRA

Com todas as vantagens que apresentam os SRA, ainda devem ser superados os desafios sociais, econômicos e tecnológicos, para ser implementados no mundo inteiro, com tudo isso, a contribuição em termos produtivos como sistema de cultivo é representativa, a Tabela 2 evidencia alguns resultados obtidos em diversos sistemas de recirculação para o cultivo de Tilápia.

Tabela 2 - Produtividade obtida em SRA para o cultivo de Tilápia

Espécie de cultivo	Densidade de estocagem	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Taxa de crescimento absoluto (g/d/peixe)	Biomassa total final	Tempo de estudo
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^a	1,2 kg/m ³ (60 peixes/m ³)	20,0	500,0	2,66	591,62 kg	180 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>); (9 tanques de 1,2 m ³) ^b	0,84 kg/m ³ (400 peixes/m ³)	2,1	68,8	0,96	46,4 kg/m ³	60 dias
Tilápia do Nilo; (3 tanques de 0,06 m ³) ^c	20 peixes/tanque	258,9	317,0	1,49	-	39 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^d	0.052kg/m ³ 20 peixes/m ³	2,6	344,0	3,10	6,8 kg/ m ³	112 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^e	0,052 kg/m ³ (305 peixes/m ³)	0,17	11,3	0,18	3,5 kg/m ³	63 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>); (9 tanques de 0,06 m ³) ^f	3,6 kg/m ³ (8 pexes/tanque)	26,7	123,9	1,74	-	56 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>); (3 tanques de 0,2 m ³) ^g	0,376 kg/m ³ (8 peixes)	47,1	91,6	1,07	3,51 kg/m ³	42 dias

Fonte: Adaptado de ^aSoto *et al.* (2010); ^bGullian-Klanian; Arámburu-Adame (2013); ^cMota *et al.* (2015); ^dSri-Uam *et al.* (2016); ^eFleckenstein (2018); ^fObirikorang *et al.* (2019); ^gMedina *et al.* (2022).

3.6 REATOR DE BIOFILME AERADO EM MEMBRANA (MABR)

Descreve-se o MABR como um reator biológico, desenvolvido como uma forma avançada para o tratamento de águas residuárias, segundo Li *et al.* (2023) este tipo de tecnologia consiste em uma membrana permeável ao oxigênio, formando um

biofilme fixado na zona superficial da membrana, que mediante processos de degradação de poluentes por intervenção bacteriana tratam o efluente (Li *et al.*, 2015).

Precisamente, as membranas são o componente principal que atua como meio para fixar o biofilme e cuja principal função é o suprimento direto do ar difuso no biofilme (Duvall, 2017), originando uma área interna com a presença de oxigênio e uma externa com mínimas concentrações de oxigênio no biofilme, albergando uma grande variedade de nichos ecológicos, cuja função essencial é concomitante com a atividade microbiológica para os posteriores processos nitrificantes (He *et al.*, 2021).

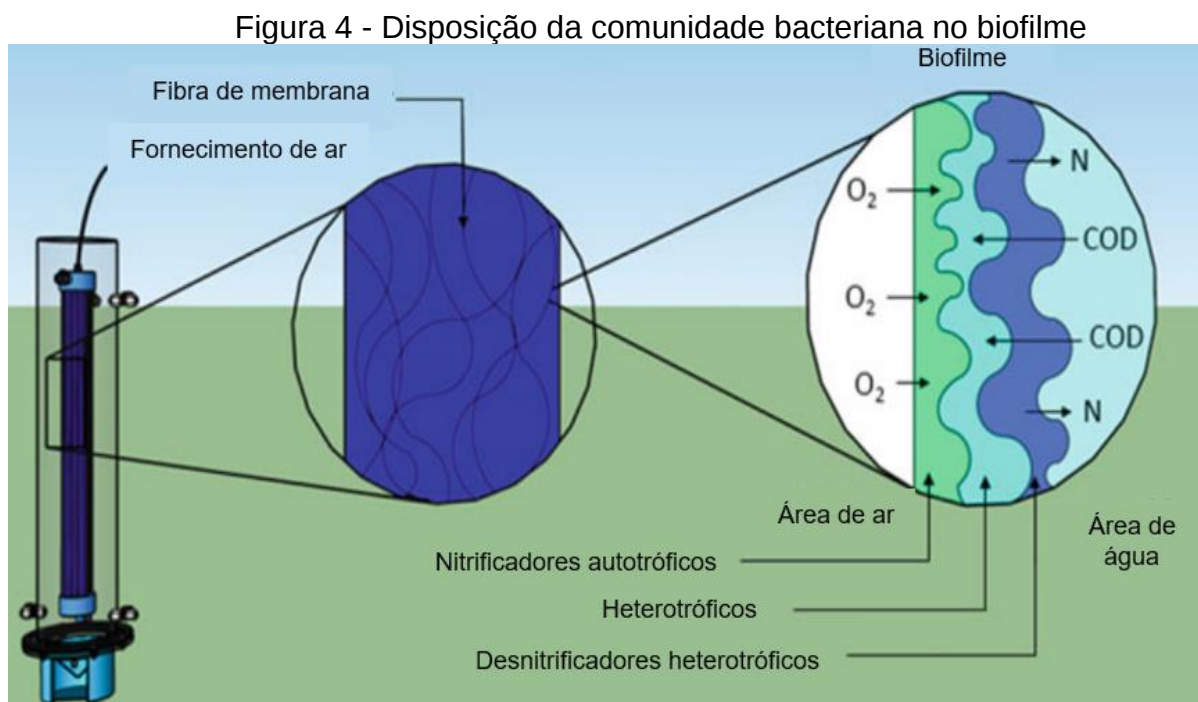
A dinâmica que ocorre na tecnologia MABR depende sobretudo da composição microbiana, o biofilme se converte num ambiente favorável para os microrganismos (Shanahan; Semmens, 2006). Pode ser formado naturalmente, para processos de remediação de águas superficiais ou para tratamento de esgoto mediante a adição de lodo ativado ao reator (Wang *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2016) a composição bacteriana está conformada especialmente por comunidades mortas e, uma mistura entre mortas e vivas, bem como substâncias poliméricas extracelulares (SPE) secretadas (Zhou *et al.*, 2022).

Conforme apresentado na Figura 4, a camada interna de biofilme que é adjacente a superfície da membrana está composta principalmente por bactérias nitrificantes (nitrificação), assim o oxigênio se torna o parâmetro essencial no seu desenvolvimento, enquanto as bactérias desnitrificantes (desnitrificação) estão mais longe da membrana, local no qual as condições são anóxicas apropriadas para seu crescimento. Adicionalmente, há um conjunto de microrganismos heterótrofos que aproveitam os constituintes de carbono para efetuar os processos de degradação dos poluentes (Karna; Visvanathan, 2019).

Mesmo que os MABR estejam em seu estágio inicial de pesquisa como mecanismos úteis na remoção de compostos poluidores das águas, exibem algumas vantagens como é exposto a seguir:

- O efluente gerado com boa qualidade reflete à elevada remoção de compostos contaminantes (Sathyamoorthy *et al.*, 2019);
- Processamento eficiente do carbono, reduzindo a emissão do mesmo (Mehrabi; Houweling; Dagnew, 2020; Li *et al.*, 2023); alcançando rendimentos menos susceptíveis a carga carbonácea, toda vez que a comunidade bacteriana habita principalmente na zona interna do biofilme (Houweling; Daigger, 2019).

- Eficiências cerca do 100% na transferência de oxigênio, com a ausência de bolhas, se minimiza o consumo energético durante a operação do sistema (Heffernan *et al.*, 2017); e
- Se consegue uma taxa de nitrificação (TN) na faixa entre 1,0-3,0 g NH_4^+ /m²/d, que é muito maior se comparada com outros tipos de reatores (Syron; Casey, 2008; Côté *et al.*, 2015).

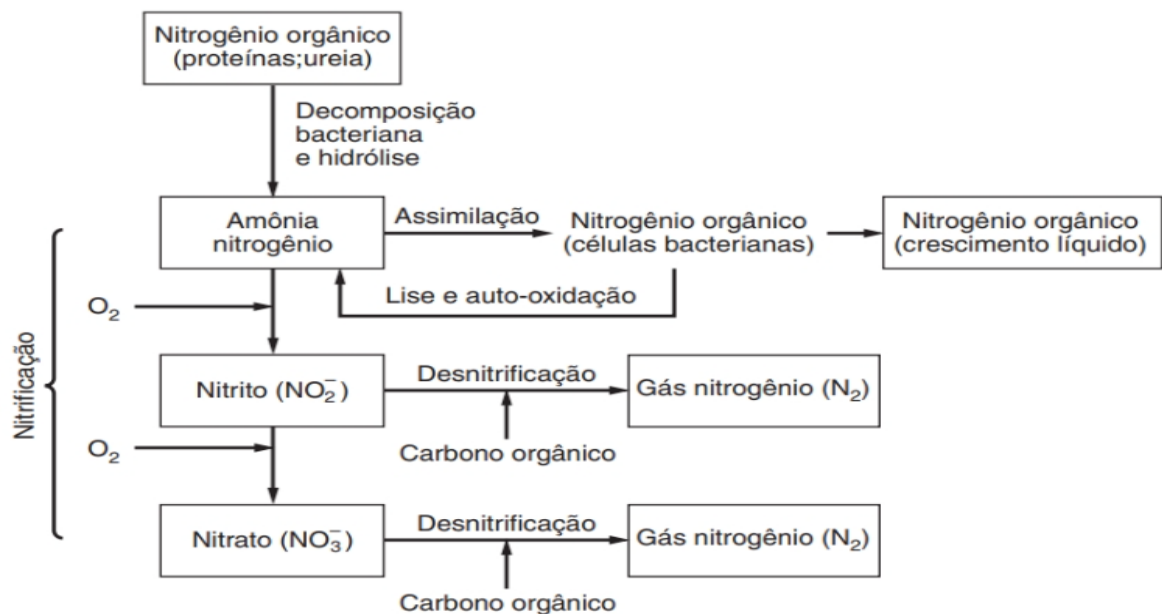


Fonte: Adaptado de Karna; Visvanathan (2019).

3.6.1 Processos de nitrificação e desnitrificação

O nitrogênio abrange múltiplas formas, diante disso existem abundantes transições que podem-se apresentar em um tratamento, sendo o nitrogênio amoniacal e orgânico, as formas mais prevalentes na composição de um efluente, na Figura 5 está pormenorizada essa estrutura (Metcalf; Eddy, 2016).

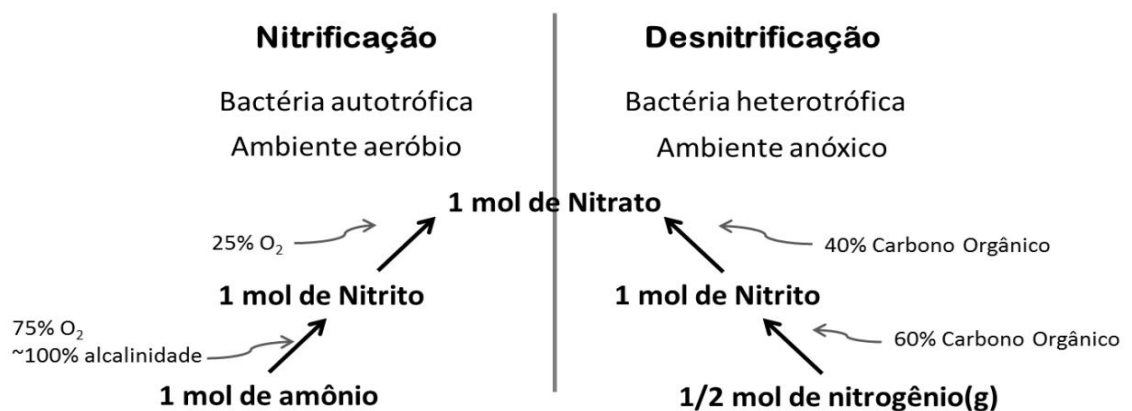
Figura 5 - Processo de transformação de nitrogênio em mecanismos de tratamento biológico



Fonte: Adaptado de Metcalf; Eddy (2016).

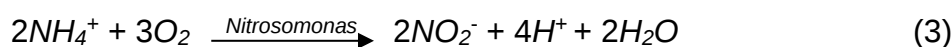
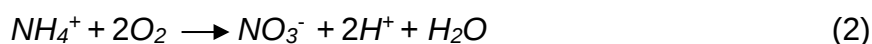
Em águas residuárias o desenvolvimento da remoção do nitrogênio é efetuada mediante processos aeróbios e anóxicos representados na Figura 6, o ciclo está composto pela sucessão dos seguintes métodos: amonificação do nitrogênio orgânico, assimilação, nitrificação do nitrogênio amoniacal e a desnitrificação (Von Sperling; Verbyla; Oliveira, 2020).

Figura 6 - Processos de nitrificação e desnitrificação, requerimentos e características



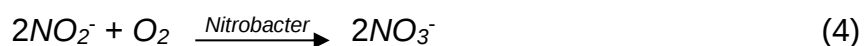
Fonte: Adaptado de Metcalf; Eddy (2016).

Segundo Bassin (2011) a nitrificação é entendida como a etapa limitante do processo convencional de remoção de nitrogênio, a reação geral de nitrificação é mostrada pela Equação 2. O processo ocorre na presença de oxigênio é realizado pela ação de dois grupos de bactérias, uma primeira comunidade bacteriana oxidadora de amônia (BOA), está encarregada pela oxidação da amônia a nitrito mecanismo conhecido como nitrificação, na Equação 3 apresenta-se a cinética deste processo (Daims *et al.*, 2015; Metcalf; Eddy, 2016).



Neste primeiro estagio da nitrificação, às *Nitrosomonas* (aeróbias) são os microrganismos responsáveis pela oxidação da amônia, para conversão energética e de crescimento, no entanto, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio* e *Nitrosolobus* podem também atuar neste tipo de oxidação (Ahn, 2006; Metcalf; Eddy, 2016).

A continuação, ocorre a nitratação, através de bactérias oxidadoras de nitrito (BON) responsáveis pela conversão de nitrito em nitrato (Equação 4) (Daims *et al.*, 2015; Metcalf; Eddy, 2016).

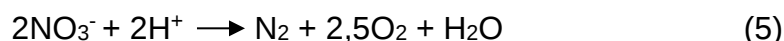


Na segunda fase da nitrificação, vários gêneros bacterianos estão envolvidos como: *Nitrospira*, *Nitrospina*, *Nitrococcus* e *Nitrocystis*, ainda assim às *Nitrobacter* vem sendo o grupo majoritariamente utilizado, que além do nitrito, também tem a capacidade de utilizar compostos orgânicos para seu desenvolvimento (Iwa, 2000; Ahn, 2006).

Metcalf e Eddy (2003) asseguram que são necessários 4,57 mg de O_2 para oxidar a amônia a nitrato, e 3,43 mg de O_2 para oxidar 1 mg de NH_4^+ e 1,14 mg de O_2 para oxidar 1 mg de NO_2^- .

A desnitrificação biológica de acordo com Timmons e Ebeling (2010), consiste na redução de nitrato ou nitrito em nitrogênio (N_2), mediante comunidades bacterianas aeróbicas facultativas, heterotróficas e autotróficas, as condições anóxicas são o fator mais relevante para que se consiga este processo biológico.

A reação geral de desnitrificação é apresentada a seguir pela Equação 5:



Para Metcalf e Eddy (2016) diversos gêneros microbacterianos heterotróficos podem atuar na desnitrificação como: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chromo-bacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Halobacterium*, *Hypomicrobium*, *Methanomonas*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Propionibacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodopseudomonas*, *Spirillum* e *Vibrio*.

A desnitrificação biológica é uma fração integral dos processos de remoção biológico da série do nitrogênio em sistemas de tratamento de efluentes, sem esses mecanismos biológicos, entre 10 e 30% de nitrogênio pode ser encontrado num tratamento devido a síntese de biomassa produzida em função da remoção de DBO. (Metcalf; Eddy, 2016).

Como a desnitrificação dá-se em condições anóxicas, e em ambientes com elevadas concentrações de carbono e compostos inorgânicos nitrogenados, tais características específicas existem na maioria dos sistemas de recirculação para aquicultura, criando um entorno apropriado para ocorrência desse processo (Van Rijn; Tal; Schreier, 2006).

A Tabela 3 expõe diversos fatores que devem ser considerados para atingir as taxas de nitrificação e desnitrificação num tratamento biológico.

Tabela 3 - Valores de parâmetros de desempenho para os processos de nitrificação e desnitrificação

Fator	Faixa para Nitrificação	Faixa na Desnitrificação
Alcalinidade (mg CaCO ₃)	Consome 7,00 - 7,14 ^{a, b}	Produz: 3,57 ^b
Concentração de OD (mg/L)	>2,0 ^d	<1,0 ^e
pH	7,0 - 8,6 ^{b, e}	7,0 - 8,0 ^b
Temperatura (°C)	30,0 – 36,0 ^{b, c}	> 25,0 – 30,0 ^e

Fonte: Adaptado de ^aCrites; Tchobanoglous (2000), ^bMetcalf; Eddy (2003), ^cObaja *et al.* (2003), ^dDaniel *et al.* (2009). ^eVon sperling; Verbyla; Oliveira (2020).

3.6.2 Tratamento de efluente de piscicultura com MABR

Freddi (2019) avaliou a eficiência do tratamento do efluente da produção intensiva de Tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em um SRA, associado a um Decantador de Coluna (DC) e um Reator de Biofilme Aerado em Membrana, com uma densidade de estocagem inicial de $12,75 \text{ kg/m}^3$, um MABR formado por dois tubos concêntricos em PVC, com capacidade de 120L, além disso tinha disposto um feixe de membranas de silicone no tubo interno, as quais são aeradas por um soprador, também o meio líquido aerado mediante um difusor disposto na base do reator, alguns dos parâmetros monitorados durante um período de 74 dias, indicou remoções médias de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitritos, nitratos e ST na ordem de 44%, 35%, 47%, 22% e 21,57%, respectivamente.

Por sua parte Almeida *et al.* (2023) continuou a linha de trabalho da anterior pesquisa, estimando a eficiência no tratamento de efluente de piscicultura mediante análise de parâmetros como: pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sólidos totais, fósforo total e demanda química de oxigênio, nesta avaliação se conseguiu remover cerca de 50% para turbidez, 41% para DQO, 20% de NT, 40% de nitrito, 13%, para nitrato, 35% de nitrogênio amoniacal, ST de 11% e 2% para PT.

Cerqueira (2021), utilizou um sistema de recirculação para o cultivo de Tilápia equipado com DC e MABR para determinar a eficiência no tratamento do efluente, conseguindo a remoção média de alguns parâmetros do efluente na ordem de 68% para DQO, 22,2% de NT, 33,72% para ST.

Pardo (2022) com o propósito de determinar a eficiência na remoção de nutrientes e matéria orgânica operou um SRA constituído por um tanque de cultivo com Tilápia com $13,75 \text{ kg/m}^3$ de densidade, um DC e MABR, dos parâmetros analisados, os resultados mostraram remoções médias de ST, nitrato, DQO e DBO de 9 %, 26 %, 43 %, e 40 % respectivamente.

3.7 SISTEMA EM AQUAPONIA (SA)

Aquaponia vem do latim, no qual “aqua” significa água, e “ponos”, trabalho, referindo-se assim, a um sistema que relaciona duas áreas diferentes de produção, a

hidroponia e aquicultura em um ciclo fechado de recirculação do recurso hídrico (Hundley; Navarro, 2013).

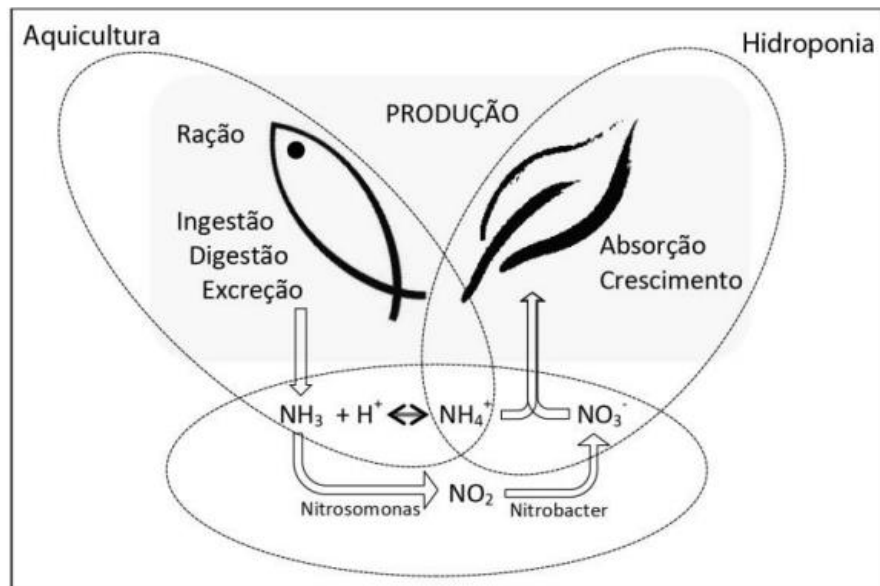
O SA é a incorporação do sistema de recirculação da aquicultura e da hidroponia que, por meio de processos de nitrificação, desenvolve basicamente uma relação simbiótica entre peixes, plantas e bactérias; o processo consiste em que os nutrientes, excretados diretamente pelas espécies aquáticas ou os produtos das reações microbianas, sejam absorvidos pelas plantas cultivadas em hidroponia. Numa unidade de aquaponia a água proveniente da piscicultura circula através de filtros, de leitos de cultura de plantas e depois é devolvida à cultura dos organismos de aquicultura (Somerville *et al.*, 2014).

Existe um sistema de filtragem, os resíduos dos peixes provenientes de alimentos não consumidos e fezes são removidos da água, primeiro através de um filtro mecânico que remove os resíduos sólidos e depois através de um bio-filtro que processa os resíduos dissolvidos (Somerville *et al.*, 2014).

Carneiro *et al.* (2015) indicam que o fornecimento da ração para os peixes é constituído como o componente fundamental para a aquaponia. Nos processos de excreção efetuados pelos peixes, o alimento na forma de fezes se torna rapidamente em nutrientes que são absorvidos pelas espécies vegetais, necessários para seu crescimento.

Na Figura 7 é apresentado como a aquaponia tem um sistema de fluxo constante de nutrientes entre as plantas e os peixes, mediante os ciclos biológicos naturais, como a nitrificação, processo executado por bactérias nitrificantes, as *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, convertem NH_3 , que é a forma de nitrogênio tóxica para os peixes, em NO_2^- e depois em NO_3^- , disponibilizando as substâncias menos tóxicas que podem ser aproveitadas pelas plantas, conseqüentemente a filtragem da água ocorre, assim retornará para o sistema de criação de espécies ícticas, assegurando condições ótimas para seu cultivo em confinamento (Rakocy, 2012; Carneiro *et al.*, 2015).

Figura 7 - Interação entre os componentes em sistemas de aquaponia



Fonte: Carneiro *et al.* (2015).

Evidentemente, a aquaponia otimiza espaços e recursos naturais, mediante o consumo mínimo de água e menor produção de resíduos. O sistema em hidroponia, conjugado com a produção de peixes, tem consumo de água reduzido em até 90% comparado com unidades convencionais de cultivo (Hundley; Navarro, 2013). Portanto, os impactos ao meio ambiente, principalmente aos corpos d'água, se reduzem consideravelmente mediante o aproveitamento eficiente do efluente proveniente da aquicultura (Embrapa, 2015).

3.7.1 Qualidade de água no sistema de aquaponia

A água é o elemento vital de um sistema de aquaponia, mediante a recirculação cada um dos macros e micronutrientes são transportados para as plantas e a qualidade se considera essencial para o desenvolvimento da espécie aquícola. Portanto, Somerville *et al.* (2014) afirmam, que são cinco os parâmetros principais que devem ser monitorados neste sistema, tais como: OD, pH, temperatura, nitrogênio total (NT), NH_3 , NO_2^- e NO_3^- , pois cada um tem um impacto sobre os três organismos da unidade (peixes, plantas e bactérias).

A Tabela 4 apresenta as faixas apropriadas para garantir a qualidade da água num sistema de aquaponia.

Tabela 4 - Parâmetros de qualidade de água para peixes de água tropical ou fria, plantas e bactérias nitrificantes

Espécie	Temperatura (°C)	pH	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	OD (mg/L)
Peixes de águas tropicais	22-32	6-8,5	<3	<1	< 400	4-6
Peixes de água fria	10-18	6-8,5	<1	<0,1	< 400	6-8
Vegetais	16-30	5,5-6,5	<30	<1	-	>3
Bactérias	14-34	6-8,5	<30	<1	-	4-8

Fonte: Adaptado de Somerville *et al.* (2014).

3.7.2 Tipos de técnicas em aquaponia

A produção aquapônica apresenta subdivisões conforme as formas de cultivo dos vegetais, vários pesquisadores têm descrito diferentes métodos de cultivar vegetais em hidroponia conforme o avanço e aprimoramento das técnicas usadas e adaptadas em aquaponia, assim foram apresentadas como: cultivo em águas profundas ou flutuantes, técnica de filme de nutrientes, técnica do leito de mídia, técnica de irrigação por gotejamento, técnica de fluxo e refluxo, sistema “wick”, sistema de cultivo vertical e aeroponia (Patillo, 2017; Dubey; Nain, 2020; Jan *et al.*, 2020; Velazquez-Gonzales *et al.*, 2022).

Embora, cada método representa uma taxa de rendimento viável, é favorável para diferentes cenários de produção, e foram recentemente objeto de pesquisa, Hussain *et al.* (2014) afirmaram, que essas técnicas derivam de dois grandes grupos mais comumente utilizadas na aquaponia, primeiro num ambiente de cultivo sem substrato, que incluem a técnica de filme de nutrientes (NFT) e a técnica de águas profundas (DWC); e um segundo grupo conformado por sistemas que utilizam um meio em determinada concentração, garantindo a exposição das raízes ao meio aquático, além de atuar na fixação de microrganismos e na assimilação de nutrientes pelos vegetais, destaca-se assim a técnica de leito de mídia ou camas de substratos (Lima *et al.*, 2019).

A técnica de filme de nutrientes ou fluxo laminar de nutrientes, universalmente conhecida como NFT, envolve o cultivo de plantas mediante a circulação de uma

solução nutritiva, que se apresenta como uma fina capa, ao qual as raízes estão expostas, sem o uso de substrato (Van Os; Gieling; Lieth, 2008).

O cultivo em águas profundas derivado do inglês Deep Water Culture ou floating raft cujas siglas são DWC (Patillo, 2017; Yeng; Zheng, 2019), de acordo com Nursyahid *et al.* (2021), é uma técnica que fornece os nutrientes diretamente para as raízes do vegetal, que geralmente flutuam no meio aquático, sendo necessário neste sistema o oxigênio contínuo para evitar problemas com estagnação.

A técnica de meio ou camas de substratos (do inglês the Media Bed Technique – MBT) ou usada inicialmente como um leito de cultivo de substratos, podendo ser usado substrato semisseco (Gravel bed) (Lennard; Leonard, 2006), neste tipo de unidades, o meio para sustentar as raízes das plantas (frequentemente utilizado mídia, brita, seixo, restos de cerâmica ou argila expandida) atua como filtro mecânico e biológico, para o crescimento dos vegetais, é majoritariamente empregado a pequena escala (Somerville *et al.*, 2014).

3.7.2.1 Nutrient Film Technique (NFT)

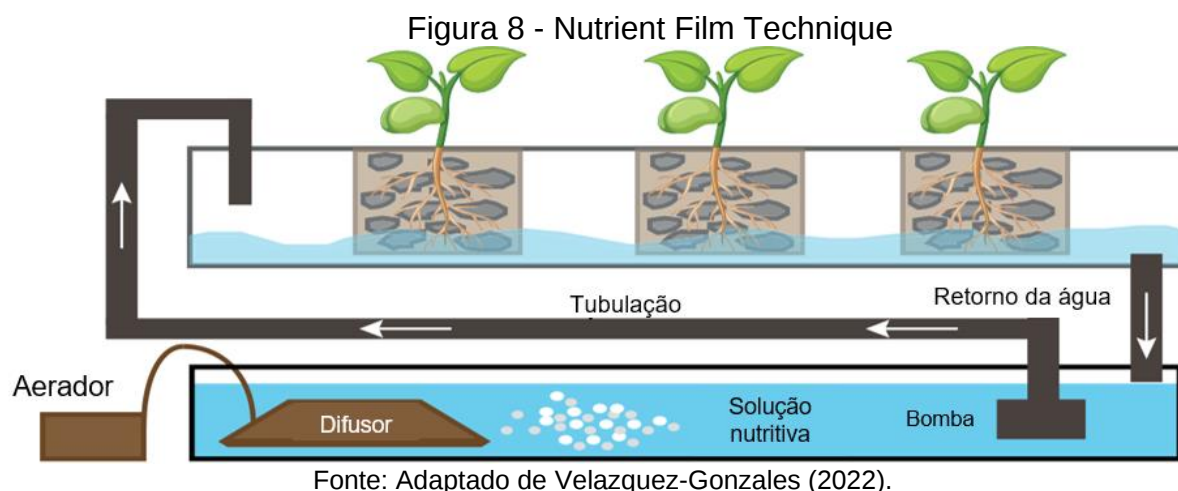
A técnica do fluxo laminar de nutrientes (Ver Figura 8) trata-se de canais dispostos com uma inclinação de cerca de 2 a 3%, é um método que consiste no contato da porção radicular com uma fina película de solução com nutrientes e a água de aproximadamente 1/4 - 1/2 polegada, e de 5-10 mm de profundidade, mediante circulação do líquido num comprimento determinado pelo design do sistema, as raízes dos vegetais ficam expostos tanto a meio líquido, como ao ar do ambiente (Patillo, 2017).

As principais vantagens do NFT são: perdas mínimas de água por evaporação, criação de diversas ervas vegetais e plantas de folhas verdes, melhor método para colheita, uso de volume mínimo de água para o cultivo e o espaçamento dos tubos pode ser ajustado conforme com o projeto (Somerville *et al.*, 2014).

Como a técnica NFT está relacionada com a recirculação da solução nutritiva para obter uma produção agrícola mais limpa, e está sendo predominantemente reconhecida, uma grande variedade de vegetais são frequentemente cultivadas, por exemplo é ideal para plantas de folhas e ervas, de curto ciclo de cultivo, como alface, cultivo já adaptado num nível comercial (Sharma *et al.*, 2018), e os sistemas NFT

maiores que são apropriados para produção de vegetais de longo prazo, como pepinos e tomates (Sheikh, 2006).

Este tipo de sistema requer volumes menores de água e é um dos mais compreendidos e utilizados na produção hidropônica num nível mundial, pois já foi ajustado a pequena e grande escala (Alipio *et al.*, 2019).



3.7.2.2 Composição da solução nutritiva

Baiyin *et al.* (2021) ressaltaram a importância da concentração nutritiva em hidroponia convencional pois está diretamente relacionada com o crescimento das plantas, devendo não só conter os nutrientes minerais requeridos pelo vegetal, também o oxigênio e o fluxo da solução nutritiva que promove a difusão de íons nutrientes e aumenta a energia cinética (pressão dinâmica) disponível e indispensável para as raízes das plantas.

A absorção nutricional depende principalmente da condutividade elétrica, visto que proporciona à concentração de diversos íons, e que constituem o potencial osmótico da solução nutritiva (Gondim *et al.*, 2010).

As condições de CE dependendo das exigências do vegetal, podem repercutir na absorção de água, produzir deficiências nutricionais (Taiz; Zeiger, 2004), provocar efeitos na fração radicular (Gondim *et al.*, 2010), queima da borda nas folhas (Shannon, 1997), prejudicar o crescimento, influencia na biomassa fresca (Junior *et al.*, 2008; Dalastra, 2017), gerar acúmulo de matéria seca, e efeitos sobre a produtividade final do cultivo (Dalastra, 2017). A Tabela 5 evidencia a proporção de

alguns macro e micronutrientes para um sistema de hidroponia e um efluente de sistema de SRA conforme é relatado por diversos autores.

Tabela 5 - Concentração nutricional para o sistema de hidroponia e aquaponia

Elemento mineral	Solução nutritiva geral	Solução hidropônica para alface	Efluente SRA com de Tilápia^e	Efluente de SRA^f
Nitrogênio (mg/L)	200-236 ^a ; 260 ^d	190 ^c ; 266 ^b	-	-
Fósforo (mg/L)	60 ^a ; 120 ^d	50 ^c ; 62 ^b	5	29,11
Potássio (mg/L)	300 ^a ; 405 ^d	210 ^c ; 430 ^b	13	92,27
Cálcio (mg/L)	170-185 ^a ; 230 ^d	180 ^b ; 200 ^c	25	40,78
Magnésio (mg/L)	50 ^a ; 60 ^d	24 ^b ; 50 ^c	7	3,40
Enxofre (mg/L)	68 ^a	36 ^b ; 66 ^c	34	34,95
Ferro (mg/L)	2,7 ^d ; 12 ^a	2,2 ^b ; 5,0 ^c	1,2	-
Cobre (mg/L)	0,03 ^d ; 0,1 ^a	0,15 ^c ; 0,05 ^b	-	135,98
Zinco (mg/L)	0,09 ^d ; 0,1 ^a	0,15 ^c ; 0,3 ^b	0,2	-
Manganês (mg/L)	1,5 ^d ; 2,0 ^a	0,3 ^b ; 0,5 ^c	0,1	-
Boro (mg/L)	0,3 ^a ; 1,5 ^d	0,3 ^{b, c}	-	-
Molibdênio (mg/L)	0,2 ^a ; 0,03 ^d	0,05 ^{b, c}	-	45

Fonte: Adaptado de: ^aCooper (1979); ^bSonneveld; Voogt (2009); ^cResh (2012); ^dBaiyin *et al.* (2021); ^eJordan *et al.* (2018); ^fGoddek; Vermeulen (2018).

3.7.3 Tipos de vegetais utilizados em aquaponia

No ciclo aquapônico os vegetais jogam um papel preponderante, pois têm a capacidade de conseguir o crescimento aproveitando as concentrações de NO_3^- e NH_3 do efluente de piscicultura. Desde um cenário produtivo e comercial, as plantas devem gerar o maior rendimento por unidade de área cultivada (Adhikari *et al.*, 2020).

Em vista disso, em aquaponia é necessário manter as concentrações de nutrientes na faixa ótima para o vegetal, e é importante manter uma densidade de estocagem de peixes adequada, ainda assim é fundamental fazer a seleção da espécie vegetal para alcançar a qualidade da água no sistema (Buzby; Lin, 2014).

Hundley e Navarro (2013) asseguram que as espécies vegetais que são utilizadas na hidroponia podem ser adaptadas a um sistema de aquaponia, considerando que geralmente o crescimento e desenvolvimento das plantas ocorre em valores de pH entre 5,5 e 6,5, além disso as raízes são capazes de tolerar diversas variações nas concentrações nutricionais do meio.

A Tabela 6 indica, o pH, temperatura e tipo de aquaponia que pode ser utilizado para algumas espécies de plantas.

Tabela 6 - Espécies vegetais utilizadas em sistemas de aquaponia

Espécie vegetal (nome comum)/ Nome científico	pH	Temperatura	Tipo de sistema de aquaponia	Referência
Manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i>)	5,5-6,5	20-25	MBT; NFT; DWC	(Somerville <i>et al.</i> , 2014; Stathopoulou <i>et al.</i> , 2018; Suáres-Cáceres <i>et al.</i> , 2021)
Alface (<i>Lactuca sativa</i>)	6,0-7,0	15-22	MBT; NFT; DWC	(Somerville <i>et al.</i> , 2014; Suáres-Cáceres <i>et al.</i> , 2021; Sterzelecki <i>et al.</i> , 2021).
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var. Roma)	5,5-6,5	22-26	MBT; DWC; NFT	(Somerville <i>et al.</i> , 2014; Suáres-Cáceres <i>et al.</i> , 2021)
Repolho (<i>Brassica oleracea</i>)	6,0-7,2	15-20	MBT	(Somerville <i>et al.</i> , 2014)
Continuação				
Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. italic)	6,0-7,0	13-18	MBT, NFT, DWC	(Somerville <i>et al.</i> , 2014; Suáres-Cáceres <i>et al.</i> , 2021)
Acelga (<i>Beta vulgaris</i> subsp. vulgaris)	6,0-7,5	16-24	MBT; NFT; DWC	(Somerville <i>et al.</i> , 2014)
Salsinha (<i>Petroselinum crispum</i>)	6,0-7,0	15-25	MBT; NFT; DWC	(Somerville <i>et al.</i> , 2014)
Espinafre (<i>Spinacia oleracea</i>)	5,6-7,3	27,5-28,8	-	(Somerville <i>et al.</i> , 2014)
Hortelã (<i>Mentha arvensis</i> L)	6,1-7,1	26,4-28,9	DWC	(Wahap <i>et al.</i> , 2010)
Cebolinha (<i>Allium schoenoprasum</i> L)	6,6-7,0	23-28	DWC	(Wonkiev <i>et al.</i> , 2018)

*MBT: Técnica de meio ou substrato; NFT: Técnica de filme de nutrientes; DWC: técnica águas profundas.

Fonte: Adaptado de Endut *et al.* (2010); Salam; Asadujjaman; Rahman (2016); Adhikari *et al.* (2020).

3.7.3.1 Alface (*Lactuca sativa*)

A alface (*Lactuca sativa*) é uma planta originária de clima temperado, pertence à família Asteraceae, conforma o grupo das hortaliças folhosas mais apreciadas e consumidas no mundo, destacando-se por sua grande relevância econômica em vários países como no Brasil (Sousa *et al.*, 2007).

Praticamente todas as cultivares de alface desenvolvem-se bem no período de crescimento vegetativo, e valores de temperatura elevadas aceleram o ciclo de cultivo (Henz; Suinaga, 2009).

A alface é considerada o vegetal mais produzido em sistemas de hidroponia devido principalmente a facilidade de manejo, curto ciclo de criação, facilidade produtiva, e por apresentar requisitos nutricionais mínimos (Laurett *et al.*, 2017). As cultivares deste vegetal que tem apresentado excelente desempenho produtivo na hidroponia são alface americana, lisa (cultivar Regina) e crespa (cultivar Brisa).

Como é descrito por Furlani *et al.* (2009) o ciclo total para a produção de hortaliças esta cerca dos 40 dias, tempo que compreende 4 períodos principais como: uma muda ou etapa inicial, a partir de semeadura e emergência (aparecimento da primeira folha), uma etapa de transplante que inicia com o surgimento da primeira folha até o estágio de aparecimento da quinta folha, uma terceira fase denominada intermediária e finalmente, a etapa definitiva de cultivo.

3.7.4 Espécies piscícolas utilizadas em aquaponia

Para escolher a espécie aquática para o cultivo em aquaponia, se deve levar em consideração a faixa de parâmetros de qualidade de água ideais para seu desenvolvimento, toda vez que grande parte do desempenho produtivo esta relacionado as concentrações da serie de nitrogênio na água, além disso a espécie escolhida precisa-se adaptar às elevadas densidades de estocagem e às técnicas de manejo utilizadas em confinamento (Sátiro; Neto; Delprete, 2018).

Ante o exposto várias espécies têm sido alvo de pesquisa na aquaponia como: a Tilápia (*O. niloticus*), o bagre-americano (*Ictalurus punctatus*), o catfish (*Rhamdia quelen*), o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), o tambaqui (*Colossoma macropomum*), Lambari-de-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) (Rakocy, 2007; Pinho *et al.*, 2021), a carpa comum (*Cyprinus carpio*), o bacalhau-do-rio-australiano (*Maccullochella peelii*),

o camarão de água doce (*Macrobrachium spp*) e o lagostim australiano (*Cherax spp*) (Araújo, 2015).

De acordo com Marengoni (2006) a Tilápia (*O. niloticus*) é o peixe mais estudado em sistemas de aquaponia, principalmente por ser uma espécie resistente, rústica, apresentar uma boa conversão alimentar, tolerar grandes densidades de estocagem, ter estabelecido um pacote tecnológico de cultivo, de reprodução, de melhoramento e de nutrição amplamente difundidos por todo o mundo, e por ter um destaque importante a nível comercial.

3.7.5 Rendimento de um sistema de aquaponia com Tilápia e alface

Embora que a aquaponia é uma proposta sustentável importante para o aproveitamento do efluente proveniente de piscicultura, e que despertou o interesse de vários produtores e pesquisadores, os sistemas implementados a grandes escala são poucos, em vista disso, o conhecimento das técnicas, assim como o rendimento em termos produtivos e nessa área estão sendo aprimorados, na Tabela 7, apresentam-se rendimentos produtivos para peixes e vegetais obtidos em vários projetos utilizando sistemas aquapônicos.

Entre as principais contribuições efetuadas por algumas pesquisas, destacam-se as seguintes:

- Primordial um período para o estabelecimento bacteriano nos bio-filtros do sistema aquapônico, para a concepção dos processos de nitrificação, porque levam a uma maior oxidação de amônia tóxica, resultando em altos desempenhos produtivos das espécies animais e vegetais (Stathopoulou *et al.*, 2018).
- Jordan *et al.* (2018) recomendaram a importância da escolha do substrato destinado para o leito de cultivo vegetal.
- Na criação de peixes, a alta temperatura influencia o comportamento dos organismos, ocasionando menor consumo de ração, refletido no incremento do resíduos orgânicos na água, reduzindo a quantidade de nutrientes e afetando a produção e o rendimento total (Bautista *et al.*, 2021).
- De acordo com Geisenhoff *et al.* (2016) o efluente proveniente da criação intensiva de Tilápia pode fornecer nutrientes suficientes para produção de

alface, não sendo necessário adição nutricional para obter o desenvolvimento da cultura.

- Para Somerville *et al.* (2014) a maneira mais bem-sucedida de equilibrar um sistema aquapônico é usar a proporção da taxa de alimentação, utilizando uma ração de 32% de proteína, precisa-se entre 40-50 g de ração/m²/dia e 20-25 plantas/m² (Suárez-cáceres *et al.*, 2021).
- Autores como Effendi; Wahyuningsih; Wardiatno (2017) sugeriram que é necessário 1 kg de peixes para 20 plantas de alface, proporção ideal para um sistema de aquaponia. Por sua vez Barbosa *et al.* (2020) afirmam que proporções de volume do tanque de peixes/cama de cultivo para os vegetais dever ser 1:1 (500 L:500 L) e 1:2 (500 L:1000 L) em uma densidade de estocagem de 4kg/m³, que são eficazes para o desempenho da Tilápia do Nilo e da alface num sistema de aquaponia.

A análise das bases continua com este tipo de sistemas alternativos, e embora as técnicas tenham sido implementadas em vários países, os esforços continuam para preencher certas brechas de conhecimento, e assim alcançar a eficiência e o progresso exponencial da aquaponia.

3.7.6 Perspectivas da aquaponia no Brasil

Apesar de que o uso das fezes e dejetos dos peixes como base para o cultivo de vegetais data há milênios com às civilizações antigas (Carneiro, 2015), no Brasil, Neto (2022) afirma que nas últimas décadas a implementação da aquaponia começou e de modo certo nos últimos anos que passou a ter relevância e interesse pelos pesquisadores e produtores no país, dessa forma o Brasil ainda está direcionando seus esforços para consolidar a técnica aquapônica (Sátiro; Neto; Delprete, 2018).

Os sistemas de aquaponia têm uma grande gama de possibilidades para superar primordialmente os desafios de sustentabilidade no setor piscícola e agrícola; justamente porque pode atingir altos rendimentos com o mínimo de nutrientes, usando volumes mínimos de água, relevante medida para otimizar os recursos, com a mínima descarga de compostos contaminantes nos corpos hídricos (Yep: Zheng, 2019).

Tabela 7 - Rendimento de peixes e vegetais em sistemas de aquaponia

Espécie de peixe/etapa de criação	Produção final	Tipo de sistema de hidroponia	Espécie vegetal	Produção vegetal	Tempo de avaliação
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)/ Alevinaje ^a	-	NFT com espuma flexível de poliuretano como substrato	Alface crespa (<i>L. sativa</i> cv. Verônica)	23,87 t/ha	-
Alevinos de Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^b	1,79 kg/m ³ TC=0.004 g/d	NFT	Alface romana (<i>L. sativa</i> cv. Longifolia)	0,044 kg/m ²	35 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>)/ Juveniles ^c	-	NFT com substrato fibra de coco com pedra brita N° 3	Alface crespa (<i>L. sativa</i> L. cv. Pira Verde)	39,90 t/ha; MF= 0,275 kg/planta	365 dias
Alevinos de Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^d	GP= 0,095 kg	NFT	Manjerição (<i>Ocimum basilicum</i>)	1,47 kg/0,7 m ²	55 dias
Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^e	90,6 kg/m ³	NFT	Alface americana (<i>L. sativa</i> cv. Salanova)	MF= 0,334 kg/planta	54 dias
Juveniles de Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^f	4,71 kg/m ³	MBT com leito de cascalho	Alface crespa (<i>L. sativa</i>)	1,62 kg/m ²	40 dias
Juveniles de Tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) ^g	1,5 kg	NFT	Alface (<i>L. sativa</i>)	1,08 kg/m ² MF = 0,056 kg/planta	36 dias
Alevinos de Tilápia vermelha (<i>Oreochromis sp</i>)	33,5 kg/m ³ 29,28 kg/m ³	NFT	Alface (<i>L. sativa</i>)	65,50kg/1,2m ² (20 plantas/m ²) 60,62 kg/1,2m ² (20 plantas/m ²)	365 (tempo de coleta: cada 44 dias)

*GP: Ganho de Peso; TC: Taxa de crescimento; MF: Massa Fresca.

Fonte: Adaptado de ^aGeisenhoff *et al.* (2016); ^bEffendi; Wahyuningsih; Wardiatno (2017); ^cJordan *et al.* (2018); ^dStathopoulou *et al.* (2018); ^eMonsees *et al.* (2019); ^fBarbosa *et al.* (2020); ^gBautista *et al.* (2021); ^hSuárez-Cáceres *et al.* (2021).

Sátiro *et al.* (2018) indicam que manter condições de água razoavelmente boas para o cultivo, atendendo aos três organismos envolvidos no sistema: peixes, plantas e às bactérias, ademais da capacidade de manejo para assegurar o equilíbrio dos

nutrientes é um desafio preponderante a ser superado para que haja progresso, projeção e expansão da aquaponia.

Entretanto, Oliveira (2016) relatou que a aquaponia é considerada uma atividade produtiva promissora, mas, que é necessário efetuar estudos centrados no melhoramento genético para as espécies de peixes e plantas para que apresentem maior proximidade das exigências ao meio de cultivo, do mesmo modo, precisa-se abordar a dinâmica nutricional requerida nas diferentes técnicas de cultivo, como as exigências dos vegetais que são alguns dos limitantes no progresso deste tipo de sistemas produtivos (Panigrahi; Panda; Padhi, 2016).

3.8 ECONOMIA CIRCULAR (EC)

O progresso dos sistemas de produção e sua continua contribuição para a economia mundial desencadearam uma série de desafios, como, esgotamento de recursos, carência de energia elétrica, impacto ambiental sobre os ecossistemas, poluição ambiental, aquecimento global e extinção de diversidade de fauna. Dessa maneira, precisou-se de uma reavaliação do método linear de desenvolvimento, para estabelecer um novo sistema econômico, mediante mecanismos de preservação e reutilização, para uso consciente dos recursos naturais (Shen; Qi, 2012).

A economia circular, está baseada no modelo de “fim de vida”, por racionalizar, reutilizar e otimizar todo recurso principalmente de origem natural, na busca da eficiência dos processos produtivos, portanto constitui-se um ciclo fechado, que atua de forma não linear, para alcançar o desenvolvimento sustentável, assegurar o crescimento econômico, benefício e equidade social (Murray; Skene; Haynes 2017; Kirchherr *et al.*, 2018).

Como Reike; Vermeulen; Witjes (2018) sustentam que o resíduo é o fator fundamental nesse modelo econômico, atribuindo uma reutilização inteligente do desperdício no processo, sendo de natureza orgânica ou tecnológica, em um modelo cíclico, que coadjuva ao ambiente natural e se preocupa por brindar o bem-estar, desse modo, o resíduo é o elemento principal dos ciclos naturais ou se transforma para criar novos produtos, pois os materiais voltam ao ciclo produtivo em vez de serem descartados, minimizando os requisitos energéticos.

No caso particular do recurso hídrico a importância como insumo para a maioria dos processos de produção é conhecida, e sua escassez tem sido majoritariamente

afetada pelo uso global da água no mundo, sendo que o uso mais representativo provem das atividades agropecuárias, como agricultura e aquicultura, cujo aumento representativo está cerca de 1% anualmente no século atual (Unesco, 2022).

A aquicultura embora seja um atividade importante para suprir a demanda global de proteína animal, esse modelo de produção atual pode converter-se em uma atividade insustentável, pois sua operação exige volumes elevados de água, e à composição bioquímica está sujeita a alterações após o uso, além disso, existe um proeminente descarte de resíduos como resultado do processo produtivo e portanto, sua liberação termina por agredir ao meio ambiente, impacto que pode ser reduzido mediante alternativas de uso posterior (Fraga-Corral *et al.*, 2022).

Segundo Angelis; Arampatzis; Assimacopoulos (2016), é necessário identificar soluções alternativas mais promissoras que melhorem o desempenho econômico e ambiental, determinado na eficiência da liberação de substâncias nocivas, representado na redução do impacto nos recursos naturais, e sua implementação resulte em benefícios e melhore a ecoeficiência geral do sistema.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE TRABALHO DA PESQUISA

A montagem e funcionamento foi conduzido parte nas instalações do Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia, Campus central (latitude sul 20°25'38,9", 51°20'36,7" longitude oeste) e o segundo experimento na estufa hidropônica e no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Câmpus II (latitude sul 20°25'07", 51°20'31" longitude oeste) da Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus Ilha Solteira, da região noroeste do Estado de São Paulo a uma altitude de 376 m (Google Earth, 2023).

4.2 MATERIAIS

O experimento foi composto da seguinte forma, um SRA para o cultivo intensivo de Tilápia do Nilo (*O. niloticus*) associado a um MBS e um MABR e um aparato experimental aquapônico, disposto em uma casa de vegetação, usando NFT, no cultivo de três variedades de Alface.

4.2.1 Descrição geral do sistema de recirculação aquícola

Para avaliar o desempenho do tratamento de efluente de piscicultura proveniente de um SRA no cultivo de Tilápia do Nilo (*O. niloticus*), foram usados os seguintes elementos, que constituíam o primeiro sistema: Um tanque de criação de polietileno, sistema de bombeamento, em conjunto com MBS, tubulações, conexões rotâmetros, mangueira de ar, e o MABR (Ver Figura 8).

Na parte inferior do tanque circular para o cultivo da Tilápia do Nilo está a saída, com um acoplamento de mangueira até um conjunto de bombas em série, para que seja possível a circulação de água do tanque ao MBS construído com PVC. Para remoção dos sólidos, a base do MBS possui uma tubulação de 30 cm de altura do fundo, cuja finalidade é que as partículas passem por o processo de sedimentação. A fração de água decantada no MBS, passa por uma caixa de nível constante elaborada

em acrílico com um volume de 20 L, com objetivo de direcionar parte do volume da água para o MABR e a quantidade restante retorna para o tanque de criação.

4.2.1.1 Tanque para o cultivo da Tilápia

Para a criação da Tilápia do Nilo utilizou-se um tanque circular de polietileno, com uma capacidade de 1.000 L, como indica-se na Figura 9, alimentado com água sem cloro com um volume útil de cultivo de 80% do total (800 L).

Figura 9 - Sistema da primeira fase do experimento



Fonte: Próprio autor.

A densidade de estocagem inicial foi de 21,73 kg/m³, peixes com peso médio de 155,16 g e comprimento médio de 19,83 cm. O processo de alimentação dos organismos realizou-se duas vezes ao dia, nos horários de manhã e à tarde conforme o sugerido por Kubitz (2000), alimentados com ração comercial com 28% de proteína bruta, com tamanho de 6-8 mm e cujas características nutricionais estão descritas na Tabela 8, utilizada uma taxa de alimentação entre 0,8-1,8% do peso vivo total cada dia. Todos os dias foram monitorados os parâmetros de temperatura, OD e pH.

Tabela 8 - Teor nutricional da ração comercial com 28% de proteína, utilizada para alimentação de Tilápia

Característica nutricional	Concentração
Proteína bruta	200 g/kg
Extrácto etéreo	50 g/kg
Fibra bruta	90 g/kg
Materia mineral	140 g/kg
Cálcio	15 g/kg (mínimo) 30 g/kg (máximo)
Fósforo	6000 mg/kg
Sódio	3000 mg/kg
Ferro	22.50 mg/kg
Manganês	22.50 mg/kg
Zinco	45 mg/kg
Vitamina A	10000 UI/kg
Vitamina B12	30 mg/kg
Vitamina C	200 mg/kg

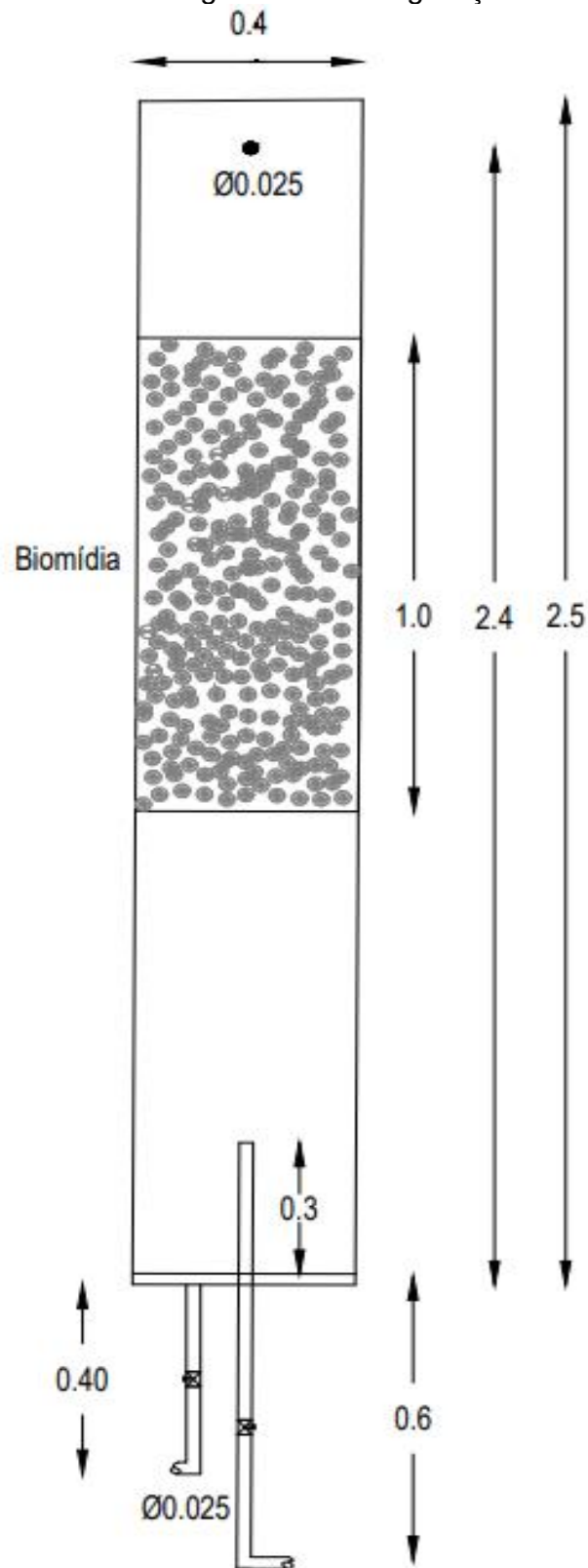
Fonte: Laguna (2023).

4.2.1.2 Decantador de leite móvel (MBS)

O MBS foi construído com tubo de PVC, cuja altura é de 2,50 m, de forma cilíndrica com um diâmetro de 400 mm, um volume de 302 L (Figura 10), este tipo de decantador tem a função de remover sólidos suspensos com diâmetro maior ou igual a 0,25 mm, para seu dimensionamento foi adotado uma velocidade de sedimentação de 3,8 cm/s, valor empregado justamente para retenção das fezes de Tilápia (Enriquez, 2011).

A vazão de funcionamento do MBS durante o experimento foi de 500 L/h, vazão que atende o sistema de recalque (bombas), e se considerou assim, um TDH em torno das 0,6 horas.

Figura 10 - Configuração do MBS



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Mediante o sistema de duas bombas em série de 34 Watts cada (Figura 11) à água proveniente do tanque de cultivo de peixes, entra no MBS por uma tubulação localizada na base do mesmo aparato, a 0,3 m de comprimento, para dar lugar ao processo de sedimentação. A fração de água tratada sai pela zona superior, na direção da caixa de nível constante construída em acrílico com volume de 50 L, para destinar uma fração de volume para o MABR, o fluxo restante vai de volta ao tanque de cultivo de Tilápia.

Figura 11 - Bombas em serie do SRA



Fonte: Próprio autor.

Colocou-se um meio suporte, conformado por mídia biológica ou biomídia fabricada em polipropileno (Figura 12), de forma cilíndrica, com ranhura externa e raios internos, possui uma altura de 15 mm e diâmetro de 30 mm, peso de 192 kg/m^3 , área superficial total de $680 \text{ m}^2/\text{m}^3$ e $520 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de área superficial protegida (Altamar Sistemas Aquáticos), na altura de 1,0 m e 2,0 m do decantador foram fixadas telas em aço inox para reter a mídia biológica, que foi confinada a 1 m de altura, com 50% de enchimento do leito, equivalente aproximadamente a 60 L de meio suporte, material adaptado com objetivo de conseguir a remoção de sólidos suspensos mais finos.

Figura 12 - Meio suporte: mídia de polipropileno



Fonte: Próprio autor.

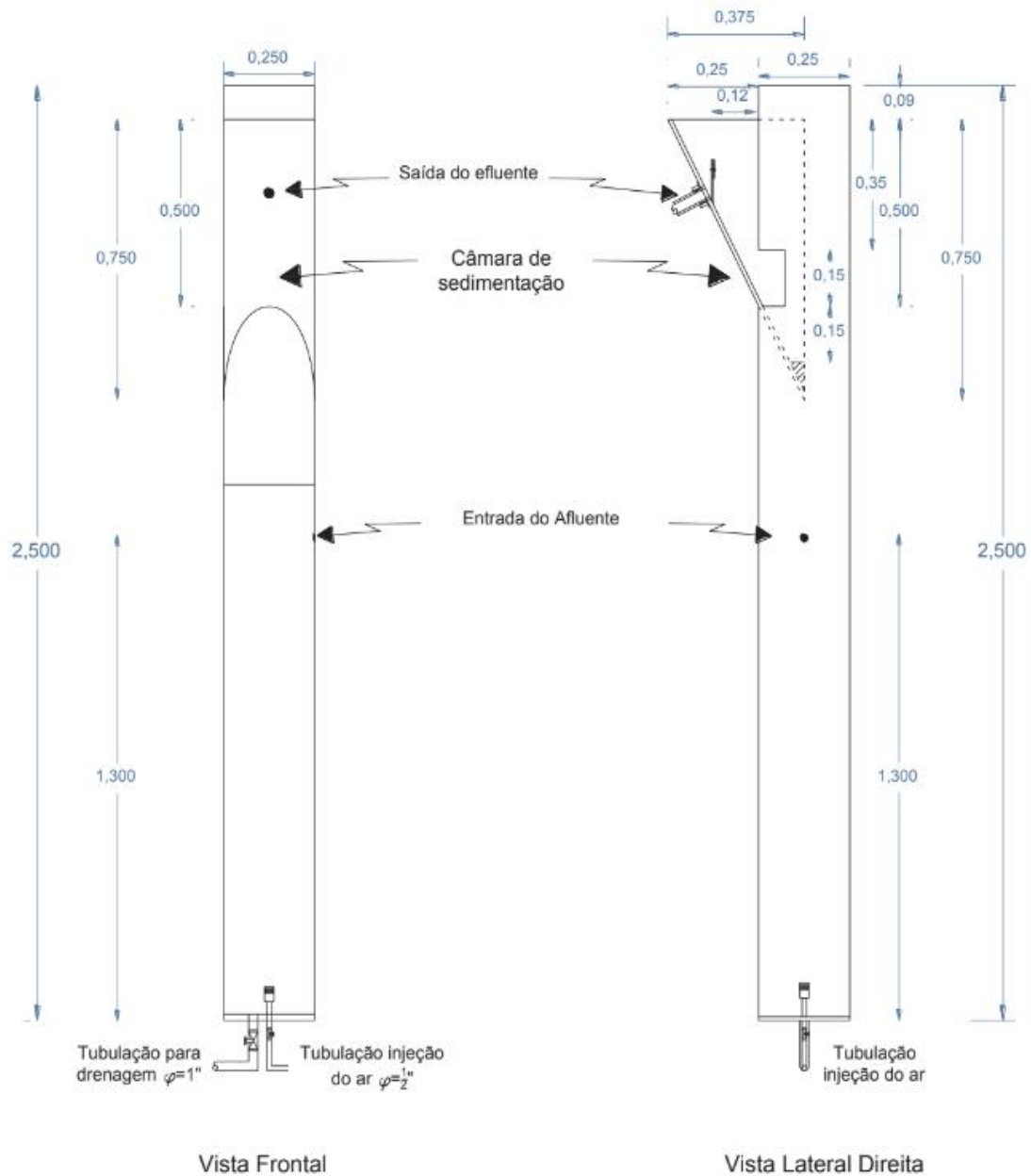
Com respeito a porção sólida sedimentada no MBS, diariamente realizou-se a remoção de 5% do volume total do sistema empregando um recipiente com volume de 70 L. Também, foi necessário efetuar a substituição de água sem cloro no tanque para atender as perdas e retirada do fluxo no sistema.

4.2.1.3 Reator de biofilme aerado em membrana (MABR)

Em seguida, é descrito pormenorizadamente, cada elemento constituinte do MABR, a ser utilizado no SRA.

- O MABR atende um volume total em torno dos 120L, formado por um tubo interno (*riser*) de PVC de 100 mm de diâmetro e 2,20 m de altura como mostra a Figura 13, disposto a 0,05 m acima do fundo do MABR, além de um tubo externo (*downcomer*) de PVC de 250 mm de diâmetro com 2,50 m de altura, representado na Figura 14, em condições inertes, a altura interna do fluxo é de 2,35 m.
- A vazão de operação do MABR ao longo da avaliação do tratamento foi de 100L/h, verificou-se assim, um TDH do reator de 1,2 horas.
- Por outro lado, o MABR possui uma estrutura de sedimentação de 10 mm de espessura, elaborada em chapa acrílica, para regular o nível do líquido até 0,02

Figura 14 - Estrutura do tubo de PVC externo e área de decantação, no reator de biofilme aerado em membrana



Fonte: Enriquez (2011).

- Uma membrana composta principalmente de silicone agrupada em um feixe como é apresentado na Figura 15, cujo componente principal é polidimetilsiloxano (PDMS), sendo o suficientemente densas para evitar a formação de bolhas no biofilme, permitindo a difusão de oxigênio através do silicone ao biofilme, que ficou refletido na menor proporção de uso de energia (Oxymem, 2017).

Figura 15 - Membrana disposta no tubo interno do MABR



Fonte: Próprio autor.

As membranas vieram do fabricante como feixe, com cerca de 550 fios, que possuem 110 cm de comprimento e, estima-se que tenham 0,5 mm de diâmetro externo, conta com uma área superficial total do feixe de membranas proporcional a 0,95 m². O feixe das membranas foi disposto dentro do tubo interno, sendo que a extremidade inferior está conectada a uma mangueira para receber o ar com vazão controlada por rotâmetro e a extremidade superior fica na saída do reator, esta configuração das membranas foi baseada no trabalho realizado por Almeida *et al.* (2023).

- O fornecimento do ar ao sistema é feito por meio do soprador de ar da marca THOMAS, modelo AP-80H (Figura 16), atende uma vazão de 450 L/h com velocidade de recirculação em média no tubo interno de 14,2 cm/s e no externo de 6,33 cm/s (Freddy, 2019).

Figura 16 - Soprador de ar THOMAS



Fonte: Próprio autor.

- *Inoculação da membrana:*

Para dar início ao tratamento do efluente proveniente do sistema de recirculação para a criação de Tilápia, foi necessário o cultivo de microrganismos nitrificantes em condições de laboratório para a inoculação do MABR como apresenta-se a Figura 17.

O cultivo de bactérias nitrificantes foi realizado em um tanque de aproximadamente 20 L de volume, mediante a adição de água deionizada e de nutrientes conforme o sugerido por Jácome *et al.* (2006) e Apha (2017) descrito no Quadro 2, a água de cultivo foi adicionada três vezes por semana tempo para promover a formação dos organismos nitrificantes (Von Sperling, 2005). Os feixes da membrana foram inseridas na meio de cultivo garantindo o oxigênio no meio líquido e assim, obter os processos de nitrificação, o tempo estimado para o crescimento bacteriano foi de 40 dias (Freddi, 2019), sendo que o período de inoculação terminou quando foi observado um biofilme de coloração amarelada aderido às membranas.

Figura 17 - Cultivo de microrganismos nitrificantes na membrana



Fonte: Próprio autor.

Quadro 2 - Composição da água de cultivo para as bactérias nitrificantes

Solução de nutrientes	Concentração	Método de preparação
Tampão de fosfato	1 mg/L	Dissolver 8,5 g fosfato de potássio monobásico anidro (KH_2PO_4), 21,75 g de fosfato de potássio bibásico anidro (K_2HPO_4), 33,4 g de fosfato de sódio dibásico heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e 1,7 g de Cloreto de amônio (NH_4Cl) para 1000 mL de água deionizada, o pH da solução a 7,2.
Sulfato de magnésio	1 mg/L	Em 1000 mL de água dissolver 22,5 g de sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).
Cloreto de cálcio	1 mg/L	27,5 g de cloreto de cálcio (CaCl_2) em 1000 ml de água deionizada.
Cloreto de ferro	1 mg/L	Diluir em 1000 mL de água deionizada 0,25 g de cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).
Cloreto de amônio	80 mg/L	Reagente de laboratório cloreto de amônio (NH_4Cl)
Bicarbonato de sódio	0,5 mg/L	Reagente de laboratório bicarbonato de sódio (NaHCO_3)

Fonte: Adaptado de Jácome *et al.* (2006); Apha (2017).

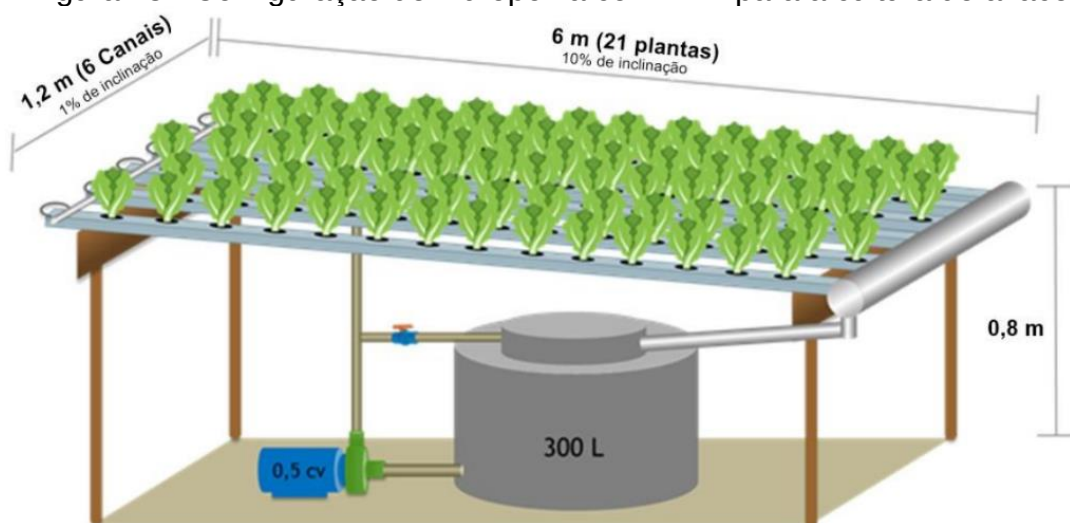
Com este processo de partida para o posterior tratamento, pode ser garantido que o biofilme formado nas membranas, seja conformado somente por bactérias nitrificantes, para favorecer a oxidação de matéria orgânica, nutrientes da serie do nitrogênio, o NAT e fósforo (Terada *et al.*, 2003), pois possuem menor velocidade de crescimento e à falta de produção de substâncias poliméricas extracelulares podem aumentar a adesão, quando em comparação às bactérias heterótrofas (Bassin *et al.*, 2012).

Após o crescimento das nitrificantes sobre as membranas, a mesma foi introduzida no SRA, para operação do MABR durante pelo menos 15 dias, mantendo as condições similares da água de cultivo bacteriano, com o propósito do desenvolvimento de microrganismos heterótrofos, para que sobrepostos a comunidade nitrificante, sucedendo assim, os processos de adaptação antes do cultivo dos peixes (Freddi, 2019).

4.2.2 Descrição geral do sistema de aquaponia

O sistema de aquaponia foi disposto em uma casa de vegetação com sombreamento de 35%, e constitui o segundo aparato desta pesquisa, configurado mediante o método NFT. A criação consistirá em três unidades individuais separadas por 20 cm, cada uma com sistema de oxigenação. Os canais de cultivo construídos em material PVC com seção retangular de 8 cm de largura e 4 cm de altura, 6 m de comprimento, 10% de declividade e orifícios estabelecidos a cada 25 cm da área central do mesmo para acomodar os vegetais, além de um reservatório de 300 L de volume para a bancada, com vazão de 1 L/min e com fluxo contínuo (Figura 18) (Silva, 2023).

Figura 18 - Configuração de hidroponia com NFT para a cultura de alface



Fonte: Silva (2023).

Três cultivares de alface (*L. sativa*) foram avaliadas, alface crespa cultivar Jade, alface americana cultivar Angelina e alface lisa cultivar Stela, o mesmo número de plantas será disposto em cada canaleta de cultivo.

Conduziram-se dois tratamentos para a avaliação, sendo que a hidroponia convencional com adubação de nutrientes corresponde ao T1 e o efluente proveniente do SRA como T2, cada tratamento estabelecido em bancadas separadas, cada um estará constituído por seis canaletas de cultivo, sendo que cada duas canaletas será disposta uma cultivar de alface diferente, cada um contendo o mesmo número de plantas, isso é 21 vegetais por calha hidropônica, o experimento será totalmente casualizado.

O efluente do sistema de recirculação aquícola foi proveniente do cultivo de Tilápia do Nilo aproximadamente depois de um mês do início da criação, com uma densidade de estocagem inicial de $21,73 \text{ kg/m}^3$, após tratamento mediante o MBS composto em seu interior com biomídia, a composição orgânica no tanque de cultivo dependera inicialmente do tipo de ração utilizada no experimento, como também dos processos de alimentação dos organismos, nos quais uma fração de alimento não é consumida pelos peixes, e a eliminação de resíduos na forma inorgânica, isto é, a forma de amônio através das fezes.

A solução nutritiva para o caso da bancada hidropônica convencional adotara as seguintes concentrações de acordo com a pesquisa desenvolvida por Silva (2023):

- Hidrogood Fert Nacional a $0,666 \text{ g/L}$ como fertilizante concentrado, com concentrações de nutrientes na série de 10% de N, 9% de P, 28% de K, 4,3%

de S, 3,3% de Mg, 0,06% de B, 0,01% de Cu, 0,05% de Mn, 0,07% de Mo e 0,02% de Zn,

- Nitrato de Cálcio a 0,495 g/L, cuja concentração de nutrientes está: 15,5% de N e 26,5% de Ca;
- Hidrogood Fert Ferro (EDDHA) 6% de Fe a 0,020 g/L.

Os parâmetros de pH, OD e CE da solução nutritiva foram monitorados diariamente durante o cultivo de alface.

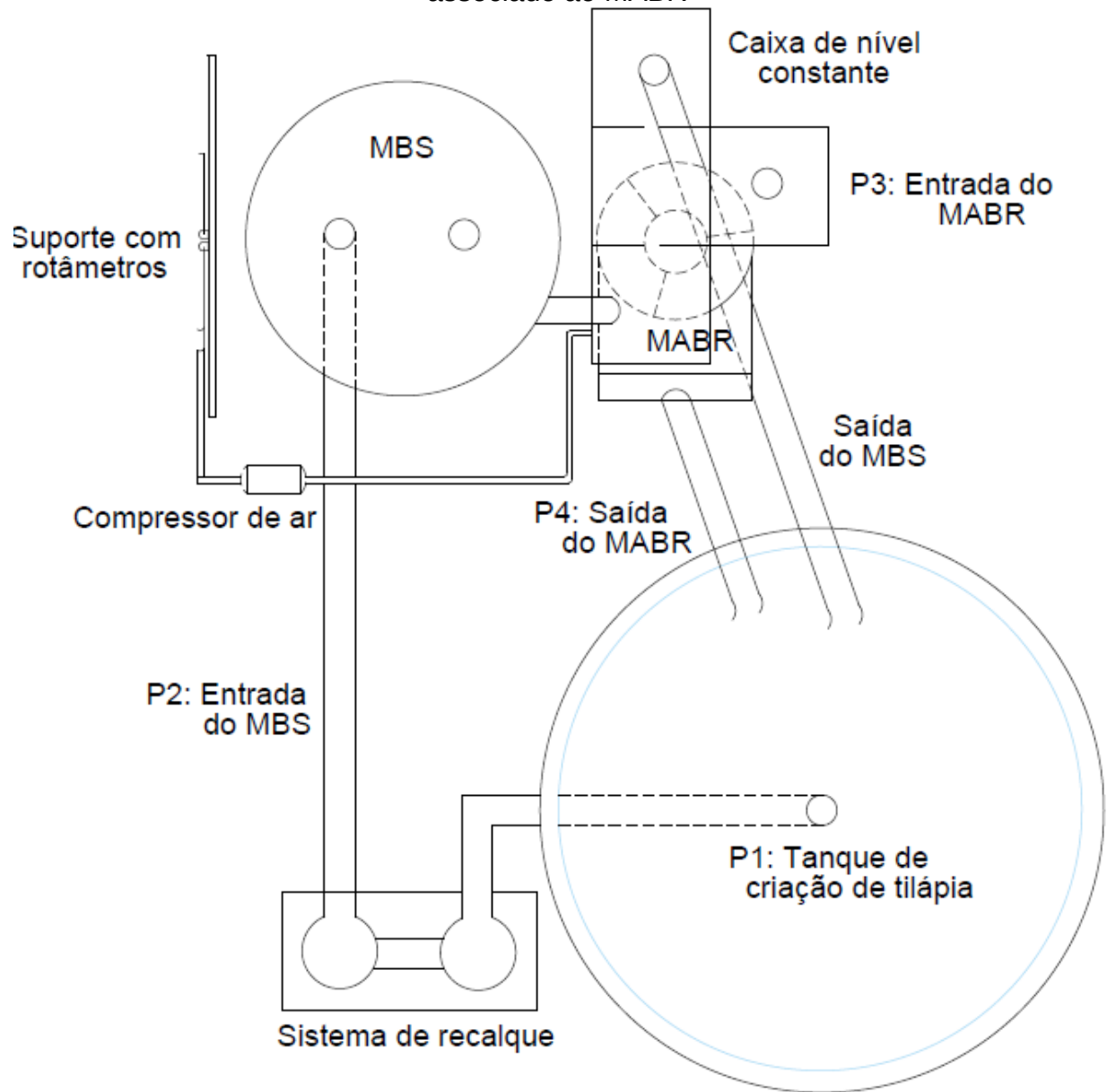
4.3 MÉTODOS

4.3.1 Avaliação de eficiência do tratamento com SRA

No SRA composto por MBS e MABR, o monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água deve ser realizado em diferentes pontos como descritos a seguir (Ver Figura 19):

- Ponto 1 SRA: Tanque de criação de Tilápia do Nilo (TC)
- Ponto 2 SRA: Entrada do Decantador de Leito Móvel (EMBS).
- Ponto 3 SRA: Saída do Decantador/entrada do Reator de Membrana Aerada (SMBS/EMABR).
- Ponto 4 SRA: Saída do Reator de Membrana Aerada (SMABR).

Figura 19 - Vista em planta do sistema de recirculação equipado com o MBS e associado ao MABR



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para determinar a eficiência do tratamento no sistema proposto, a frequência e os principais parâmetros a ser monitorados estão detalhados na Tabela 9.

Tabela 9 - Monitoramento dos principais parâmetros em diferentes pontos de amostragem do SRA

Parâmetro	Ponto de amostragem				Frequência de amostragem
	TC	EMBS	SMBS/ EMABR	SMABR	
Temperatura °C) ^a	X	X	X	X	Diária
OD (mg/L) ^a	X	X	X	X	Diária
pH (-) ^b	X	X	X	X	Diária
Turbidez (uT) ^c	X	X	X	X	2 x semana
DQO (mg/L) ^d		X	X	X	2 x semana
DBO (mg/L)		X	X	X	2 x semana
Alcalinidade (mg/L)		X	X	X	2 x semana
NT (mg/L) ^d	X	X	X	X	Semanalmente
NH ₃ (mg/L) ^d	X	X	X	X	Semanalmente
NO ₂ ⁻ (mg/L) ^d	X	X	X	X	Semanalmente
NO ₃ ⁻ (mg/L) ^d	X	X	X	X	Semanalmente
PT (mg/L) ^d	X	X	X	X	Semanalmente
ST (mg/L)		X	X	X	Semanalmente
SST (mg/L)		X	X	X	Semanalmente
SDT (mg/L)		X	X	X	Semanalmente

a: Monitoramento com medidor Digital Portátil MO-900 – Instrutherm; b: Phmetro portátil digital Hanna instruments; c: Turbidímetro AQ 2010 – AQUAfast II; d: Análises realizadas com espectrofotômetro DR 2000 – HACH. Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.2 Desenvolvimento do sistema de aquaponia

Alves *et al.* (2015) e Stathopoulou *et al.* (2018) afirmam que nos sistemas aquapônicos, cujo afluente é proveniente do cultivo de Tilápia, os parâmetros físico-químicos como, temperatura, pH, OD, e condutividade elétrica, devem ser

monitorados continuamente, registrando diariamente seu comportamento; e as medições de nitrogênio total, e amônia não ionizada, devem ser realizadas pelo menos duas vezes por semana.

A seguir são descritos os principais pontos de controle dos parâmetros: entrada (ESH) e saída do sistema hidropônico (SSH), entrada (ESA) e saída do sistema aquapônico (SSA).

O monitoramento da qualidade da água para os dois aparatos experimentais está adaptado ao Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017).

A Tabela 10, apresenta a descrição do método, assim como materiais e equipamentos a ser utilizado para cada parâmetro a monitorar.

Tabela 10 - Parâmetros de monitoramento, método, materiais e equipamentos a ser usados nas análises

Parâmetro/ Unidade de medida	Método	Materiais e equipamentos
Temperatura (°C)	Termoelétrico	Medidor de Oxigênio Dissolvido Digital Portátil. Modelo: MO-900 – Instrutherm
OD (mg/L)	Eletrométrico	
pH (-)	Eletrométrico	Phmetro portátil digital. Modelo: Digimed – Hanna instruments
Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro Modelo: AQ2010 – AQUAfast II
DQO (mg/L)	Refluxo aberto	Digestor digital Modelo: DBR 200 – HACH
DBO (mg/L)	Ensaio 5° dia	Espectrofotômetro Modelo: DR2000 – HACH Incubadora DBO Modelo: TE 390 – TECNAL Aerador
Alcalinidade (mg/L)	Titulação	Titulação ácido sulfúrico
NT (mg/L)	Digestão persulfato/brucina	Espectrofotômetro Modelo: DR2000 – HACH
NH ₃ (mg/L)	Azul de indofenol	Espectrofotômetro Modelo: DR2000 – HACH
NO ₂ ⁻ (mg/L)	Reação do ácido sulfanílico com o dicloreto de N-(1-Naftil)-etilenodiamino	Espectrofotômetro Modelo: DR2000 – HACH
NO ₃ ⁻ (mg/L)	Reação do ácido sulfanílico com o dicloreto de N-(1-Naftil)-etilenodiamino	Espectrofotômetro Modelo: DR2000 – HACH
PT (mg/L)	Digestão o acida do persulfato phosver 3	Espectrofotômetro Modelo: DR2000 – HACH Banho maria – MARCONI
ST (mg/L)	Gravimétrico	Dessecador Estufa de secagem e esterilização Modelo: 315 SE = FANEM
Continuação		

Continuação		
SST (mg/L)	Gravimétrico	Bomba de vácuo Banho maria – MARCONI Dessecador Estufa de secagem e esterilização Modelo: 315 SE = FANEM
SDT (mg/L)	Gravimétrico	Bomba de vácuo Dessecador Estufa de secagem e esterilização Modelo: 315 SE = FANEM

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.3 Determinação das variáveis aquícolas

Halver e Hardy (2002), indicaram que o desempenho produtivo de uma espécie aquícola é avaliado pela determinação das seguintes variáveis: Ganho de Peso (GP), [g]; Sobrevivência (S), [%] e Taxa de Conversão Alimentar Aparente (TCAA), [g/g] a ser determinado a cada 20 dias, utilizando as equações a seguir (6), (7) e (8):

Ganho de peso (GP), [g]

$$GP = \text{Peso médio final} - \text{peso médio inicial} \quad (6)$$

Sobrevivência (S), [%]

$$S = 100 * \frac{\text{Número final de animais}}{\text{Número inicial de animais}} \quad (7)$$

Taxa de Conversão Alimentar Aparente (TCAA), [g/g]

$$TCAA = \frac{\text{Quantidade de alimento fornecido (g)}}{\text{Ganho de peso (g)}} \quad (8)$$

4.3.4 Rendimento vegetal

Autores como Sikawa e Yakupitiyage (2010); Geisenhoff *et al.* (2016), Stathopoulou *et al.* (2018) e Silva (2023) afirmam que para avaliação do rendimento vegetal num sistema de hidroponia, são considerados o número de folhas, comprimento do sistema radicular e da parte aérea, além da massa fresca, massa seca (Equação 9) e da produtividade (Equação 10) de cada uma das espécies de plantas, além disso foi determinada a concentração nutricional para cada variedade segundo a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997).

Massa seca (MS) [g]:

$$MS = \text{peso (g) após secagem por 72 horas na estufa a } 65^{\circ} \quad (9)$$

Produtividade da cultura (PC), [kg/m²]:

$$PC = MFF * PP \quad (10)$$

Na qual:

MFF: massa fresca das folhas (kg/planta).

PP: população de plantas (plantas/m²).

4.3.5 Delineamento experimental e análises estatísticas

Para verificar a eficiência de remoção de nutrientes e matéria orgânica no sistema proposto, composto por um sistema de recirculação para o cultivo de Tilápia do Nilo, o MBS e o MABR, foram necessárias a aplicação das estatísticas descritivas, inicialmente mediante as medidas de tendência central e de dispersão, como a média, o desvio padrão, bem como o mínimo e o máximo, para cada um dos parâmetros descritos no item métodos deste documento.

O experimento para o sistema de aquaponia realizou-se seguindo um sistema fatorial 2x3, com dois tratamentos, sendo eles, dois tipos de efluentes utilizados para o cultivo das plantas, sendo o primeiro a água adubada com nutrientes, e o segundo com água proveniente do SRA para o cultivo de Tilápia, com três tipos de alface. O modelo estatístico é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Delineamento do segundo experimento conformado por dois tratamentos

Nível ou Tratamento	R1 (Alface crespa)	R2 (Alface americana)	R3 (Alface lisa)
T1:SH (Água com adição de nutrientes - Hidroponia convencional)	T1R1	T1R2	T1R3
T2:SA (Efluente proveniente do SRA - Sistema aquapônico)	T2R1	T2R2	T2R3

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para determinar o desempenho dos vegetais nos sistemas, como: crescimento, fitomassa, a absorção de nutrientes e a produção, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Para a comparação das médias dos dados obtidos, teste de Tukey foi verificado a 5% de significância. As análises estatísticas foram desenvolvidas com o programa SISVAR[®] e para a elaboração dos gráficos utilizou-se o OriginPro[®] 2024.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os itens 5.1 e 5.2 apresentam os resultados obtidos para o desempenho do tratamento no SRA, considerando que o tempo de avaliação foi referente a 110 dias, o início do registro do comportamento dos diferentes parâmetros físico-químicos foi no dia 20 de dezembro de 2023, e a data final no dia 7 de abril de 2024.

Em relação às análises dos parâmetros no sistema experimental vegetal, o qual foi alimentado com o efluente resultante da criação da Tilápia, são detalhados no item 5.3. O registro atendeu 29 dias de avaliação, período compreendido entre 22 de março de 2024 e 19 de abril de 2024.

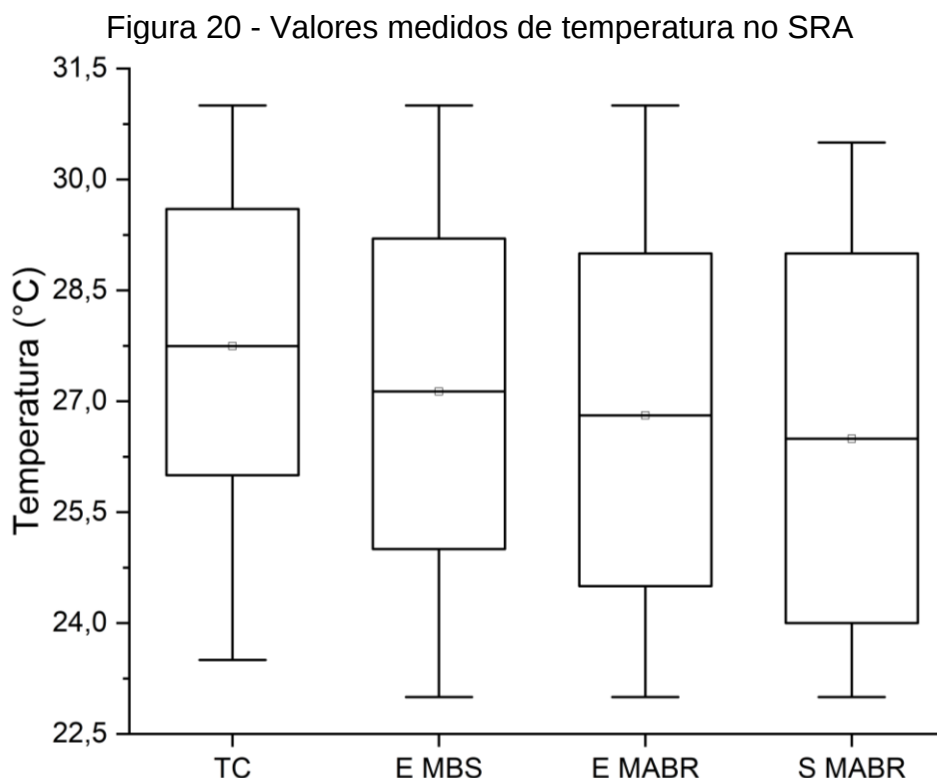
5.1 MONITORAMENTO DE PARÂMETROS EM SRA

A seguir serão pormenorizadas as concentrações dos parâmetros de temperatura, OD, pH, alcalinidade, amônia ionizada e não ionizada, no SRA. Nas Figuras 20 a 26 se expõem os resultados dos diferentes pontos de monitoramento ao longo do período experimental.

5.1.1 Monitoramento de temperatura

Os valores de temperatura apresentam-se na Figura 20, a temperatura no tanque de criação apresentou mínimo de 23,5 °C, máximo de 31,0 °C, e uma média de $27,7 \pm 2,14$ °C, por tanto, este parâmetro permaneceu dentro da faixa de valores aceitáveis para o cultivo de Tilápia do Nilo que está entre 26-30°C (Silva; Massago; Marchiori, 2019).

Dando início ao funcionamento do sistema de criação da Tilápia, mais especificamente na primeira semana (20 de dezembro de 2023 - 27 dezembro de 2024), observou-se intensidade térmica mínima com registro entre 23,5 e 25,0 °C, sendo necessário utilizar o sistema de aquecimento submersível de 100W para garantir as condições toleráveis no desenvolvimento e sobrevivência final dos peixes.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

As mudanças de temperatura em um ambiente de criação de peixes, resultam em alterações fisiológicas e metabólicas nos organismos, uma vez que registros de temperatura inferiores a 18°C podem alterar as funções vitais do sistema imunológico, e temperaturas acima dos 31°C e abaixo de 26°C representam repercussão no consumo da ração, alterando o incremento do crescimento (Kubitza, 2000a). As condições de cultivo devem ser adequadas, principalmente na fase juvenil e de engorda, em que se precisa do maior aproveitamento do alimento fornecido para conseguir os maiores rendimentos em termos produtivos.

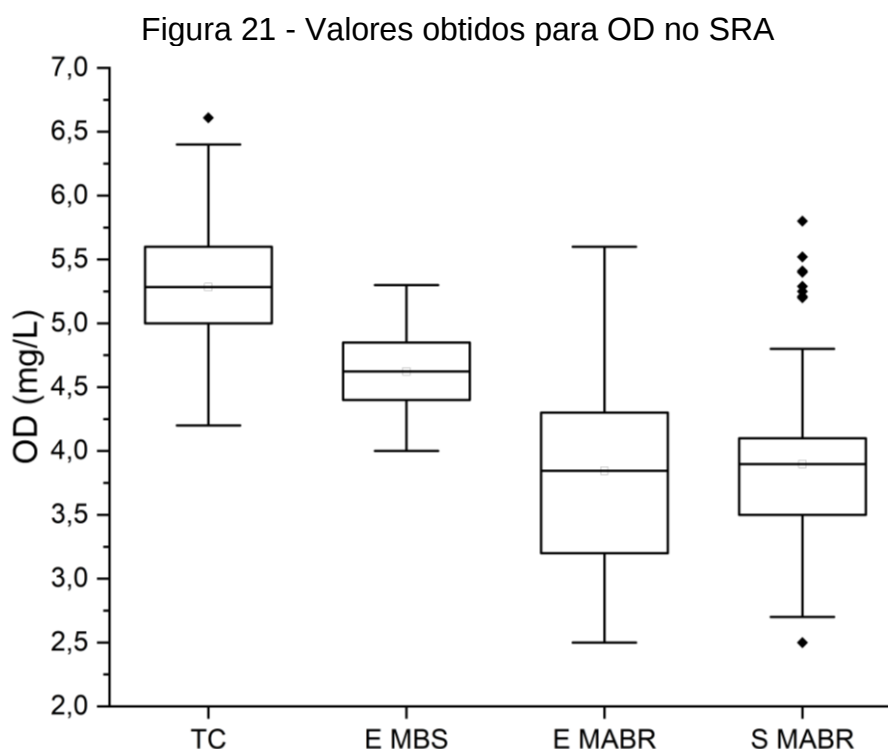
Verificaram-se reduções mínimas de temperatura de um ponto a outro, no EMBS, EMABR e SMABR, tendo em vista que, mantiveram-se médias de $27,1 \pm 2,3$ °C, $26,6 \pm 2,38$ °C e $26,5 \pm 2,45$ °C respectivamente, o que pode ser constatado, é a maior velocidade de degradação de matéria orgânica ocorre em temperaturas elevadas, neste caso no MBS. Contudo, a eficiência de remoção média foi mais evidente nesta unidade de tratamento.

A temperatura interfere na taxa de desempenho de tratamentos de efluentes, mas também na composição microbiológica, visto que, a transferência de oxigênio e concentração do NAT podem ser restritos pela variação da temperatura nas

tecnologias envolvidas, limitando a capacidade de desenvolvimento microbiológico, fundamental para a ocorrência dos eventos biológicos necessários para a eficiência da remoção de compostos (Radejenović *et al.*, 2008).

5.1.2 Monitoramento de OD

Apresentam-se na Figura 21 os valores de mínimo, máximo e média de oxigênio dissolvido durante o tempo de avaliação nos diferentes pontos de coleta do sistema.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

No tanque de criação obteve-se um valor mínimo de OD de 4,2 mg/L, máximo de 6,6 mg/L e o valor médio de $5,3 \pm 0,5$ mg/L. Esses teores mantiveram-se dentro das faixas recomendadas para a produção de Tilápia do Nilo por diversos autores como Timmons e Ebeling (2010) e Silva; Massago; Marchiori (2019). Valores acima de 4 mg/L são necessários para acelerar o processo de digestão dos peixes, concentrações inferiores a 2 mg/L repercutem no equilíbrio do organismo (Silva; Massago; Marchiori, 2019). As concentrações de OD devem atender necessariamente as faixas ideais dependendo da espécie de criação, pois concentrações fora do

ambiente ótimo. representam grandes efeitos no crescimento e na sobrevivência dos animais.

A perda da energia suficiente para o desenvolvimento, dentre muitos fatores, pode ser atribuída à diminuição do teor de oxigênio em um ambiente de criação de peixes, gerando comportamentos atípicos nos organismos, como nado errático, estresse, escape, perda do apetite, e em vista disso, a atividade alimentícia nestas condições, torna o consumo ainda maior deste elemento, convertendo o ambiente em letal e de desconforto, que resulta na morte dos animais (Kubitza, 2000a).

Neste experimento, o fornecimento de OD no tanque de criação foi proveniente do soprador do ar, mediante uma linha auxiliar de alimentação, que permitiu controlar a concentração ótima para a criação de Tilápia, e como pode-se observar na Figura 21, o OD atendeu a carga de animais mantida no tanque e não representou efeito deletério no cultivo da espécie.

Na EMBS foi registrado um valor médio de $4,6 \pm 0,3$ mg/L, na EMABR valor de $3,9 \pm 0,8$ mg/L e na SMABR um valor médio de $3,8 \pm 0,6$ mg/L, foi constatada uma redução de OD de uma unidade de tratamento para outra, devido principalmente ao consumo deste composto pelas bactérias conformadas no reator para ocorrência dos processos de nitrificação e posterior oxidação. Além disso, foram obtidos valores mínimos de 2,5 mg/L e uma maior variação a partir do dia 65 de avaliação que corresponde ao 22 de fevereiro de 2024, em decorrência também, ao acúmulo de sólidos.

Apesar da remoção diária dos sólidos provenientes do tanque de criação sedimentados na base do MBS, ocorreram problemas relacionados com o entupimento parcial nos tubos, levando à acumulação de uma fração de sólidos na zona interna do reator, o que se originou pela pressão na tubulação, ocasionando impacto tanto na transferência de OD, como na diminuição da vazão do efluente. Esse efeito foi conduzido para os demais componentes do sistema, levando à necessidade de limpezas periódicas até obter a vazão normal de operação, principalmente na saída do MBS para a caixa do nível constante e na entrada do MABR.

As condições baixas de concentração de OD no MABR tiveram um efeito na camada de microorganismos nitrificantes e heterotróficos que se agrupam e habitam principalmente as membranas no interior do reator, de modo que, desfavoreceu o desempenho na remoção de nitrogênio total (análise aprofundada no item 5.2.4).

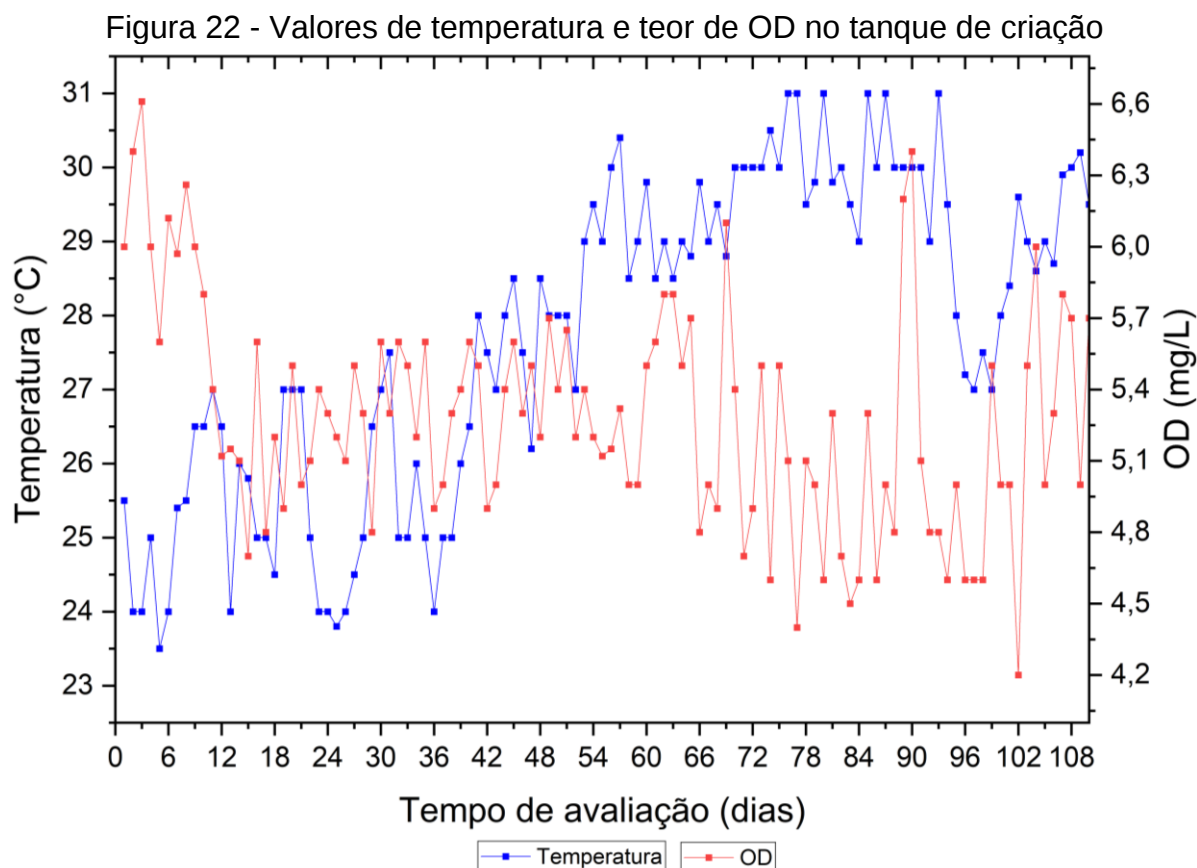
Por conseguinte, é necessário avaliar diferentes diâmetros de tubulação maior, para prevenir problemas relacionados ao material sólido proveniente do tanque de criação, evitando assim, entupimento no sistema.

Segundo Krause *et al.* (2006) a transferência de oxigênio deve ser suficientemente elevada para favorecer o crescimento bacteriano e atender o consumo em função do biofilme formado no reator, para conseguir uma representativa diminuição da carga orgânica e nutricional no efluente a ser tratado.

Por tanto, recomenda-se manter cocentrções em torno de 5 mg/L para favorecer os processos de remoção de matéria orgânica e nitrificação (Tchobanoglous; Burton; Stensel, 2003).

5.1.3 Análise temperatura e OD no tanque de criação

Na Figura 22 estão apresentados os valores medidos de temperatura e o teor de OD para o tanque de criação para todos os dias de análise, juntamente com o comparativo entre eles.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

De modo geral, as concentrações de OD apresentam uma variação moderada, além de uma relação direta com a temperatura da água de cultivo, que foi observado nesta pesquisa, quanto maior o registro de temperatura, a concentração de OD diminui, uma vez que a solubilidade e transferência de OD diminui conforme o incremento de temperatura além disso, a atividade biológica que reduz o teor de OD e por outra parte, os processos metabólicos dos peixes que aumentam em temperaturas elevadas levando ao consumo maior de OD.

Como o OD no tanque de criação da Tilápia varia com o consumo do alimento, temperatura, decomposição da matéria orgânica e processos de digestão dos organismos. Os peixes conseguem compensar os baixos níveis de OD, aumentando a ventilação, e incrementando consequentemente o consumo desse elemento em um ambiente de cultivo (Rosso; Bolner; Baldisserotto, 2006; Rebouças; Lima; Dias, 2014).

Portanto, é essencial monitorar periodicamente a temperatura e o oxigênio para a criação de uma espécie aquícola, devido à importância destes para o desenvolvimento dos organismos.

5.1.4 Monitoramento do pH

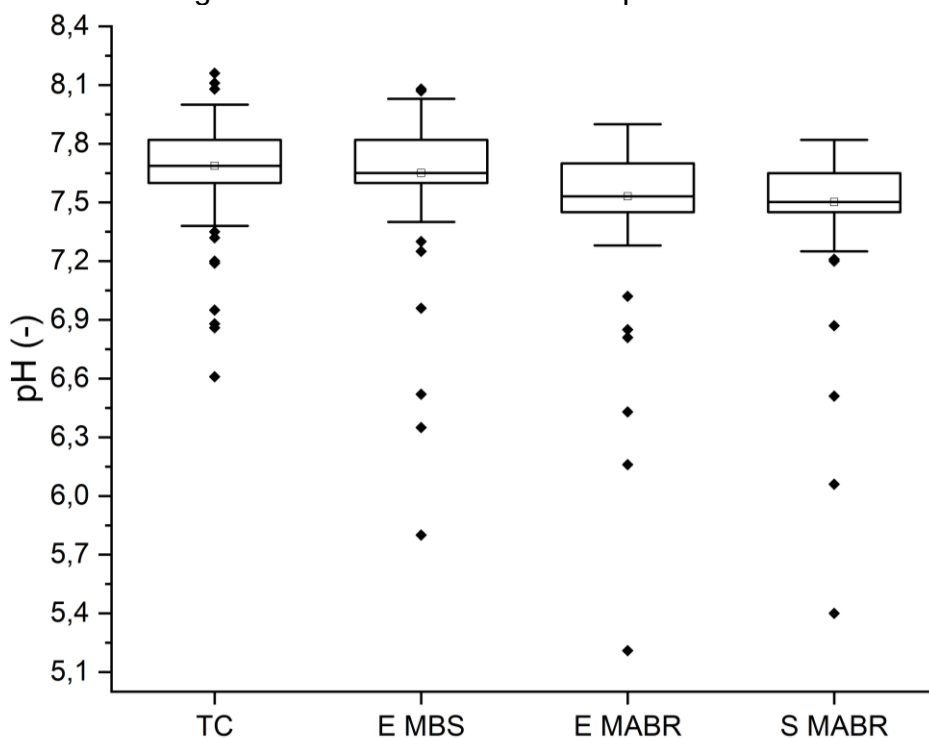
Os valores de pH observados ao longo do experimento e nos diferentes pontos de monitoramento apresentaram-se uniformes como retratado na Figura 23. No tanque de criação manteve-se um pH mínimo e máximo de 6,61 e 8,16, respectivamente com uma média de $7,69 \pm 0,2$.

De acordo com diversos autores, o pH se manteve dentro dos valores recomendados para a criação de Tilápia como Lima *et al.* (2013) que recomendam um pH próximo a 7. Timmons e Ebeling (2010) e Marengoni *et al.* (2013) concordam em manter valores de pH entre 6,5-8,5 em SRA. Além disso, como afirmam Silva *et al.* (2015) a Tilápia pode apresentar queda no crescimento devido a um pH fora da faixa ideal para seu cultivo.

Ambientes ácidos na produção piscícola, aumentam a secreção de muco, ocasionam irritação e inchaço nas brânquias, terminando com a dano total do órgão branquial. Um pH alcalino está associado à diminuição do apetite e queda no crescimento, se a exposição a esse teor de pH se torna frequente pode levar a mortes em massa (Kubitza, 2000a). Com um pH estável é possível prevenir o aumento das

concentrações de amônia, sobretudo na forma não ionizada, que é potencialmente tóxica para os peixes e causa eventos que afetam a saúde dos animais e a produção.

Figura 23 - Valores medidos de pH no SRA



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

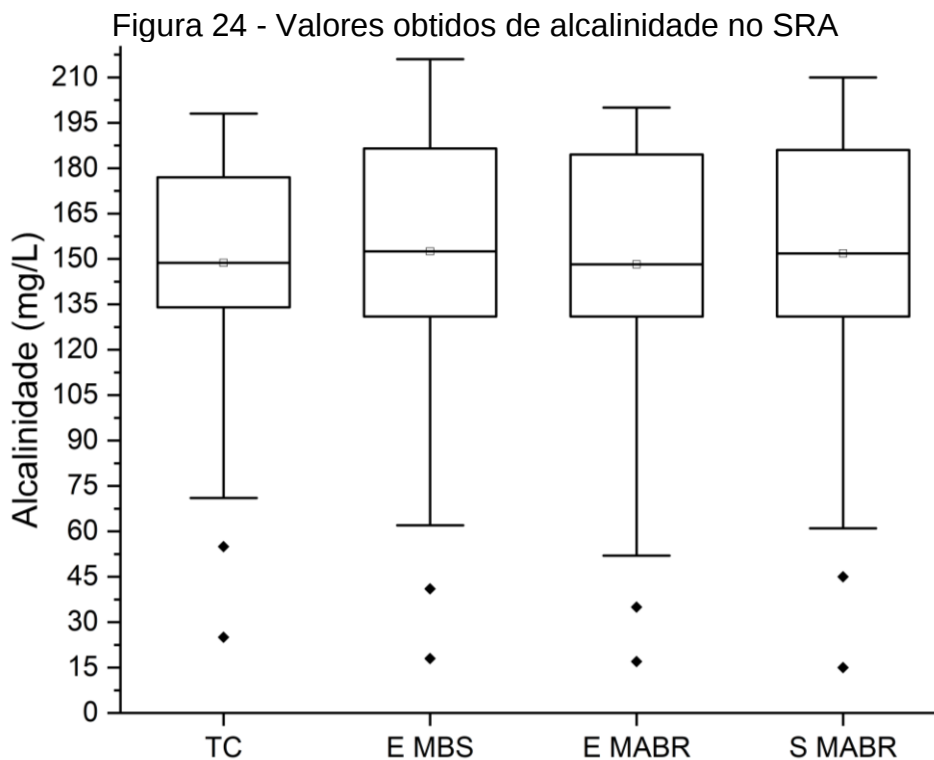
Na entrada do MBS o pH médio foi de $7,65 \pm 0,3$, na entrada e saída do MABR os valores medidos para pH foram de $7,53 \pm 0,3$ e $7,50 \pm 0,3$, o que é considerado um pH adequado para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes e o progresso dos processos de decomposição bacteriana no reator (Somerville *et al.*, 2014).

5.1.5 Monitoramento da alcalinidade

Na Figura 24 estão apresentados os valores mínimos, máximos e média para a alcalinidade; nos quatro pontos de monitoramento no SRA.

O tanque de criação registrou um valor mínimo de 25 mg/L e máximo de 198 mg/L, com uma média de $149 \pm 42,2$ mg/L. Apesar da grande variação neste parâmetro ao longo do período de avaliação, o valor está dentro da faixa de ideal para piscicultura entre de 40-150 mg/L (Vinatea, 2004). Além disso, Cavalcante *et al.* (2010) sugerem manter a alcalinidade total em piscicultura acima de 60 mg/L.

Observou-se na entrada do decantador (Figura 24) uma média de $153 \pm 47,5$ mg/L de alcalinidade, na entrada do reator a média de $148 \pm 48,0$ mg/L e na saída do MABR se manteve um valor médio de $152 \pm 47,3$ mg/L.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Os valores acima de 150 mg/L (Figura 24) estão relacionados à dissolução total de cal virgem (0,04 g/L) no início do experimento (21 e 23 de dezembro de 2023), uma vez que os teores de pH e alcalinidade apresentaram concentrações inferiores aos ideais para o cultivo de Tilápia. Contudo, as concentrações encontradas foram adequadas para o desenvolvimento da comunidade bacteriana no reator.

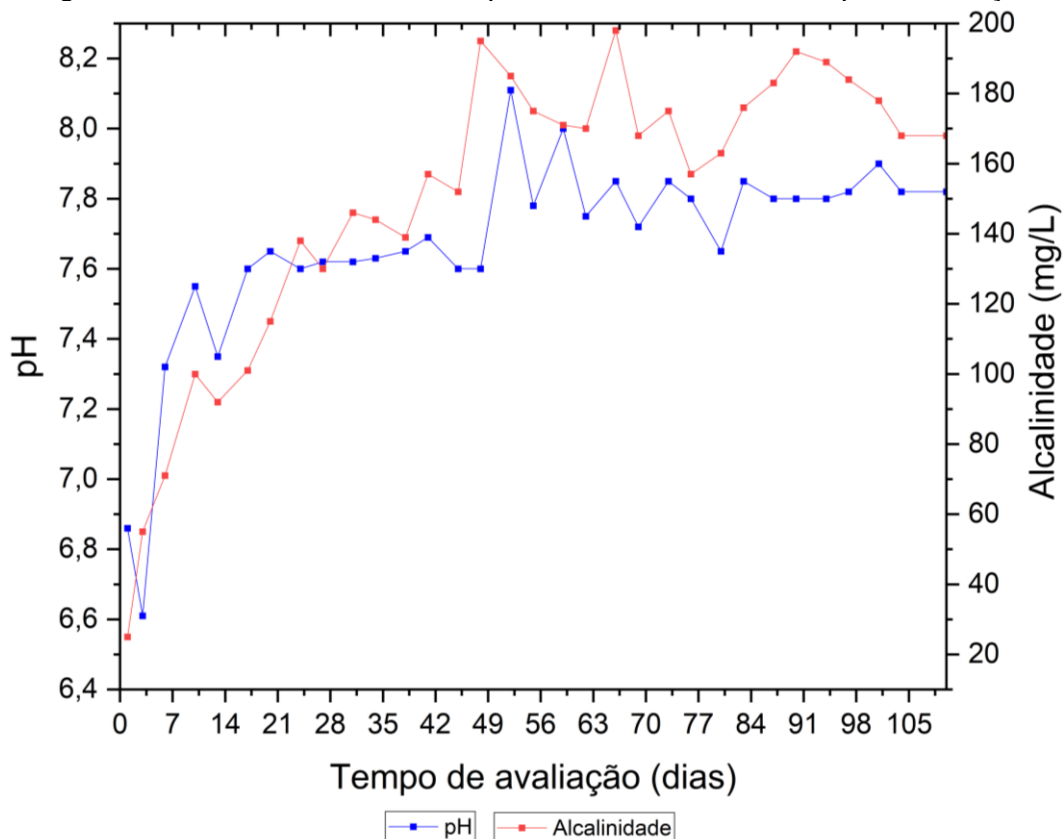
5.1.6 Análise de pH e alcalinidade no tanque de criação

Complementando a discussão acima tratada para a alcalinidade, na Figura 25 mostra-se o comportamento do pH em relação a alcalinidade.

A excreção dos peixes e os restos de alimento não consumidos no tanque, incrementam, além das concentrações de NH_3 , a produção de CO_2 (pela respiração dos organismos e processos de decomposição), que terminam acidificando o meio

aquático. A concentração excessiva de CO_2 e a liberação de íons H^+ (íon hidrogênio), evidentemente reduzem o pH e alcalinidade total (Kubitza, 2006a).

Figura 25 - Valores medidos de pH e alcalinidade no tanque de criação



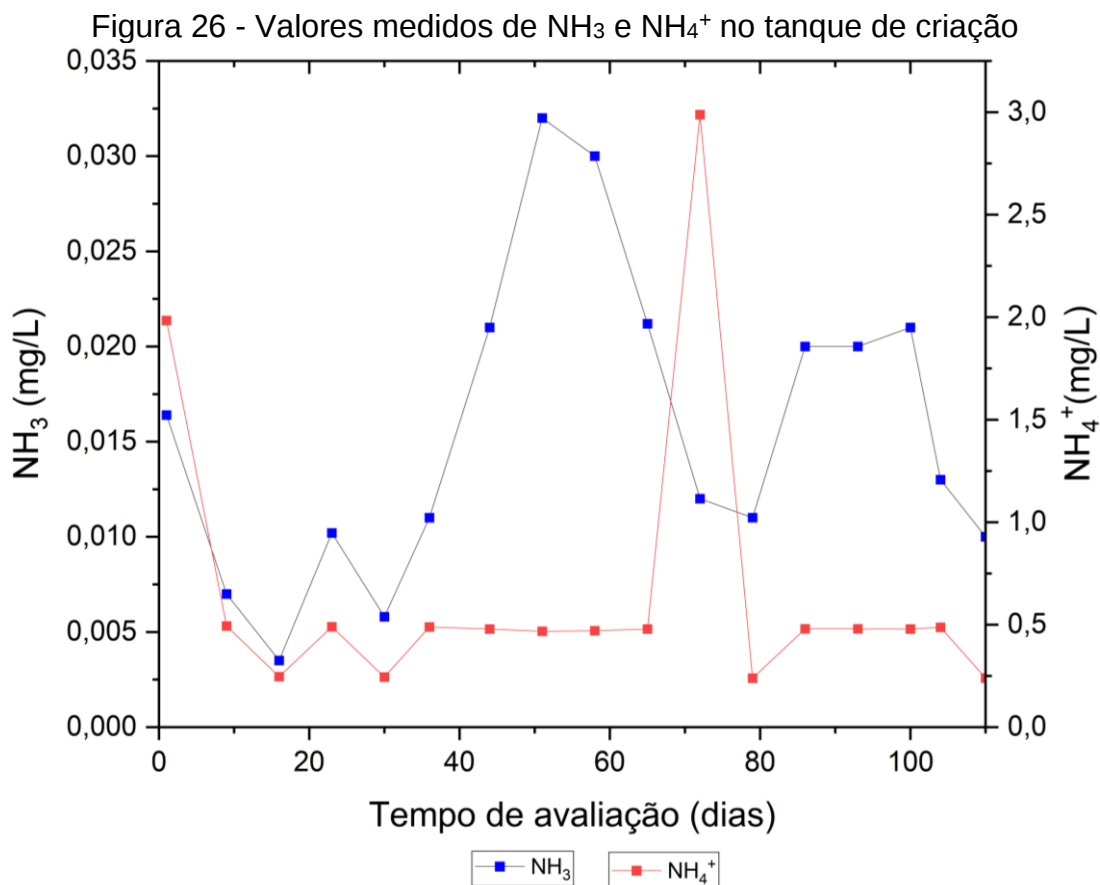
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesse cenário, uma alcalinidade elevada pode manter o maior controle nas variações de pH, produto do seu efeito de tamponamento, mantendo dessa forma, a demanda de consumo das comunidades microbiológicas e a estabilidade do pH no SRA, como demonstrado neste trabalho. Isso é crucial para proporcionar condições de qualidade de água e um ambiente de cultivo ótimo para os peixes. Alcalinidade em concentrações elevadas até valores máximos de 150 mg/L em ambientes aquáticos resulta em efeitos benéficos no desempenho zootécnico dos organismos em pH entre 6,5-7,5 (Cavalcante, 2012).

5.1.7 Análise de amônia não ionizada e amônia ionizada no tanque de criação

Os valores de NH_3 no TC variaram entre 0,004 e 0,032 mg/L com média de $0,016 \pm 0,008$ mg/L, e se manteve a concentração de NH_4^+ entre 0,24 e 2,99 mg/L

com média de $0,66 \pm 0,70$ mg/L. A Figura 26 mostra o comportamento dos íons NH_3 e NH_4^+ no tanque de criação durante o período de análise.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na atividade aquícola, o NAT, que é a soma das concentrações de NH_3 e NH_4^+ , deve ser mantido em valores inferiores a 3 mg/L (Timmons; Ebeling, 2010). Este parâmetro não ultrapassou o limite permitido ao longo do experimento, exceto no dia 26 de fevereiro (dia 69) que a concentração atingiu 3 mg/L, devido a problemas de vazamento no SRA, o que causou estresse nos organismos e a morte de 5 peixes.

A amônia na forma não ionizada é o parâmetro mais relevante para a produção aquícola por causar danos à saúde e desenvolvimento dos peixes, devido às condições de toxicidade que afetam os organismos mesmo em concentrações mínimas no ambiente. No presente estudo, o NH_3 permaneceu abaixo de 0,03 mg/L, o que é considerado adequado para o cultivo de Tilápia (Silva; Massago; Marchiori, 2019).

As concentrações de NH_3 permaneceram baixas devido às condições de pH estáveis durante a avaliação, como também à colocação de um pequeno filtro

conformado por zeólita especialmente na saída do MBS e MABR, onde o efluente retornava ao tanque, de modo a aumentar a absorção deste íon e manter os valores ideais para a criação da Tilápia, uma vez que, o material tem um maior índice de porosidade e seletividade para a amônia na forma tóxica.

5.2 ANÁLISES DE EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATERIA ORGÂNICA, NITROGÊNIO E SÓLIDOS DO SRA

Os resultados de análise para turbidez, DBO, DQO, NT, NAT, nitritos, nitratos, ST, SST e SDT aparecem nas Figuras 27 a 49.

Para obter tanto uma cultura bacteriana viável, como teores relativamente estáveis dos compostos sobretudo no MABR, é necessário um período de operação ininterrupto para o tratamento, o que pode ser alcançado através da implementação do SRA com o efluente da criação da Tilápia. Constatou-se, eficiências inferiores a 0% de DQO, DBO, NT, NAT, nitritos, nitratos e PT, cujo efeito pode ser explicado pelas concentrações maiores na saída do MABR comparadas com as concentrações na entrada do MBS, possivelmente pela perda de espessura do biofilme aderido as biomídias no MBS e as membranas no MABR e sua posterior remoção ao final do sistema (reator) pela mesma pressão exercida pelo fluxo do efluente.

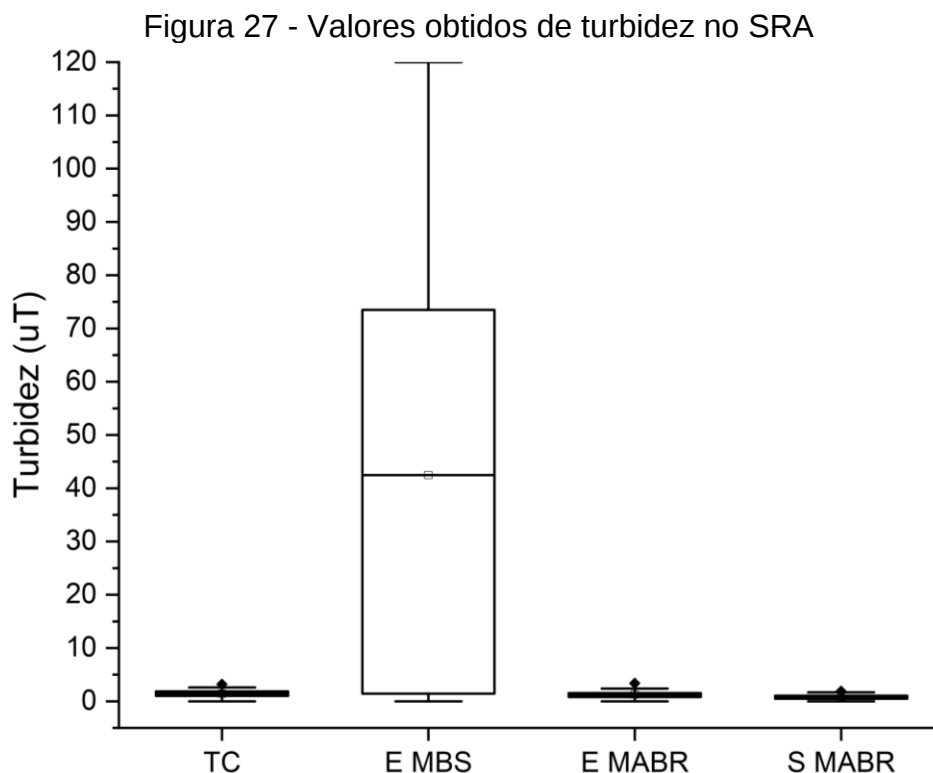
Dessa forma, desconsidere-se os valores obtidos para eficiência inferiores a 0%, de forma que, para fins de cálculo da eficiência e desempenho do sistema, somente serão considerados valores após à estabilização do aparato experimental de modo a assegurar a ocorrência dos processos de decomposição, isto é, a partir do dia 17 de fevereiro de 2024 registrado como o dia 60.

5.2.1 Turbidez

A Figura 27 apresenta os valores mínimos, máximos e médios de turbidez no período em análise.

No tanque de criação, foram mantidas concentrações de turbidez entre 0 e 3,2 uT, com uma média de $1,5 \pm 0,6$ uT. A entrada do MBS apresentou uma grande variação, sendo o ponto do sistema que se concentra a maior quantidade de matéria orgânica particulada proveniente do tanque de criação, as medições oscilaram entre 0 e 120 uT com média de $42,5 \pm 39,1$ uT. Na entrada do reator os valores variaram

entre 0 e 3,4 uT, e apresentou uma média de $1,3 \pm 0,6$ uT, enquanto a saída do MABR resultou em uma turbidez entre 0 e 1,9 uT com média de $0,9 \pm 0,5$ uT (Figura 27).



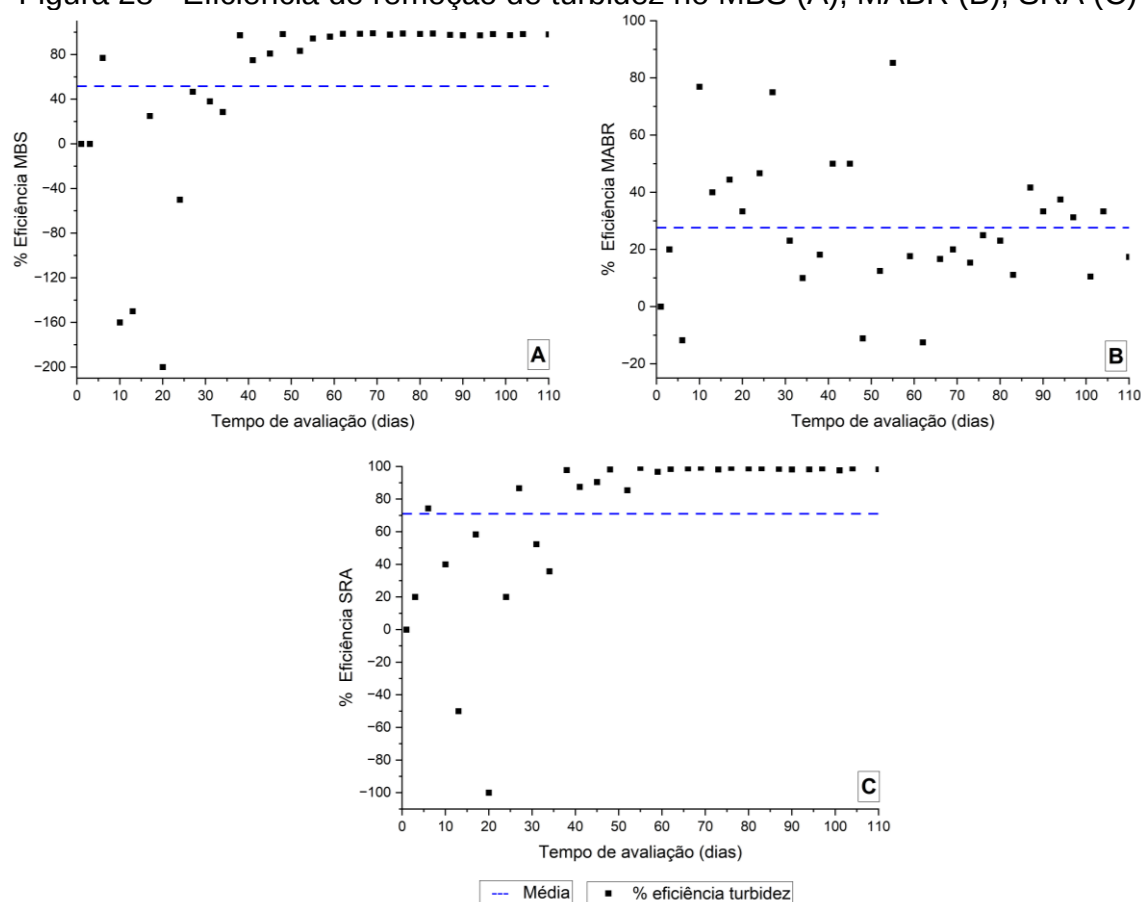
Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Considerando os resultados obtidos no efluente final do SRA, o efluente poderia ser lançado em corpos de água doce classe 2, de acordo com a resolução vigente CONAMA 430 de 2011 (Brasil, 2011).

De acordo com os resultados obtidos durante os ensaios, é possível notar, na Figura 28 a eficiência de remoção de turbidez no SRA projetado. A partir do dia 60, foi notório um aumento significativo nas concentrações de turbidez. Baseado nisso, a remoção média alcançada foi de 98,2% no MBS, 24,3% no MABR e o sistema em conjunto conformado por MBS e MABR apresentou uma eficiência de 98,6% (Figura 28).

Figura 28 - Eficiência de remoção de turbidez no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Almeida *et al.* (2023) obteve uma redução menor de 50% na turbidez presente no efluente de Tilápia com biomassa de $14,13 \text{ kg/m}^3$, para o tratamento combinou um DC com TDH de uma hora, em seguida utilizou o MABR com características hidráulicas semelhantes às utilizadas nesta pesquisa. Sánchez e Matsumoto (2012) avaliaram o desempenho de um decantador convencional (DCv) com TDH de 2,94 horas e um reator de leito fluidizado aeróbio trifásico (AFBR) com TDH de 11,9 minutos no tratamento de efluente de Tilápia, a turbidez diminui em 65,51%, valor de remoção menor se comparado com o obtido neste trabalho.

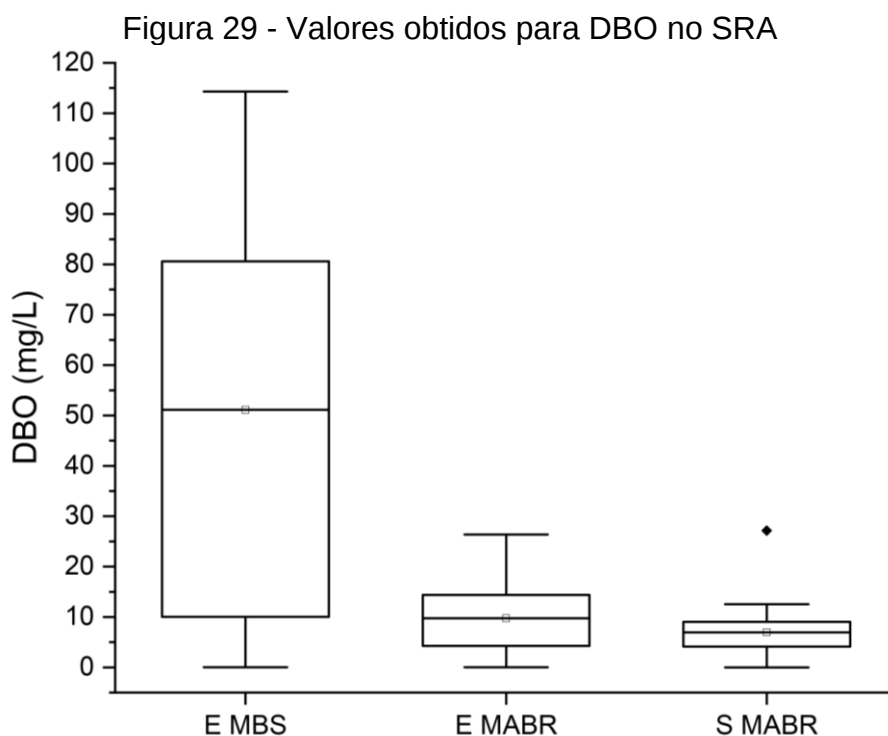
A aquicultura tem utilizado tecnologias avançadas para o tratamento de compostos poluentes, como os filtros com membranas com $\text{Ti-Mn/TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e ozonização catalítica para remoção de matéria orgânica e NAT, seguidamente por um filtro de carvão ativado para a remoção do ozônio residual. Se verificaram eficiências de até 100% na remoção de turbidez, em 30 minutos de TDH (Chen *et al.*, 2015). Recentemente, adotaram-se processos de coagulação para o tratamento de efluente da criação de peixe-gato, avaliando vários períodos para determinar o desempenho.

Com 35 minutos de TDH atingiram uma eficiência de 90,35% na remoção de turbidez (Igwegbe *et al.*, 2022).

Dessa maneira, é possível inferir que o tratamento conjunto MBS+MBAR demonstrou ser eficaz na remoção de turbidez, principalmente o MBS, que tem a capacidade de reduzir as concentrações de turbidez em mais de 90%, o que pode ser implementado em SRA para produções intensivas.

5.2.2 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Em relação à concentração de DBO, na entrada do MBS variou entre 0,02 e 114,3 mg/L, com uma média de $51,1 \pm 35,3$ mg/L como mostra a Figura 29. Esses valores apresentaram um aumento significativo neste ponto do sistema, pois aqui ocorre a sedimentação e concentra-se a maior parte da matéria orgânica composta principalmente por resíduos de dejetos dos peixes e alimento não consumido.



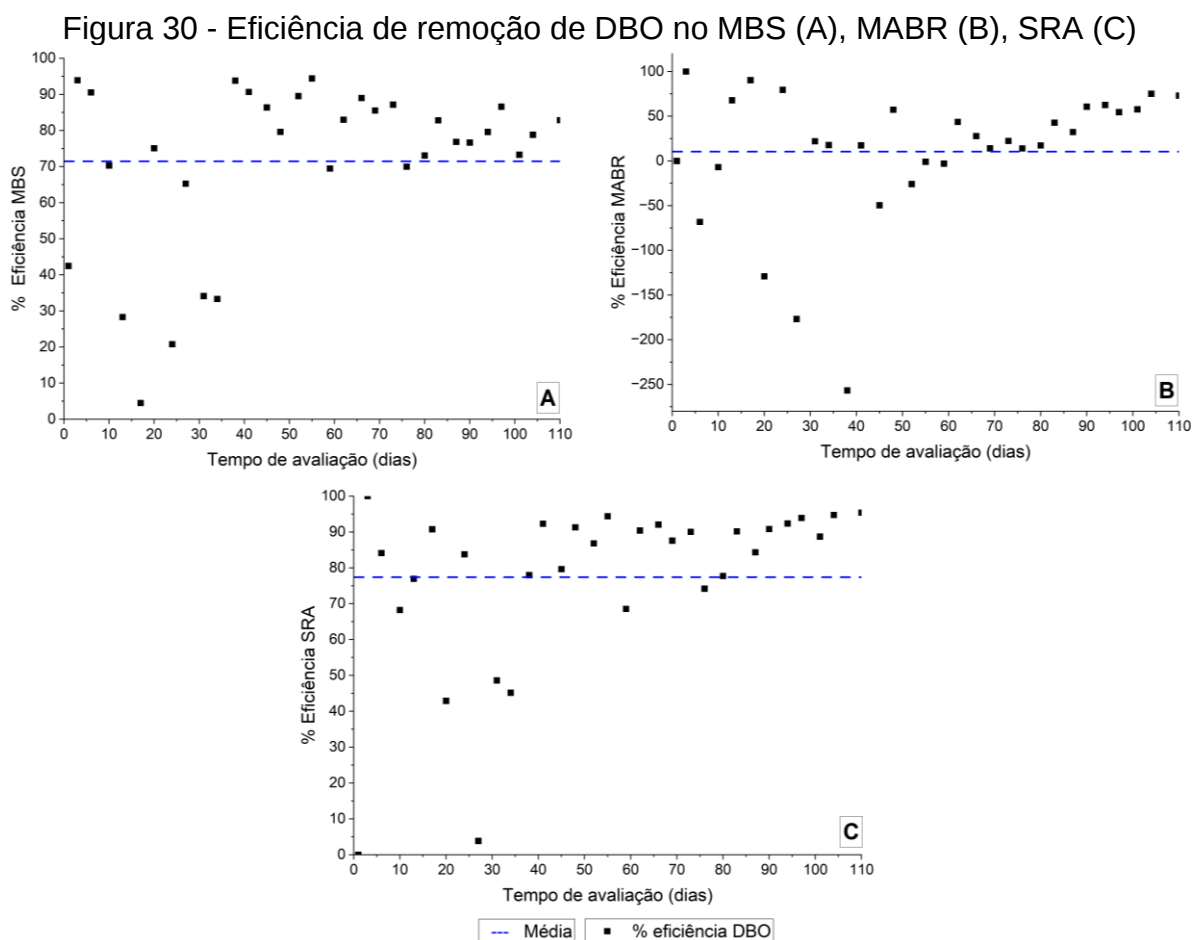
Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Na entrada e saída do MABR, verificou-se uma variação menor da DBO, o que permitiu o desenvolvimento de processos de decomposição no sistema, adequado para a melhoria da qualidade da água utilizada para o cultivo de Tilápia. No MABR os

valores de DBO variaram entre 0,01 e 26,4 mg/L com uma média de $9,7 \pm 6,7$ mg/L, e na saída do MABR a faixa dos valores ficou entre 0 e 27,2 mg/L com uma média de $7,0 \pm 4,8$ mg/L como observado na Figura 29.

A Figura 30 demonstra os resultados alcançados para a eficiência de remoção da DBO. Neste caso, a valor médio foi de 88,7% do sistema composto por MBS e MABR, o MBS apresentou um desempenho de 80,4% e o MABR de 42,7%.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Davidson *et al.* (2008) registraram taxas de TDH entre 5 e 11 minutos, utilizando reatores de leito fluidizado (FSB). Avaliando dois tipos de material suporte (areia) com tamanhos de $D_{10}=0,11$ mm e $D_{10}=0,19$ mm, foram removidos entre 66% e 88% das concentrações de DBO em efluentes de piscicultura com elevadas densidades de estocagem.

Em instalações de SRA ao nível intensivo que utilizaram um fluxo de água de 80 L/s para a criação de diferentes tipos de salmões, foi implantado um filtro de tambor

com malha de 80 μm para o tratamento do efluente, o que resultou em uma redução de apenas 26% para DBO (Sindilariu; Brinker; Reiter, 2009).

Em SRA, avaliando o DCv com TDH de 2,94 horas e o AFBR com TDH de 11,9 minutos no tratamento de efluente proveniente de três tranques de criação para Tilápia do Nilo com densidades de estocagem superiores a 30kg/m³, demonstraram-se remoções de 77,3% de DBO (Sánchez; Matsumoto, 2012). Utilizando a tecnologia MBBR (Reator de Leito Móvel com Biofilme) com nanomídia e sistema de aeração e circulação, foi possível melhorar as concentrações de DBO no ambiente de cultivo com média de remoção de 44,5% em 2 horas de TDH (Enriquez, 2018).

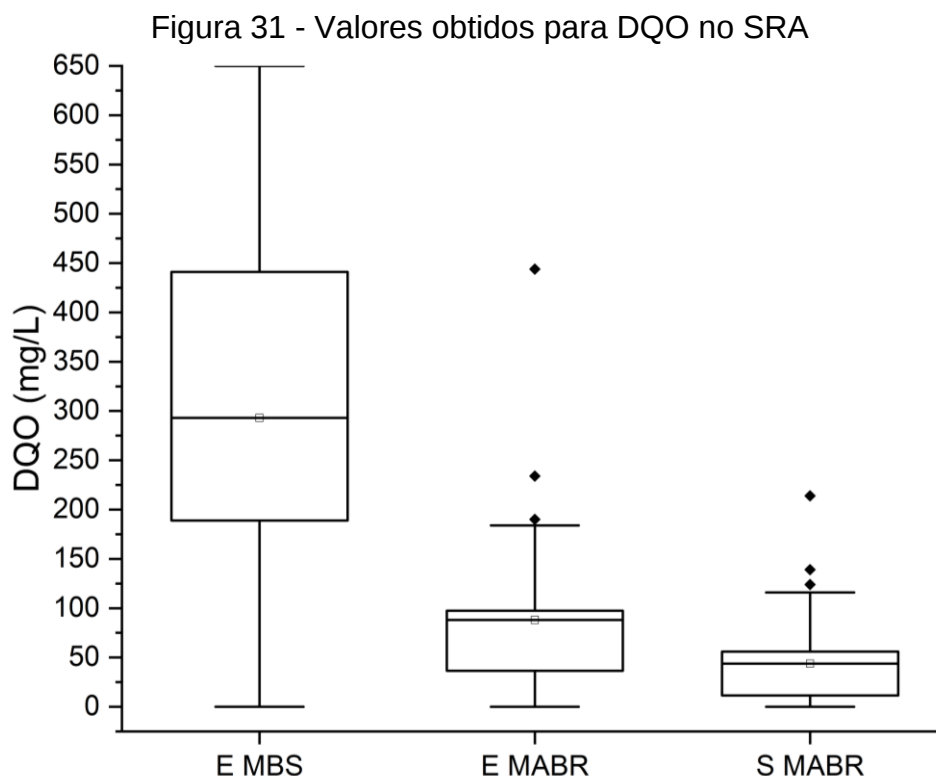
Neste experimento, a ocorrência de processos biológicos e retenção de partículas carbonáceas no leito de biomídias associado à sedimentação da fração orgânica no MBS e à decomposição microbiológica definida no MABR, contribuiu para um desempenho notável do tratamento da DBO no SRA, sendo estas tecnologias adaptadas, alternativas completamente viáveis para diminuir a carga poluidora de efluentes provenientes da aquicultura.

Dada a redução significativa de carga orgânica em termos de concentração de DBO, o efluente poderia ser lançado nos corpos de água doce, de acordo com o Artigo 16 seção II que determina um valor máximo de concentração de DBO de 120 mg/L após o tratamento, segundo a Resolução CONAMA 430 de 2011 (Brasil, 2011).

5.2.3 Demanda química de oxigênio (DQO)

A Figura 31 mostra os resultados para DQO em cada ponto avaliado no sistema. Na EMBS as medições flutuaram entre 0 e 650 mg/L, e valor médio de 293 $\pm$ 166 mg/L, como comentado no item anterior neste ponto ocorre a maior acumulação de resíduos principalmente provenientes dos processos de alimentação dos peixes.

Identificou-se uma menor concentração de DQO na entrada e saída do MABR. Na EMABR os valores variaram entre 0 e 444 mg/L com uma média de 88 $\pm$ 84 mg/L. Por fim, a SMABR apresentou uma concentração de DQO entre 0 a 214 mg/L com um valor médio de 44 $\pm$ 47 mg/L (Figura 31).



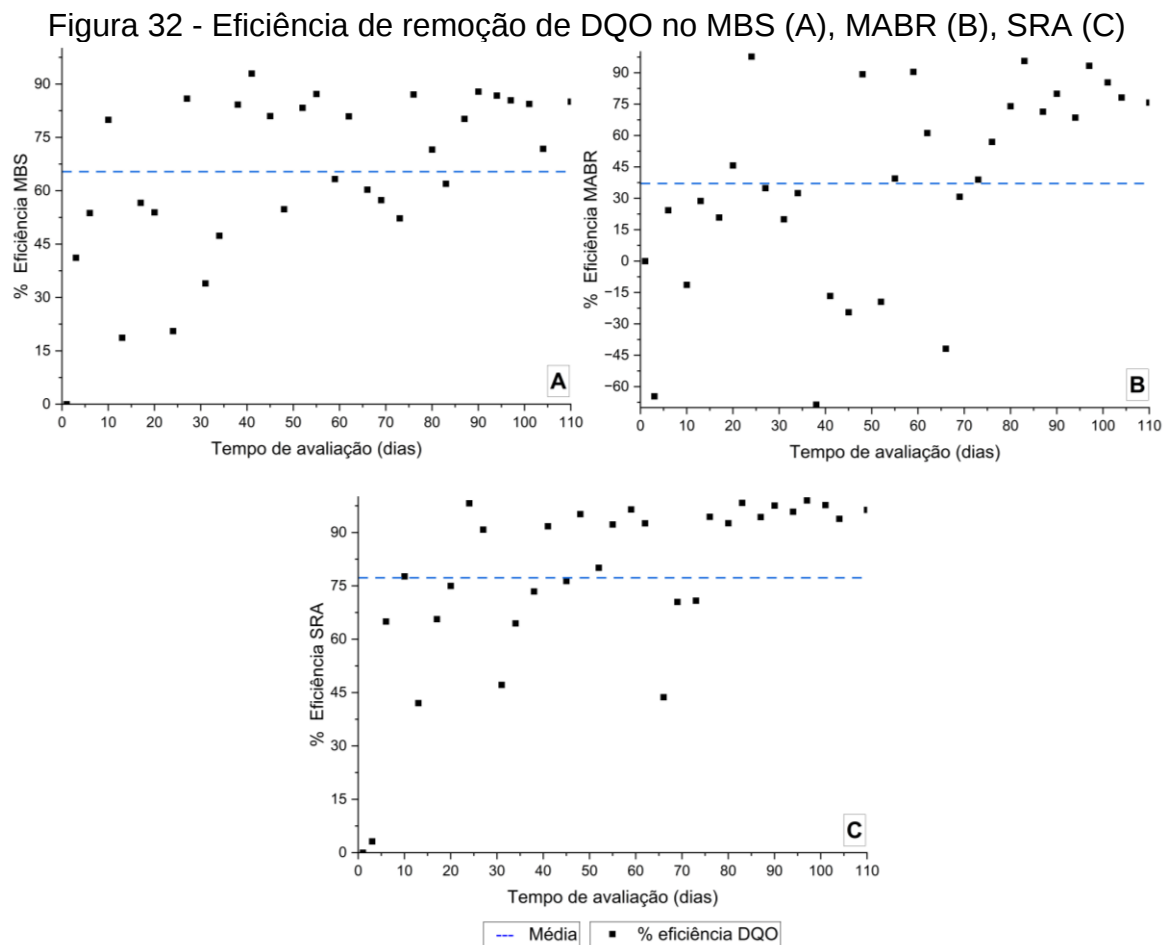
Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

A porcentagem de eficiência de remoção para DQO foi calculada e os valores estão apresentados na Figura 32. O MBS e o MABR mostraram médias de 75,2% e 62,0% respectivamente.

Os resultados entre 40-60% de remoção com TDH na faixa de 2 a 9 horas foram constatados, combinando o sistema de aeração e os processos de nitrificação em reator biológico de membranas (MBR) para tratar o efluente de cultivo de espécies marinhas (Visvanathan; Hung; Jegatheesan, 2008).

Sánchez e Matsumoto (2012) determinaram uma remoção de 47,4% de DQO, combinando para o tratamento um DCv e AFBR. Sistemas de recirculação para o cultivo de Tilápia, integrado por um DC com TDH de 33 minutos seguido por um reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos (BAS-CT) com 12 minutos de TDH, tiveram uma redução de 64,9% no teor de DQO (Matsumoto, Enriquez, 2016).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Ao analisar o MBS e o MABR utilizadas nesta pesquisa, verificou-se uma redução média de 88,4% em relação às 1,8 horas de TDH, o que demonstra a eficiência do MBS se comparado com outros tipos de tecnologias.

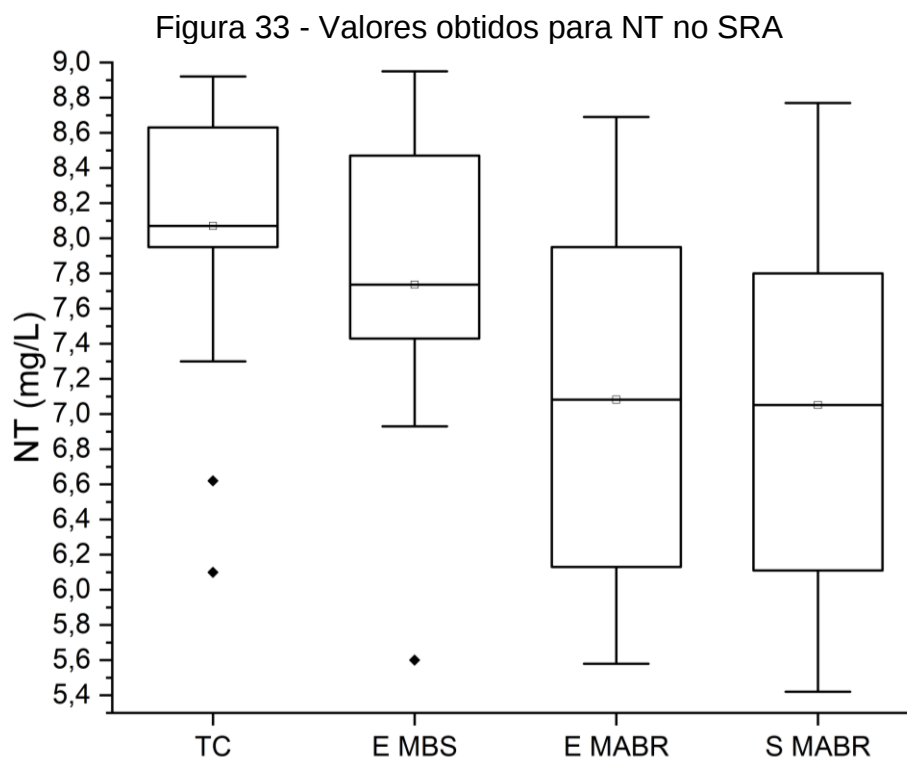
Como é recomendado por diversos autores, o enchimento do leito em tecnologias MBS deve ser inferior a 70% do volume total, para favorecer o movimento livre das mídias e desenvolvimento dos processos biológicos (Rusten *et al.*, 2006; Salvetti *et al.*, 2006; Mcquarrie; Boltz, 2011; Abnt, 2011), neste caso o enchimento do leito adotado foi de 50%, o que, de certa maneira favoreceu a eficiência de remoção para este parâmetro no MBS.

No entanto, no MABR é indispensável que as características hidráulicas atendam diversos fatores, dentre os quais, pode ser tratado o período de TDH para a diminuição destes poluentes.

5.2.4 Nitrogênio total (NT)

A concentração mínima, máxima e média para o NT mostra-se na Figura 33. O teor de nitrogênio no tanque de criação permaneceu na faixa de 6,1 e 8,9 mg/L com uma média de $8,1 \pm 0,8$ mg/L, concentrações que não interferiram no desenvolvimento e sobrevivência dos organismos de cultivo.

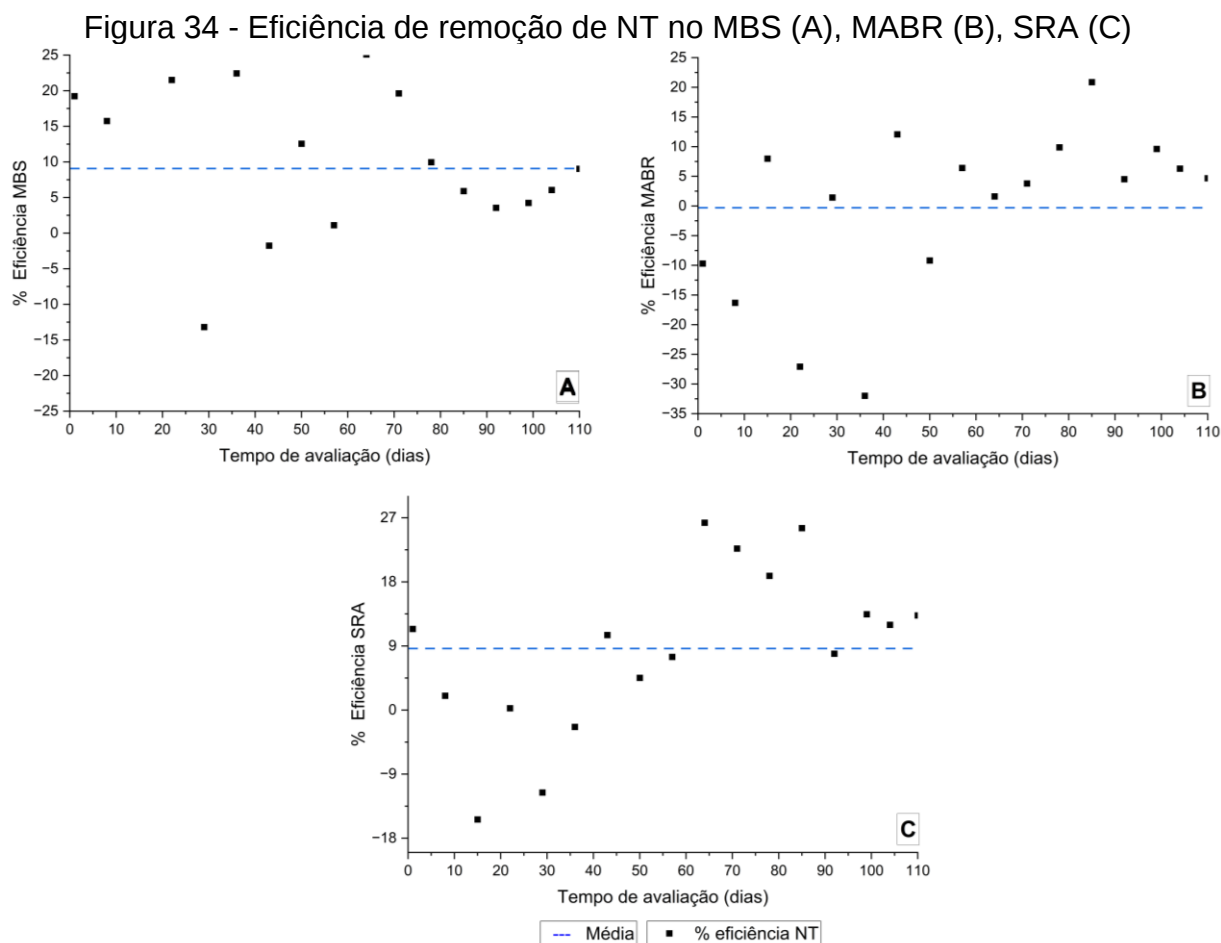
Seguidamente, na entrada do MBS o NT apresentou valores entre 5,6 e 9,0 mg/L atingindo uma média de $7,7 \pm 0,8$ mg/L. Na entrada do MABR os valores oscilaram entre 5,6 e 8,7 mg/L com uma média de $7,1 \pm 1,0$ mg/L. Finalmente, na saída do MABR, os valores foram de 5,4 e 8,8 mg/L com uma média de $7,1 \pm 1,0$ mg/L (Figura 33).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Segundo as medições realizada para o NT foram obtidas as médias para eficiência de remoção deste parâmetro. O MBS reportou uma redução de apenas 9,9%, enquanto o MABR apresentou um valor de 8,1% e a média global do sistema de 17,5%, conforme apresentado na Figura 34. Observa-se um valor de remoção baixo no MABR devido às condições mínimas de oxigênio.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

É possível verificar uma variação parcial, sobretudo na entrada e saída do MABR ao longo do experimento. Apesar da eficiente remoção de sólidos pelo MBS (Itens 5.2.9 e 5.2.10), os problemas associados ao entupimento nos tubos no sistema tiveram um impacto significativo na concentração de oxigênio, conjuntamente com o desprendimento de biofilme, o que, por consequência impediu o desenvolvimento dos processos microbiológicos de forma eficaz para posterior remoção de NT.

Em virtude de, que, a desnitrificação ocorre ante a presença de carbono, em condições anóxicas, nas quais pode intervir o nitrito e outro tipo de compostos nitrogenados como intermediários, ou também em processos com adição de uma fonte de carbono além da presente no efluente (Van Rijn, 2013). Também tem sido descrita a desnitrificação em presença de camadas anóxicas-anaeróbicas devido a desenvolvimento do biofilme como o reportado por Von Sperling (2005). Porém, neste trabalho não aconteceram com eficácia esses processos.

Em um sistema de tratamento para piscicultura de águas frias, composto por um reator de fluxo ascendente (UPMR) operado com TDH de 54 minutos e um AFBR

com 16 minutos de TDH, foram constatadas eficiências menores de remoção de NT com uma média de apenas 6% (Cardenas; Sánchez, 2020).

Maiores reduções de NT em maiores tempo de operação, foram descritos por Pulefou *et al.* (2008) analisando a aplicação do reator de membrana submersa (SMBR). A tecnologia reduz a concentração deste nutriente em 70%, com TDH aproximado de 3 horas. Todavia, foram alcançadas grandes remoções de 88% com TDH de 6,5 horas com tecnologias do tipo *pucked-bed* e bactérias anammox em um fluxo contínuo de efluentes marinhos (Duc *et al.*, 2018).

Chen *et al.* (2021), avaliaram após o reator de nitrificação o desempenho de um reator de desnitrificação em fase sólida (SPDR), com uma parte do reator preenchida com papelão ondulado como meio suporte para formar uma área anaeróbia e abrigar a comunidade microbológica. Com essas condições, o reator conseguiu remover um 82,8% de NT em um TDH de 11,5 minutos.

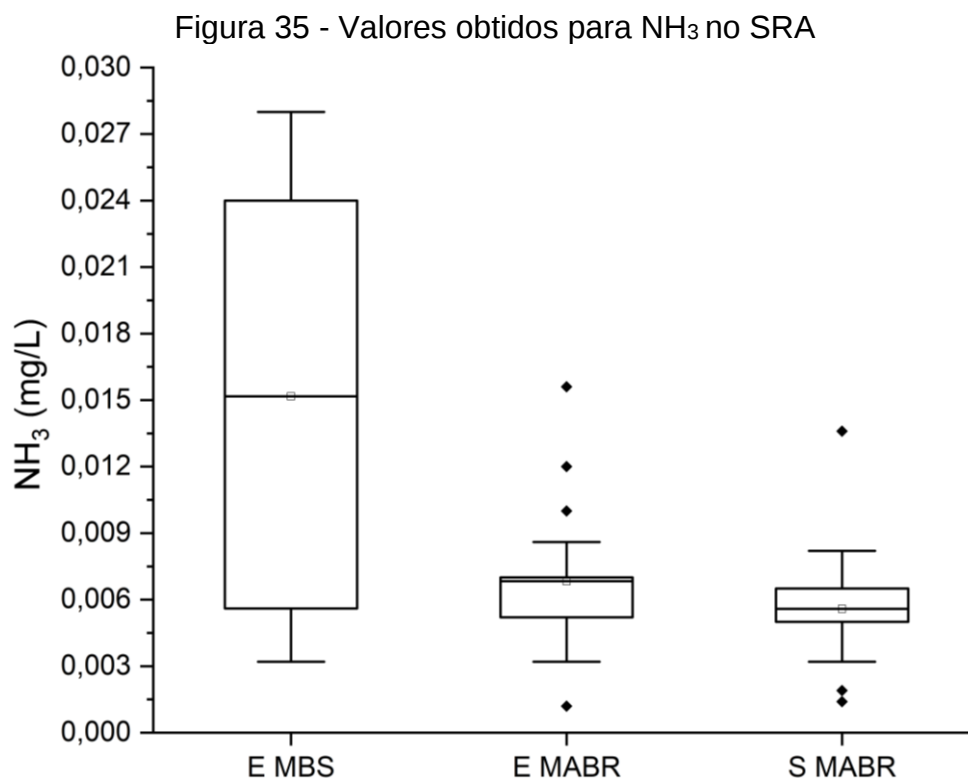
No tratamento de efluentes de aquicultura, também foi relatada a utilização de biorreatores com membrana (MBR) com o enchimento de 0,5 L (10% do volume total do reator) de esponja como meio suporte. A remoção foi eficiente em 53,4% com um TDH de 4 horas (Chan; Chiemchaisri; Chiemchaisri, 2021).

Assim, constata-se que, principalmente no MABR os processos de transformação de NT não foram progressivos e favoráveis para a diminuição deste composto.

5.2.5 Amônia não ionizada (NH₃) e amônia ionizada (NH₄⁺)

Apresentam-se nas Figuras 35 e 36 as concentrações obtidas para os íons amônia não ionizada e amônia ionizada nos diferentes pontos avaliados no SRA.

Na EMBS se registraram medições de NH₃ entre 0,003 e 0,028 mg/L, com um valor médio de 0,015 ± 0,009 mg/L. Na EMABR valores entre 0,001 e 0,016 mg/L com uma média de 0,007 ± 0,003 mg/L. Na SMABR, os valores foram entre 0,001 e 0,014 mg/L com uma média de 0,006 ± 0,003 mg/L como pode ser observado na Figura 35.



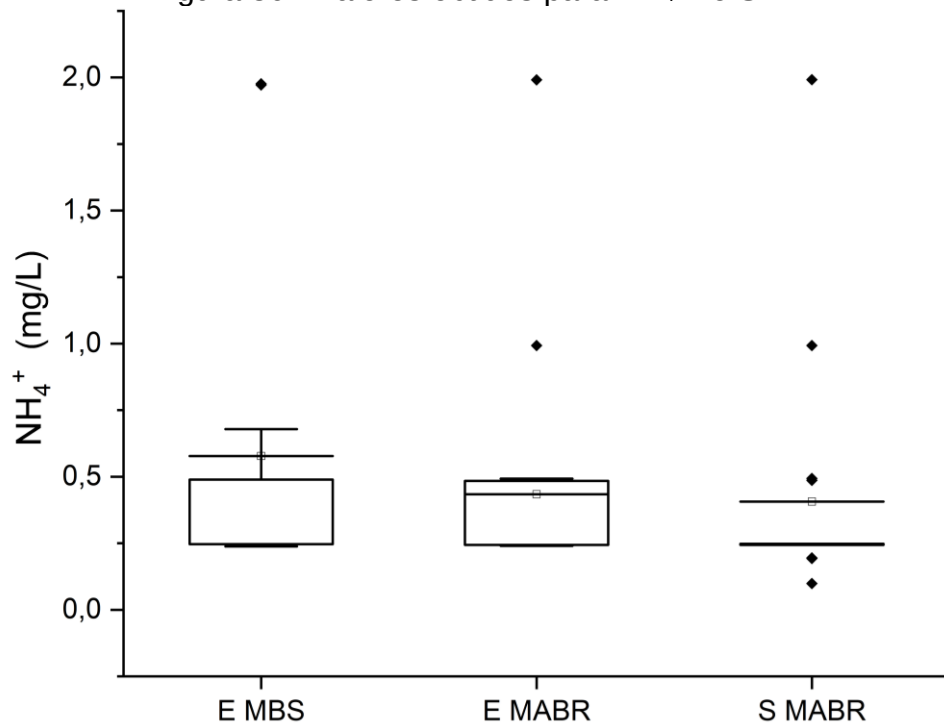
Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

A amônia na forma não ionizada é significativamente maior na entrada do MBS, diminuindo a concentração deste parâmetro ao longo de cada ponto do monitoramento indicando a melhoria das condições de qualidade da água no SRA para a criação da Tilápia.

Em relação ao NH_4^+ foram identificadas as seguintes variações ao longo do tempo de avaliação. Na entrada do MBS os valores variaram entre 0,24 e 1,98 mg/L com uma média de $0,58 \pm 0,53$ mg/L. Na entrada do MABR a faixa permaneceu entre 0,24 e 1,99 mg/L com uma média de $0,43 \pm 0,43$ mg/L. Por fim, na saída do MABR, as concentrações oscilaram entre 0,1 e 1,99 mg/L com uma média de $0,41 \pm 0,44$ mg/L, como mostra a Figura 36.

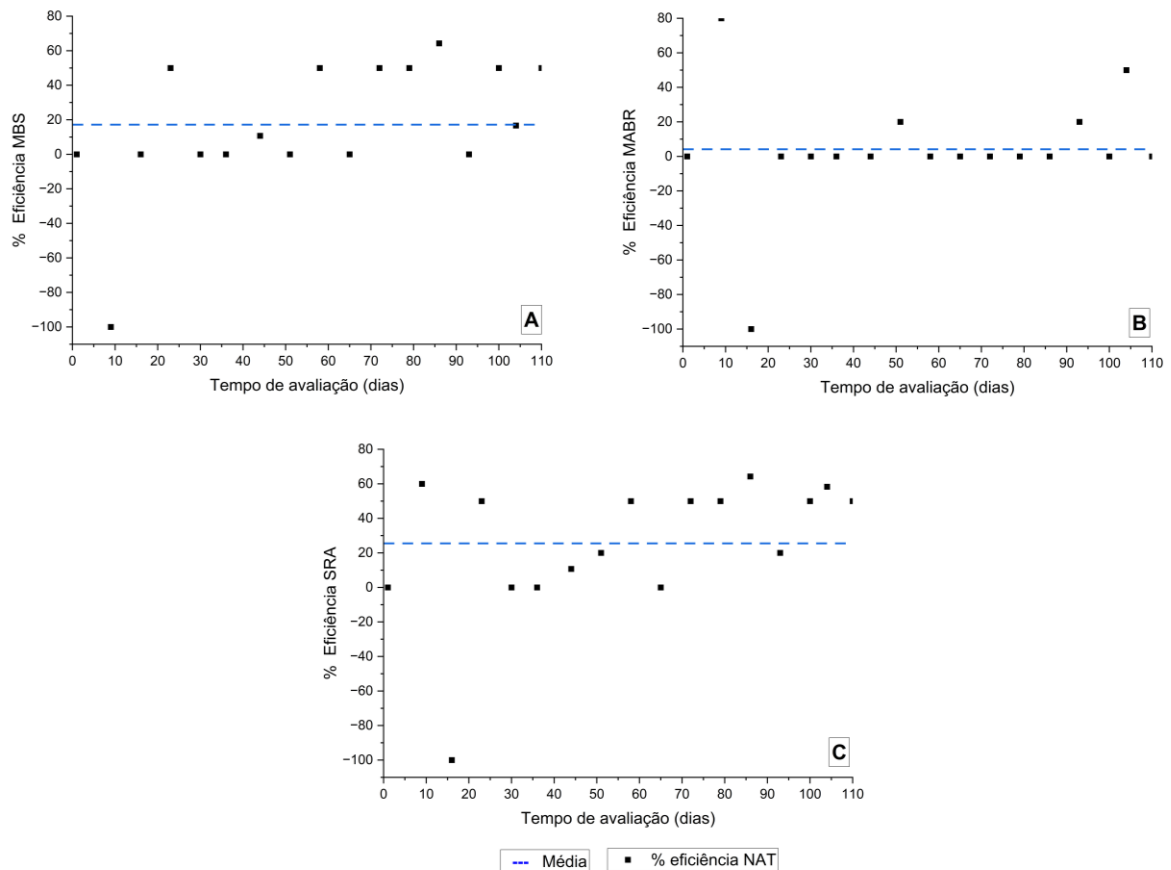
A eficiência de remoção do NAT no SRA foi determinada pela concentração de NH_3 e NH_4^+ conforme evidenciado na Figura 37. No MBS a remoção média foi de 35,1%, no MABR de 8,8%.

Figura 36 - Valores obtidos para NH_4^+ no SRA

Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Figura 37 - Eficiência de remoção de NAT no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

No transcorrer da operação do SRA especialmente na SMABR observou-se que os valores de NO_2^- e NO_3^- não registraram concentrações similares (Ver itens 5.2.6 e 5.2.7), verificou-se que o NO_3^- foi significativamente superior que o NO_2^- na SMABR, com isso uma diminuição na forma reduzida e um incremento da forma mais oxidada, considera-se assim, a ocorrência dos processos de nitrificação, efetivamente pela conversão de amônia total a nitrato, assim o sistema conformado por MBS e MABR por intervenção dos processos de nitrificação diminui o NAT em média de 42,8%.

Além disso, as concentrações de NAT não ultrapassaram os 2 mg/L, atendendo ao estabelecido pelos padrões de lançamento, por conseguinte, o efluente resultante neste experimento pode ser lançado em corpos de água de Classe 2.

Ao utilizar o DCv e AFBR no tratamento de efluente de piscicultura em SRA, foi reportada uma diminuição do NAT em 27,1% (Sánchez; Matsumoto, 2012). O BAS-CT foi utilizado no SRA para o cultivo de Tilápia, com uma taxa de remoção média de NAT de 35,2% e os TDH destinados para conseguir esta eficiência foram em torno dos 45 minutos (Matsumoto, Enriquez, 2016).

Cardenas e Sánchez (2020), em seu experimento utilizando como unidades de tratamento o UPMR (TDH = 54 minutos) e o AFBR (TDH = 16 minutos) em SRA, mostraram que as tecnologias são capazes de remover uma fração do amônio na forma de íon NH_4^+ , visto que, a eficiência alcançou uma redução nas concentrações de 52,5%.

Liu *et al.* (2013) demonstraram que o TDH tem um efeito significativo na remoção de NAT quando colocadas microesferas em biofiltros em um SRA, assim, os resultados mostraram uma eficiência de 60% em 10 minutos de TDH, e uma redução de 20% em 2 minutos.

Recentemente, foi comprovado o potencial de redução do NAT em aquicultura com o sistema conformado por membranas de matriz mista, como relatado por Ahmadiannamin *et al.* (2017), cujos resultados mostraram uma eficiência de remoção de NAT superior a 90%.

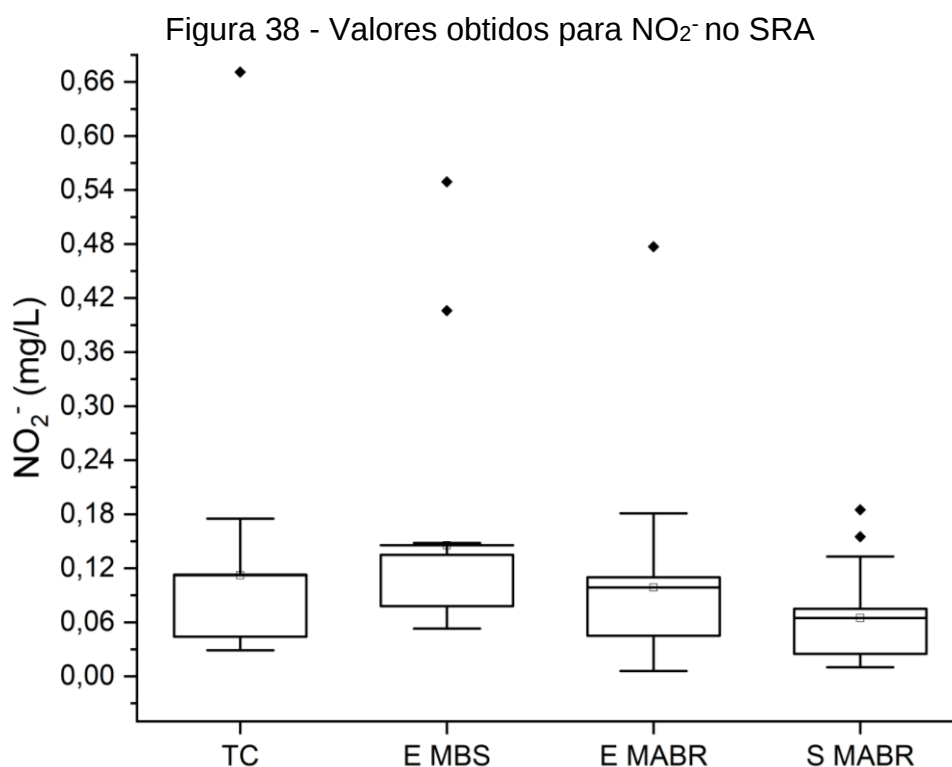
A tecnologia MBBR foi implementada com TDH de 31 minutos, e conseguiu-se uma taxa de redução de 26,7%. A concentração de NAT presente no efluente residual permaneceu estável mantendo concentrações mínimas e assegurando a qualidade da água (Han *et al.*, 2022).

Nesse cenário, verificou-se uma redução na taxa de remoção do NAT no MABR, que, como supracitado em itens anteriores a deficiência nas concentrações de OD no reator, provavelmente, inibiram consideravelmente o progresso da comunidade de bactérias oxidantes de amônia, e limitaram a ocorrência da nitrificação nesta unidade de tratamento o que teve impacto nos resultados de remoção de NAT.

5.2.6 Nitrito (NO_2^-)

As medições mínima, máximo e média para NO_2^- nos diferentes pontos selecionados para monitoramento no SRA, estão representadas na Figura 38.

No tanque de criação, foi possível identificar um valor mínimo de 0,03 mg/L, um máximo de 0,67 mg/L e uma média de $0,11 \pm 0,15$ mg/L. Valores inferiores a 1,0 mg/L são recomendados para a criação de Tilápia e não refletem sobre o bem-estar dos organismos segundo Kubitza (2011).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

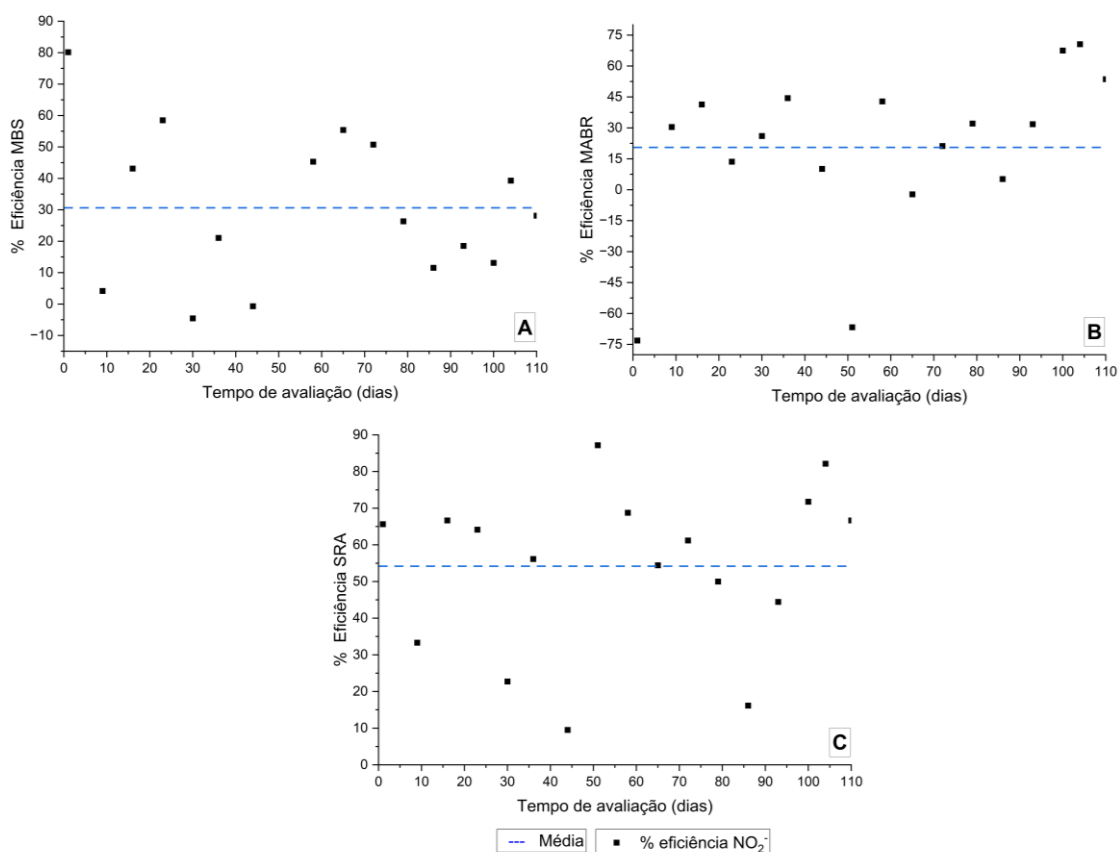
Os seguintes pontos de monitoramento apresentaram as seguintes variações para o NO_2^- . Na entrada do MBS, os valores variaram entre 0,05 mg/L e 0,55 mg/L,

média de $0,15 \pm 0,13$ mg/L. Na entrada do MABR registrou-se uma faixa entre 0,01 e 0,48 mg/L, a média permaneceu em $0,10 \pm 0,11$. Finalmente na saída do MABR, foram verificadas concentrações entre 0,01 e 0,19 mg/L com uma média de $0,06 \pm 0,05$ mg/L (Figura 38).

Constatou-se um aumento nas concentrações no EMBS e diminuição na SMABR, visando melhorar as condições de qualidade de água em termos de NO_2^- , levando em consideração que o efluente volta novamente para o tanque de criação de Tilápia. Além disso, conforme os padrões de lançamento em corpos de água doce, definidos pela resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011), a concentração de NO_2^- está dentro do limite permitido de 1,0 mg/L, em vista disto, o efluente não causa nenhum risco ou alteração em qualquer corpo hídrico receptor de Classe 2.

O MBS conseguiu uma remoção média de NO_2^- de 30,4%, o MABR apresentou de 35,0%, e a capacidade de remoção pelo sistema conjuntamente, atingiu uma média de 55,9%. Na Figura 39, estão representadas as porcentagens de remoção do NO_2^- no decorrer do período de avaliação.

Figura 39 - Eficiência de remoção de NO_2^- no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Ao avaliar um reator biológico utilizando diversos meios de suporte, como biomídia (Kaldnes), lascas de madeira e palha de trigo, Saliling; Westerman; Losordo (2007) obtiveram uma redução do NO_2^- de 97,9%, 99,2% e 99,8% respectivamente, em tempos de detenção hidráulica próximos aos 18 minutos. Um SRA com reator de leito fluidizado e tecnologia de células imobilizadas foi implantado com TDH de 12 minutos, atingiu-se uma remoção média de 80% de nitrito (Peirong; Weig, 2011).

Em TDH maiores a 24 horas, também foram demonstradas eficiências superiores a 90% em efluentes de piscicultura, cujos processos de nitrificação ocorreram em um MBBR (Tadda *et al.*, 2021).

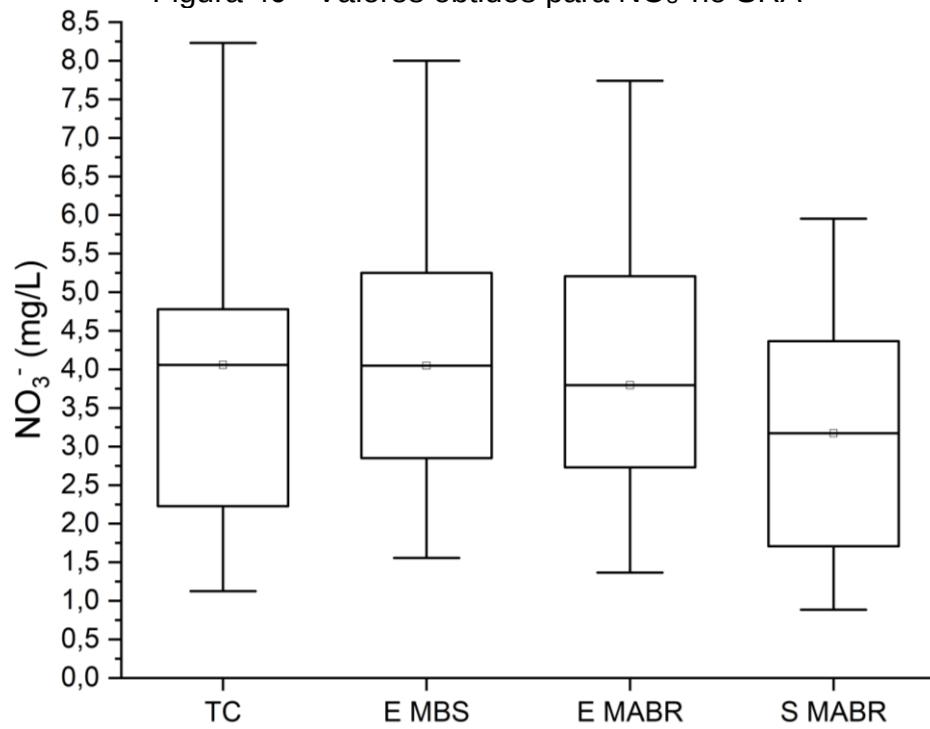
Esses resultados de remoção de NO_2^- obtidos neste experimento, indicam que, houveram maiores taxas de crescimento de bactérias oxidantes de nitrito, uma vez que, na entrada e saída do MABR o pH foi próximo a 7,5, o que está dentro da faixa ideal para o desenvolvimento bacteriano.

Como relatam Metcalf e Eddy (2003) e Von Sperling; Verbyla; Oliveira (2020), o pH é um dos elementos fundamentais para a formação de colônias bacterianas, sendo que valores inferiores a 6 inibem sua atividade metabólica. Dessa forma, pode-se inferir que o sistema proposto proporcionou eficiência na remoção de mais de 50% da concentração inicial de NO_2^- .

5.2.7 Nitrato (NO_3^-)

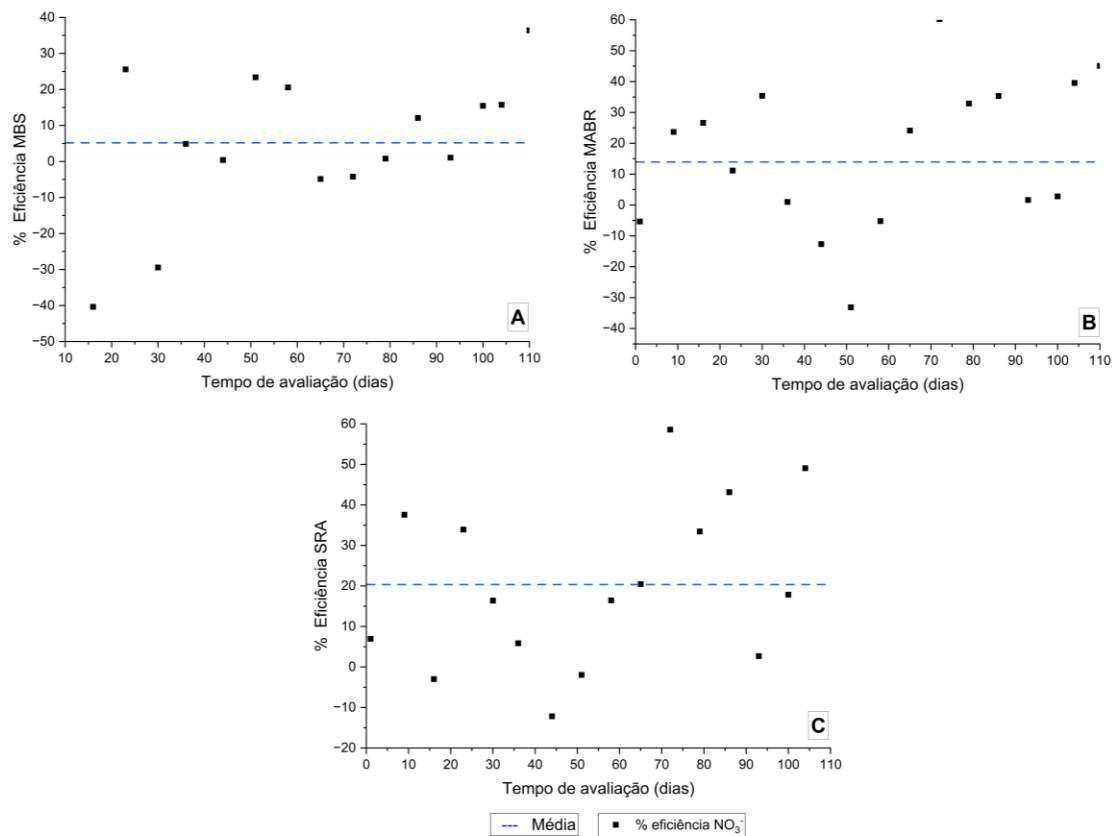
Os teores mínimos, máximos e médios de NO_3^- estão representados na Figura 40. As medições mostraram uma variação de NO_3^- no tanque de criação entre 1,13 e 8,23 mg/L com valor médio de $4,06 \pm 2,14$ mg/L. Na EMBS, foram encontradas concentrações entre 1,56 e 8,00 mg/L com valor médio de $4,05 \pm 1,71$ mg/L. Na SMABR percebeu-se uma faixa entre 1,37 e 7,74 mg/L com média de $3,80 \pm 1,70$ mg/L, por fim, na saída do MABR valores de NO_3^- entre 0,88 e 5,95 mg/L com média de $3,17 \pm 1,55$ mg/L.

Em termos de eficiência de remoção para NO_3^- , foram calculados valores de 9,1%, 30,2% e 36,3%, no MBS, MABR e SRA respectivamente, como exhibe a Figura 41.

Figura 40 - Valores obtidos para NO_3^- no SRA

Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Figura 41 - Eficiência de remoção de NO_3^- no MBS (A), MABR (B), SRA (C)

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Resultados inferiores alcançados neste experimento foram reportados por Almeida *et al.* (2023), que constataram eficiências em SRA com média para NO_3^- de 13%, em torno de 2,2 horas de TDH. Com MBBR também foram relatadas mínimas eficiências de 28% em 24 horas de TDH (Kawam *et al.*, 2021).

Os processos de nitrificação, anammox e desnitrificação simultâneos (SNAD) foram aplicados no tratamento de efluentes de piscicultura, exibiram eficiências de remoção de nitrato maiores de 63% com TDH de 5 horas (Lu *et al.*, 2020).

Um reator de leito móvel, destinado a processos desnitrificantes, foi operado em SRA com efluente de espécies marinhas. Com TDH de 25 minutos, se conseguiu uma diminuição de 62,3% de nitrato (Melo Filho *et al.*, 2020).

Mesmo que no MABR aconteceram maiormente os processos de oxidação de NO_3^- no SRA analisado neste trabalho, é necessário adequar as condições para os que ocorram os processos de nitrificação com maior eficiência percebendo remoções maiores as descritas neste experimento.

As concentrações finais obtidas para nitrato indicam que o efluente final do SRA para o cultivo de Tilápia atende o padrão de lançamento de recursos hídricos (10 mg/L NO_3^-), de acordo com a resolução vigente.

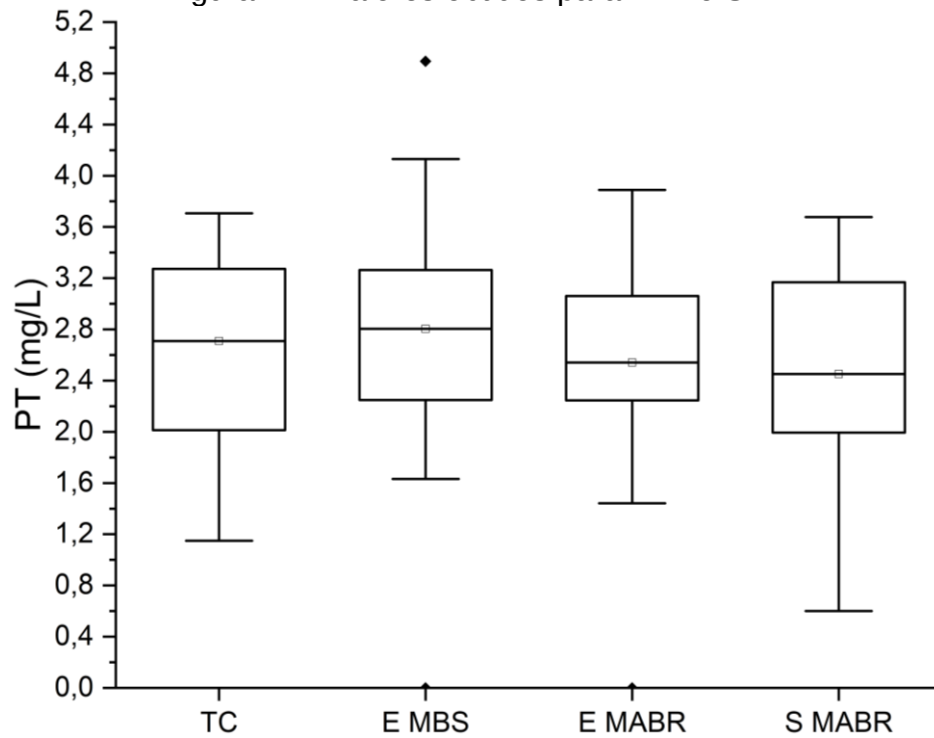
5.2.8 Fósforo total (PT)

Na Figura 42, apresenta-se o comportamento do PT nos diferentes pontos escolhidos para o análise no SRA. A média no tanque de criação permaneceu em $2,7 \pm 0,8$ mg/L.

Nos seguintes pontos de amostragem, exibem-se maiores variações, visto que, na entrada do MBS o teor de PT está entre 0,0 e 4,9 mg/L, com média de $2,8 \pm 1,1$ mg/L. Na entrada do MABR o PT oscilou entre 0,0 e 3,9 mg/L com uma média de $2,5 \pm 0,9$ mg/L, e concentrações entre 0,6 e 3,7 mg/L com uma média de $2,5 \pm 0,9$ mg/L foram atingidas na saída do MABR (Figura 42).

As eficiências médias de remoção do PT ao longo da operação do SRA, foram de 15,1% no MBS, 17,7% no MABR e como resultante de 29,7%, como observa-se na Figura 43.

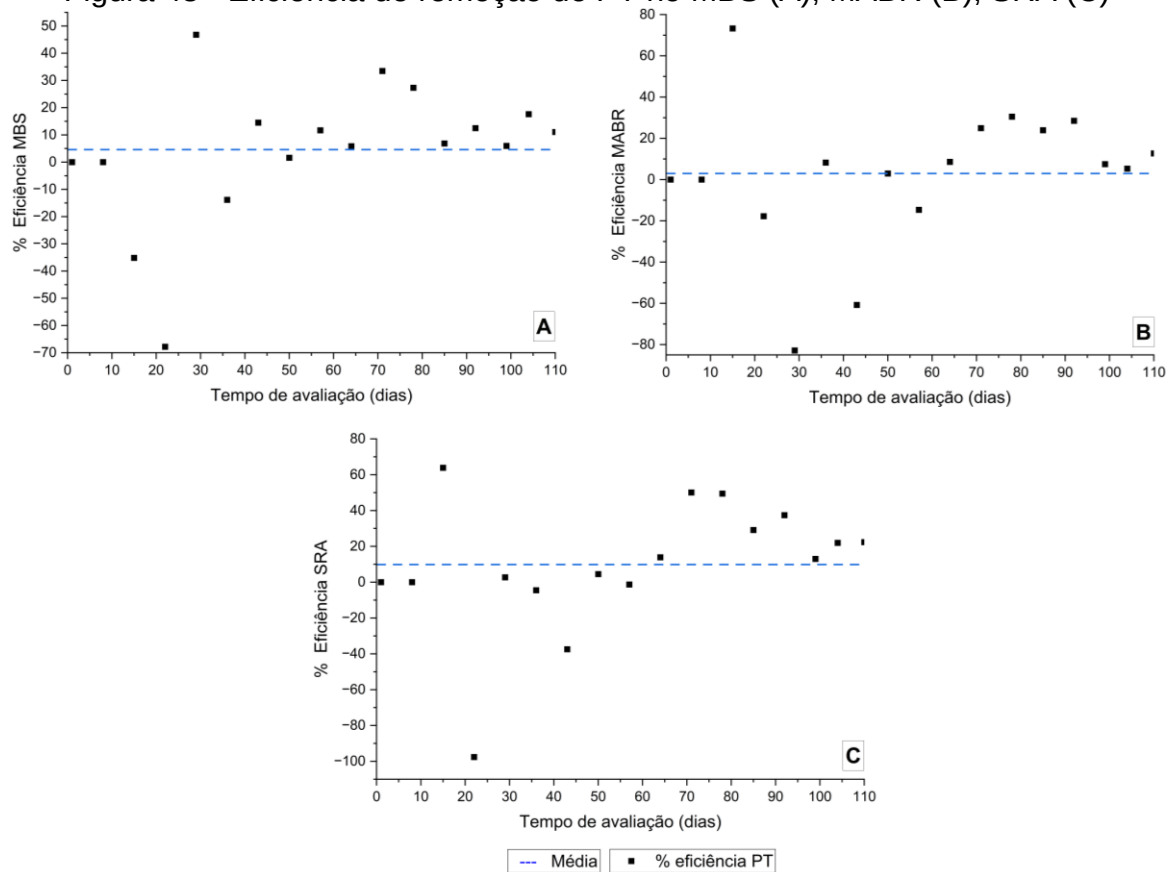
Figura 42 - Valores obtidos para PT no SRA



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Figura 43 - Eficiência de remoção de PT no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A eficiência do MABR na remoção de PT com a mesma configuração hidráulica utilizada nesta pesquisa foi superior à obtida por Almeida *et al.* (2023), que conseguiu apenas 2% de remoção de PT. Por outro lado, o MBBR adaptando diferentes volumes de enchimento do meio suporte, tem a capacidade de reduzir o fósforo presente no efluente entre 20-24% com 5 horas de TDH (Quan *et al.*, 2012).

Todavia, foram demonstradas remoções baixas de 12% em MBBR com períodos de detenção hidráulica de 24 horas. Apesar de conseguir reduzir uma fração do fósforo presente no efluente residual, os processos adaptados devem atender a capacidade de remoção dos nutrientes conforme tempos viáveis para implementação (Kawam *et al.*, 2021). Maiores índices de remoção foram obtidos com reatores em batelada sequencial (SBR) de 98% com TDH de aproximadamente 8 horas (Wang *et al.*, 2018).

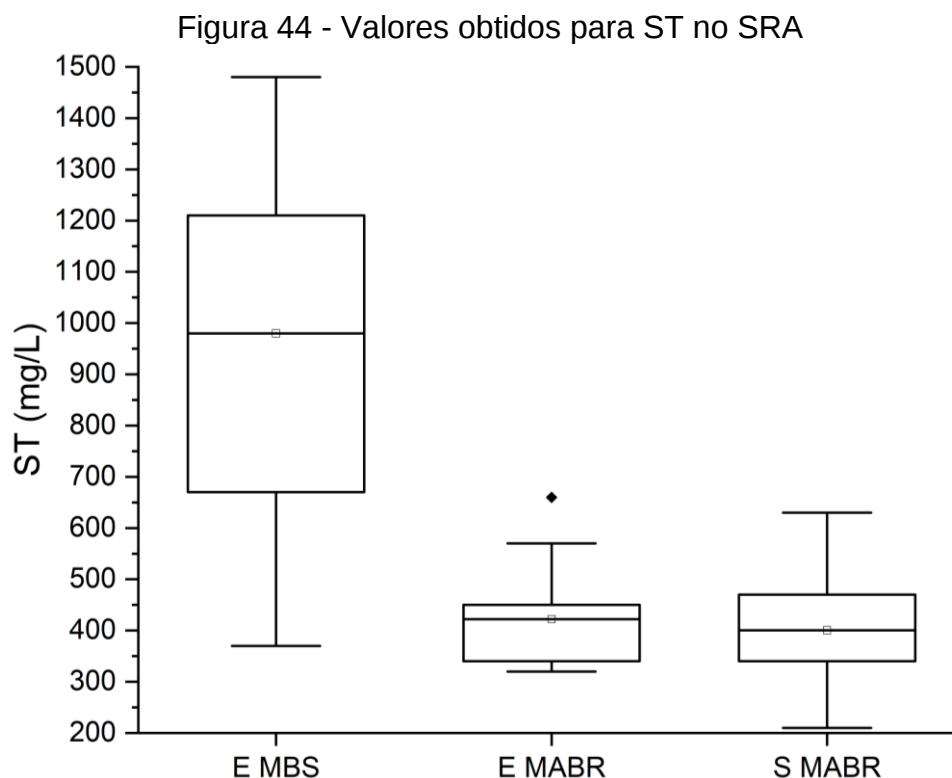
Visto que, o progresso da remoção biológica de fósforo é devido as condições aeróbias e anaeróbias. De modo que, em ausência de oxigênio ocorre o desenvolvimento de microrganismos acumuladores de fósforo (OAPs), que são capazes de acumular este elemento na forma de polifosfatos para decomposição de DBO. Finalmente, em condições aeróbias com suficiente fonte de carbono orgânico e energia ocorrem as remoções de fósforo (Von Sperling 2007; Metcalf; Eddy, 2016; Sedlak, 2018).

De certa maneira, as variações do oxigênio no MABR contribuíram para a ocorrência dos processos de remoção biológica do PT.

5.2.9 Sólidos totais (ST)

A Figura 44 mostra o limite inferior, superior e a média para ST. Se pode notar uma grande variação nas concentrações de ST em cada ponto de monitoramento no SRA para a criação de Tilápia.

Na entrada do MBS o teor de ST permaneceu entre 370 a 1480 mg/L, com média de 980 ± 340 mg/L. Na entrada do MABR os valores oscilaram entre 320 a 660 mg/L, e uma concentração média de 422 ± 92 mg/L. E na saída do MABR os ST variaram entre 210 a 630, com média de 401 ± 104 mg/L (Figura 44).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

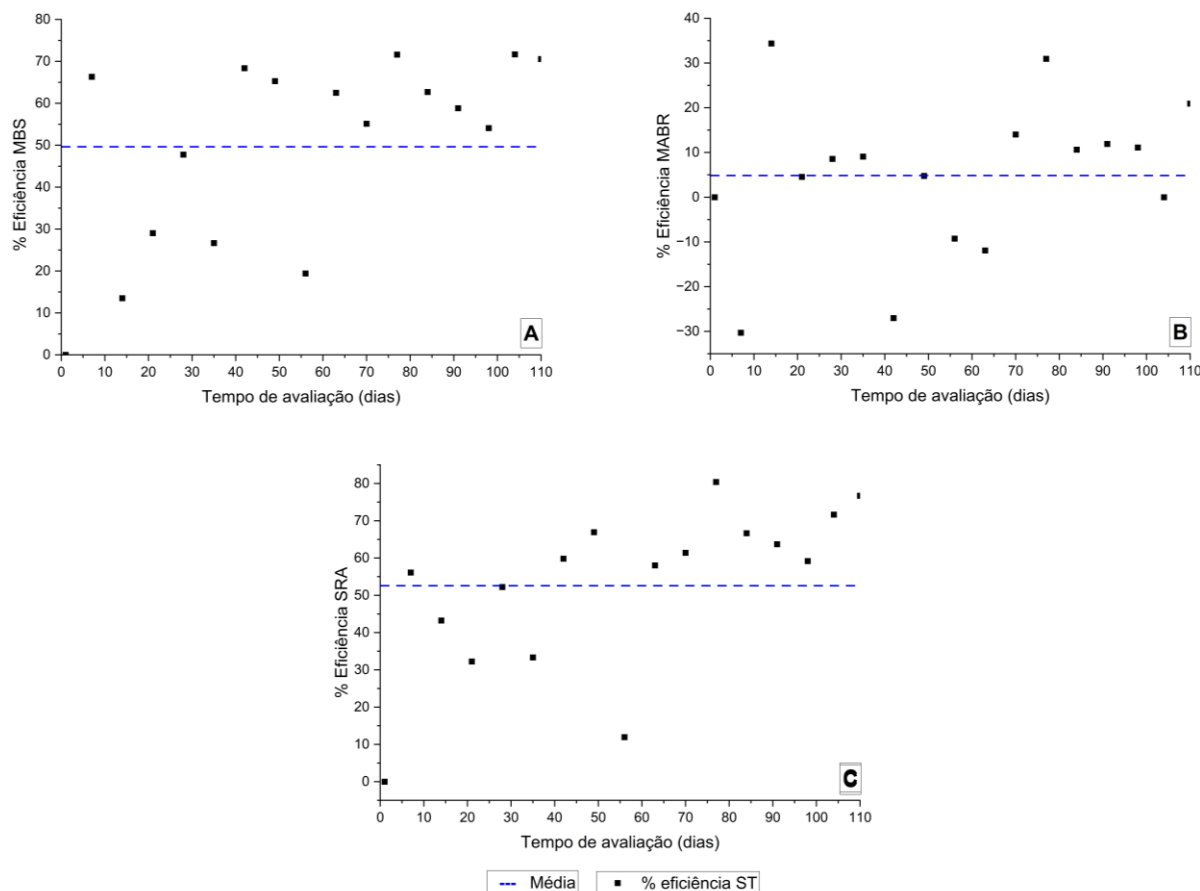
Essas concentrações de sólidos totais no MBS são superiores aos reportados por Freddi (2019) e Almeida *et al.* (2023), devido à maior densidade de estocagem de Tilápia do Nilo no SRA utilizada neste experimento, o que resultou em quantidades significativas de sólidos.

A eficiência em média de remoção de ST foi calculada a partir dos resultados obtidos nos diferentes pontos avaliados, com um valor de 67,2% no SRA, sendo que o MBS aportou com 63,4% na eficiência total do sistema, e o MABR com 11,0%, como se observa na Figura 45.

A redução relevante dos sólidos totais no MBS foi significativamente maior que a obtida utilizando o DC, cujos resultados indicaram uma eficiência em média de apenas 11% com TDH de 1 hora, segundo o estudo realizado por Almeida *et al.* (2023).

Enriquez *et al.* (2013), compararam o desempenho de dois tipos de decantadores no efluente de piscicultura; um DCv com fluxo horizontal e um DC, cujas características específicas de TDH atenderam 2,94 horas e 33 minutos respectivamente. O DCv resultou em uma eficiência de 25,7% e o DC em 43,7% de eficiência de remoção de ST.

Figura 45 - Eficiência de remoção de ST no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

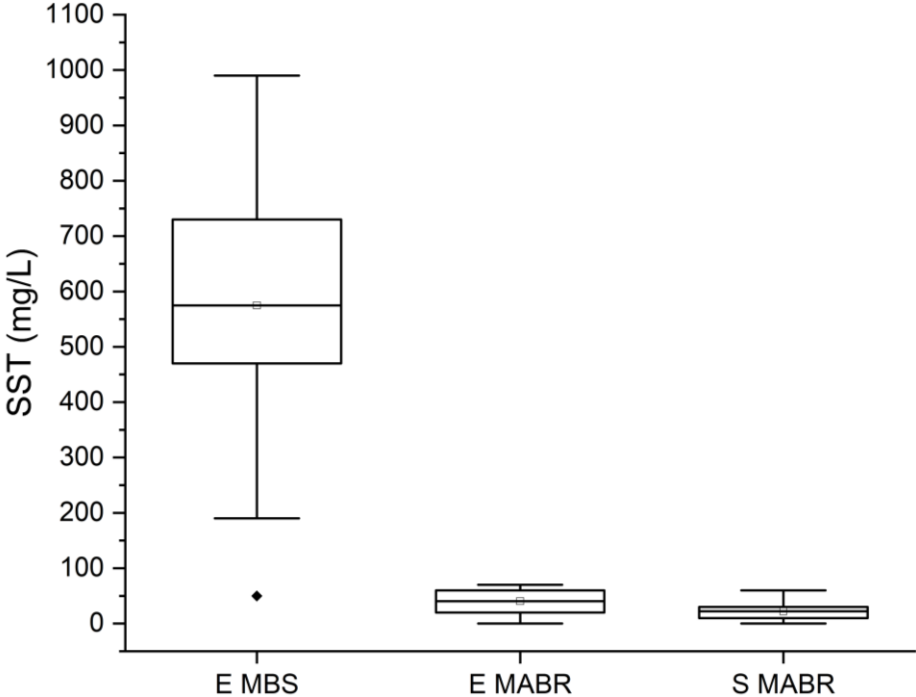
Destaca-se a representativa remoção de ST no MBS, o que demonstra a relevância do acréscimo das biomédias e o fluxo ascendente adaptado no decantador, que resultou na redução de concentração de sólidos totais de forma eficaz.

5.2.10 Sólidos suspensos totais (SST)

As concentrações medidas de SST foram maiores na entrada do MBS, a faixa resultou entre 50 a 990 mg/L com uma média de 575 ± 257 mg/L. Na entrada do MABR a concentração permaneceu entre 0 a 70 mg/L e 41 ± 24 mg/L de valor médio. E na saída do MABR os valores foram entre 0 a 60 mg/L valor médio de 22 ± 18 mg/L, comportamento que se evidencia na Figura 46.

Dessa maneira, a eficiência no MBS apresentou uma média de 94,4%, enquanto o MABR teve uma média de 58,0% de remoção, o SRA resultou em 97,1% de eficiência em remoção de SST, como está descrito na Figura 47.

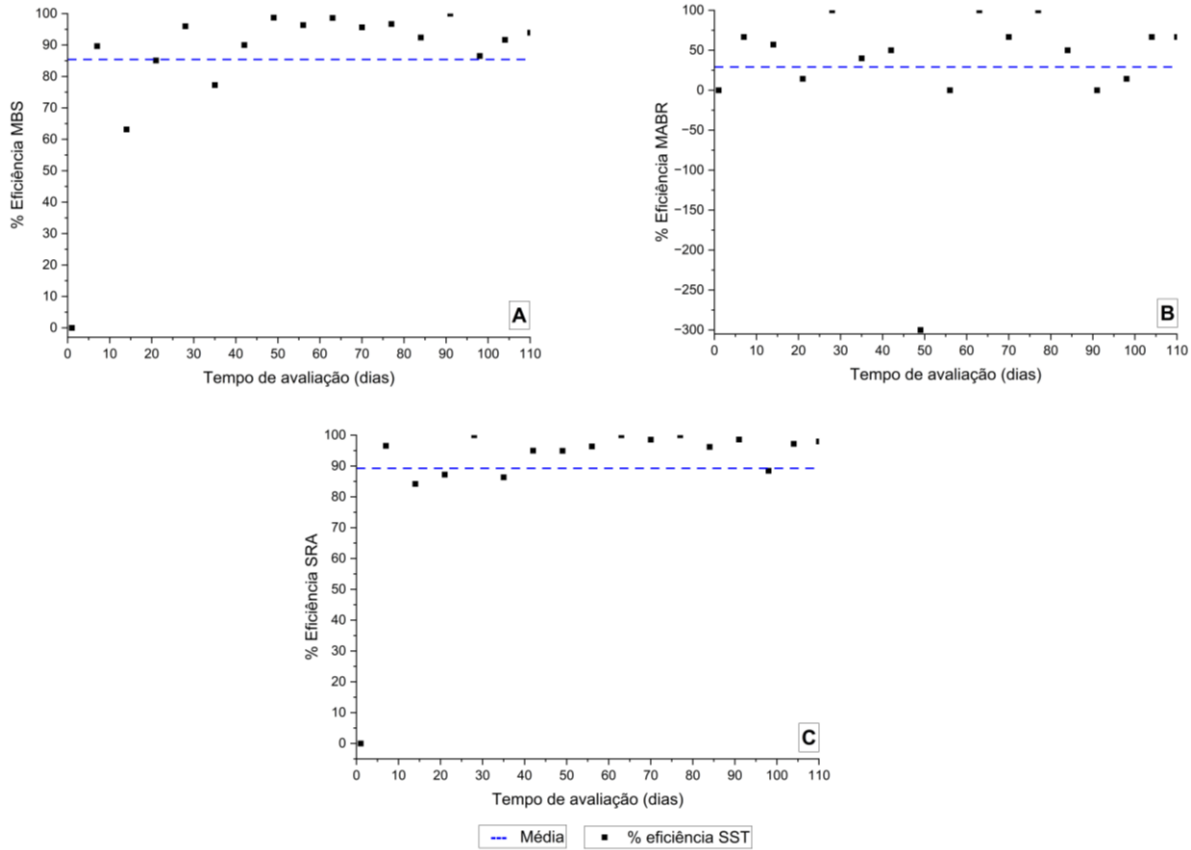
Figura 46 - Valores obtidos para SST no SRA



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Figura 47 - Eficiência de remoção de SST no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Khater *et al.* (2011) adaptaram um hidrociclone e um filtro tipo tambor em sistemas de recirculação aquícola e reportaram remoções de SST entre 27,4 e 57,8% e 15,5 e 57,7% respectivamente.

Bun *et al.* (2017) compararam os diâmetros efetivos de dois meios filtrantes. Os resultados mostraram que a areia com $D_{10} = 0,80$ mm em conjunto com a antracite com $D_{10} = 2,36$ mm, alcançaram uma de remoção de 93,2% com TDH de 57 minutos, e volume útil do biofiltro de 100 L.

Uma diminuição significativa também foi reportada, porém com TDH elevados de 4 horas com o biorreator de membrana (MBR), dado que, a tecnologia conseguiu a remoção de 98,6% dos SST presentes no efluente (Chan; Chiemchaisri; Chiemchaisri, 2021). Ao utilizar filtros mecânicos, a taxa de remoção de SST pode variar entre 50 a 90% dependendo do TDH, o que resulta em melhores eficiências (Bregnballe, 2022).

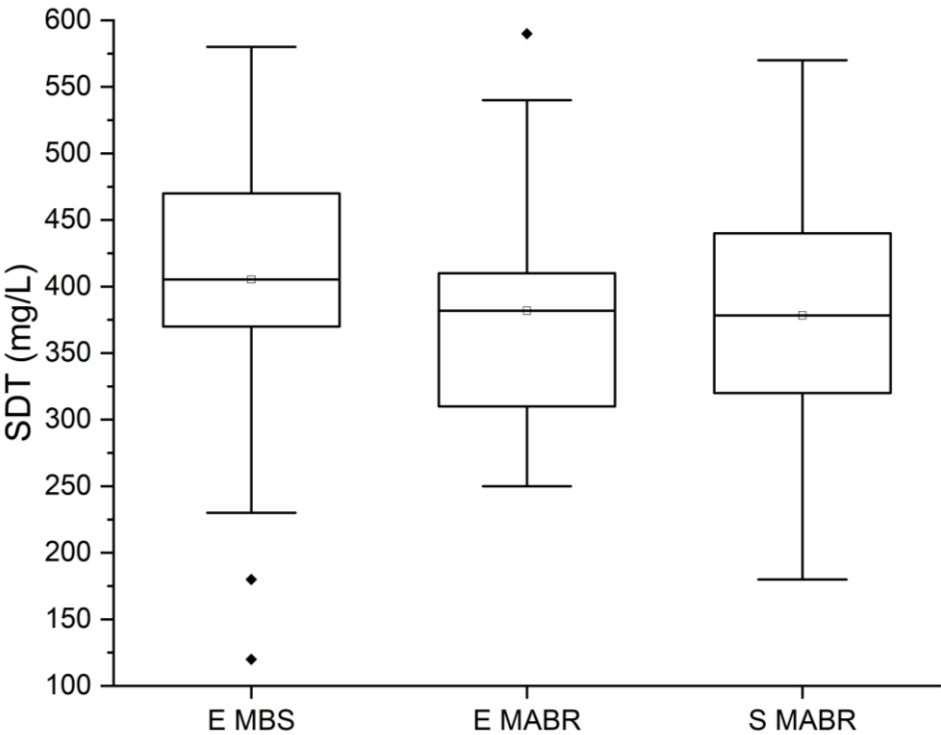
Nesse sentido, além das características biológicas que se destacaram no MBS, a configuração vertical em fluxo ascendente também promoveu a sedimentação das partículas em suspensão, o que, por sua vez, diminuiu as concentrações de SST do efluente da criação de Tilápia, assim, o decantador apresenta-se como uma opção eficaz na remoção deste tipo de sólidos em aquicultura.

5.2.11 Sólidos dissolvidos totais (SDT)

O teor de SDT na entrada do MBS constatou uma variação entre 120-580 mg/L, média 405 ± 128 mg/L. Na entrada do MABR as concentrações de ST se mostraram entre 250 a 590 mg/L, com uma média 382 ± 95 mg/L. Na saída do MABR valores entre 180 a 570 mg/L de SDT, com valor médio de 378 ± 100 mg/L, como observado na Figura 48.

A eficiência média para a remoção de SDT foi apenas 16,8%, no MBS de 10,8% e no MABR 4,6%, como está representado na Figura 49. O sistema não evidenciou eficiente remoção de sólidos dissolvidos, provavelmente associado aos problemas de entupimento que se apresentaram no sistema, visto que resultados superiores a 58% remoção foram relatados por Eding *et al.* (2009) em SRA equipado com reator de fluxo ascendente.

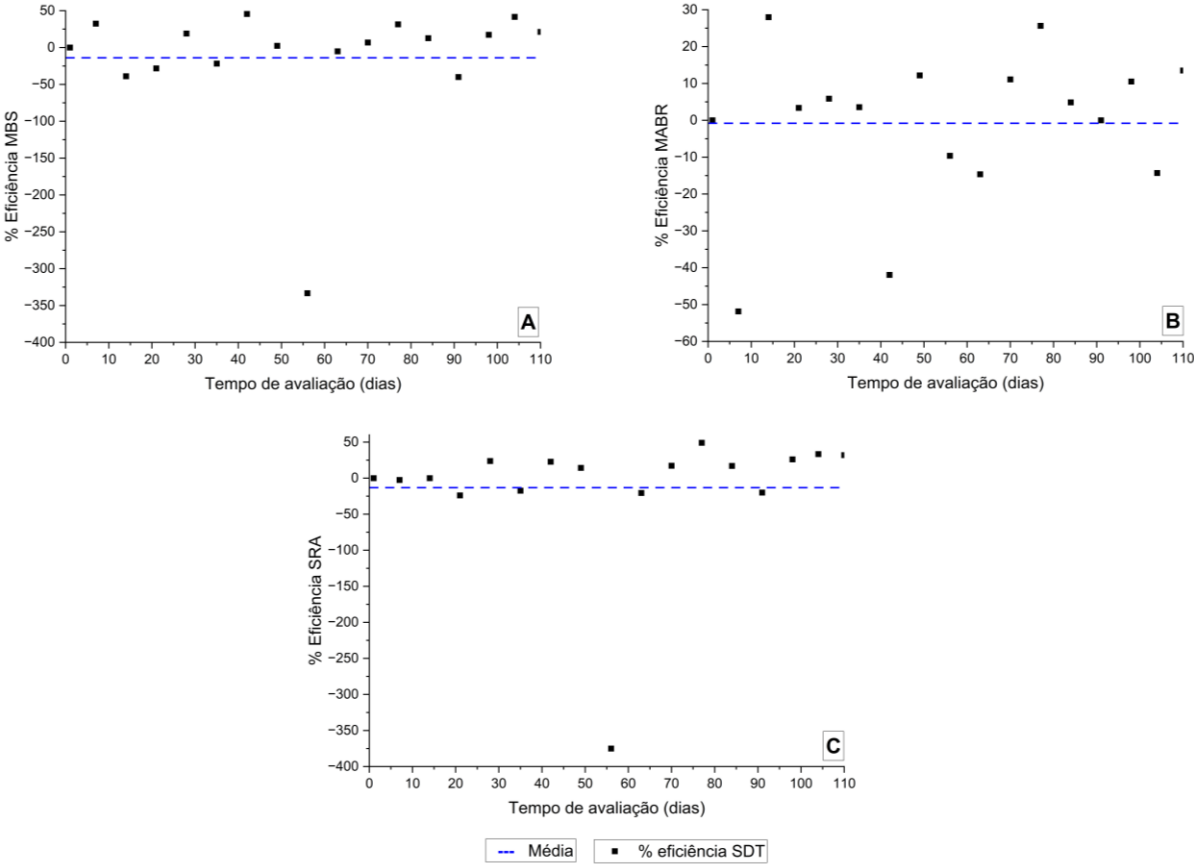
Figura 48 - Valores obtidos para SDT no SRA



Fonte: Elaboração do próprio autor.

TC: Tanque de criação; EMBS: Entrada do decantador de leito móvel; EMABR: Entrada do reator de biofilme aerado em membrana; SMABR: Saída de reator de biofilme aerado em membrana.

Figura 49 - Eficiência de remoção de SDT no MBS (A), MABR (B), SRA (C)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

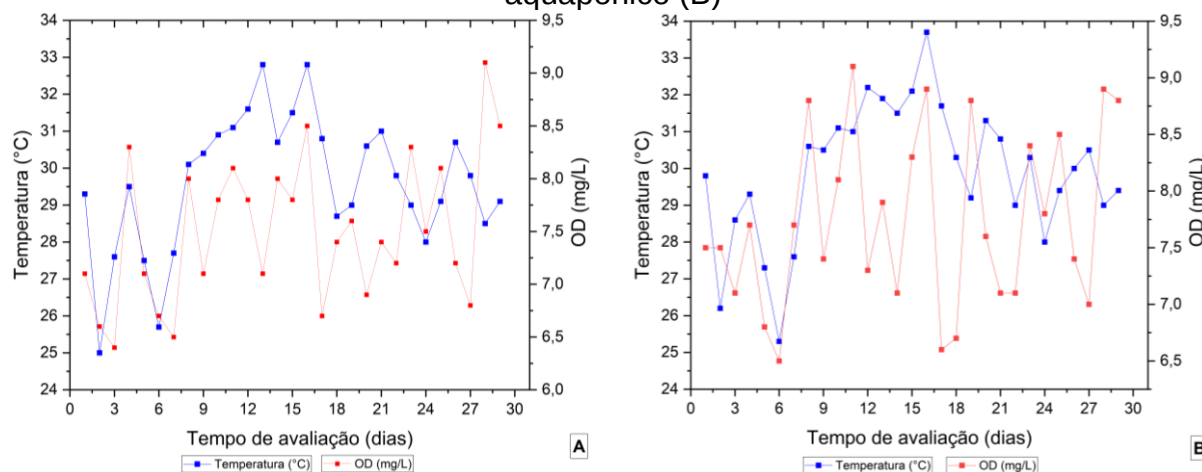
5.3 ANÁLISES DE PARÂMETROS NO SEGUNDO APARATO EXPERIMENTAL

5.3.1 Monitoramento de temperatura e OD

Na Figura 50 apresenta-se um comparativo dos valores obtidos para temperatura e OD nos tratamentos propostos para a segunda fase do experimento.

No sistema hidropônico convencional a amplitude térmica variou entre de 25° C (mínimo) e 32,8 °C (máximo) com temperatura média de $29,6 \pm 1,8$ °C. No sistema com efluente proveniente do SRA a medição de temperatura oscilou entre 25,3 °C (mínimo) e 33,7 °C (máximo) com uma média de $29,9 \pm 1,8$ °C (Figura 50).

Figura 50 - Valores de temperatura e OD no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

As concentrações de temperatura ideais para a cultura de alface ocorrem entre 15 e 20 °C (Howard, 2013), no entanto, a temperatura noturna que favorece o crescimento esta entre 3 e 12 °C e uma temperatura diurna de 17 a 28 °C (Somerville *et al.*, 2014).

A temperatura máxima da solução nutritiva a que a alface pode ser submetida é 30 °C (Filgueira, 1982), porém temperaturas elevadas reduzem a concentração de oxigênio na solução, o que afeta o desenvolvimento da raiz e sua capacidade de absorção nutricional (Costa; Campagnol, 2016).

O teor de OD no sistema hidropônico convencional exibiu um valor mínimo de 6,4 mg/L, máximo de 9,1 mg/L e média de $7,5 \pm 0,7$ mg/L. No sistema de cultivo com efluente do SRA, a concentração de OD apresentou um valor mínimo de 6,5 mg/L, máximo de 9,1 mg/L e média de $7,7 \pm 0,8$ mg/L. O teor de oxigênio dissolvido está

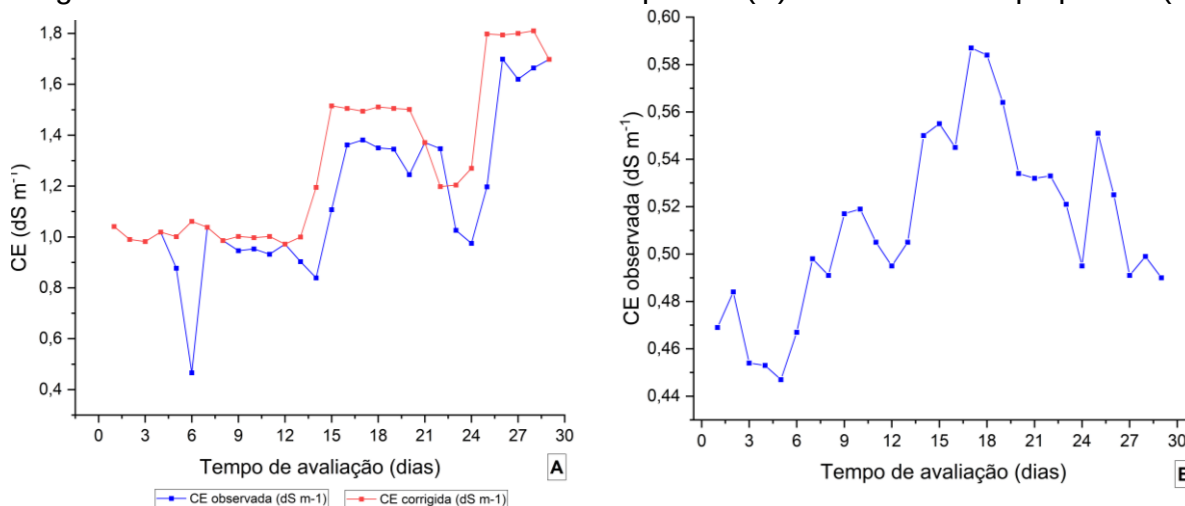
diretamente relacionado à temperatura, quanto menor o registro de temperatura, maior a concentração de OD e vice-versa. Dessa forma, não representou problema sobre a cultura da alface nos dois tratamentos.

De acordo com Somerville *et al.* (2014), neste tipo de sistema, os vegetais necessitam de concentrações elevadas de oxigênio para ocorrência de processos de absorção, pois teores de oxigênio baixos podem ocasionar danos para o sistema radicular do vegetal. Valores acima dos 4 mg/L são recomendados para as culturas vegetais (Somerville *et al.*, 2014).

5.3.2 Reposição da condutividade elétrica (CE) e correção do pH

No sistema hidropônico convencional, a medição e a correção de CE e do pH da solução nutritiva foram realizadas diariamente, a CE inicial permaneceu entre 0,9 a 1,0 dS/m e até o final de avaliação que foi de 1,8 dS/m. Como observado na Figura 51A a concentração foi ajustada conforme a resposta a adubação e segundo o recomendado por Dalastra (2017). No sistema com efluente proveniente do SRA os valores de CE oscilaram entre 0,45 e 0,59 dS/m (Figura 51B).

Figura 51 - Valores de CE no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

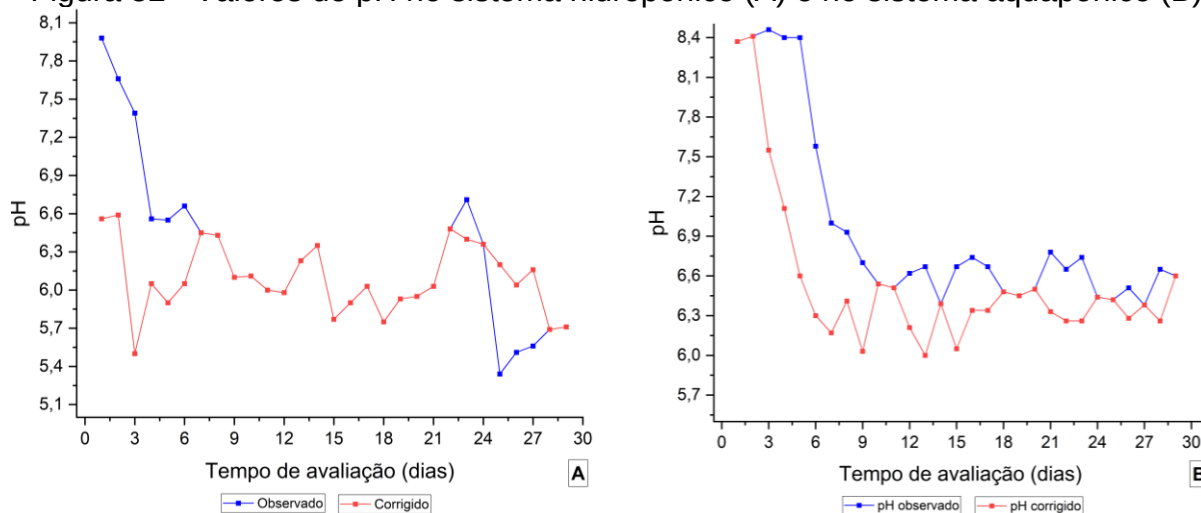
De acordo com Castellane e Araújo (1995), no sistema NFT para produção de alface deve-se manter as concentrações de CE na faixa de 1,5 e 2,5 dS/m. Furlani *et al.* (1999) e Cometti (2003), sugerem uma CE entre 1,0 e 1,5 dS/m para alface na

hidroponia, valores de CE de 0,54 dS/m ocasionam diminuição no ganho de massa (Furlani, 1997).

No início da avaliação no sistema aquapônico, apenas a reposição diária de efluente do SRA foi realizada. A partir dos 15 dias após o transplante (DAT) se adicionou além do efluente, o material sólido proveniente do MBS, uma fração foi seca em estufa a 65 °C (QUIMIS TLK 49) por 48 horas, e outra parte foi processada com o dispersor de solos HMD 200-CE (Hamilton Beach). Esta adição teve o propósito de manter a concentração da CE no sistema.

Por outro lado, para manter o pH entre 5,5 e 6,5 como mostra a Figura 52, foram adicionados ácido sulfúrico (25%) para pH acima de 6,5, e hidróxido de sódio (25%) para o pH abaixo de 5,5 nos dois tratamentos. Segundo Costa e Campagnol (2016) a faixa ideal de pH da solução nutritiva neste tipo de sistema está entre 5,5 e 6,5, teores abaixo ou acima podem repercutir no desenvolvimento do vegetal principalmente na zona radicular, ocasionando lesões e em decorrência disto, uma diminuição na disponibilidade de nutrientes.

Figura 52 - Valores de pH no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B)



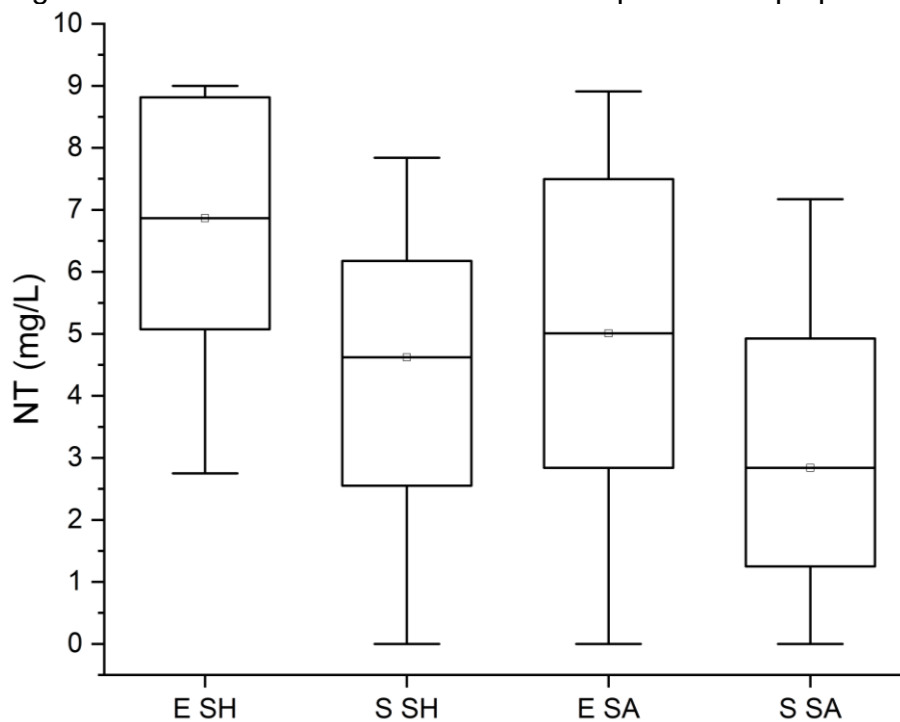
Fonte: Elaboração do próprio autor.

5.3.3 Nitrogênio total (NT)

As concentrações de NT se mantiveram entre 2,75 e 9,00 mg/L, com uma média de $6,87 \pm 2,16$ mg/L na entrada SH, e entre 0,00 e 7,84 mg/L com uma média de $4,62 \pm 2,57$ na saída do SH. No SA o teor de NT reportou uma variação entre 0,00 e 8,91 mg/L com uma média de $5,01 \pm 2,83$ mg/L na entrada, e na saída valores entre

0,00 e 7,17 mg/L com uma média de $2,84 \pm 2,57$ mg/L (Figura 53). A concentração resultante nas saídas dos sistemas foi significativamente menor o que pode ser atribuído à absorção do NT pelos vegetais.

Figura 53 - Valores de NT no sistema hidropônico e aquapônico

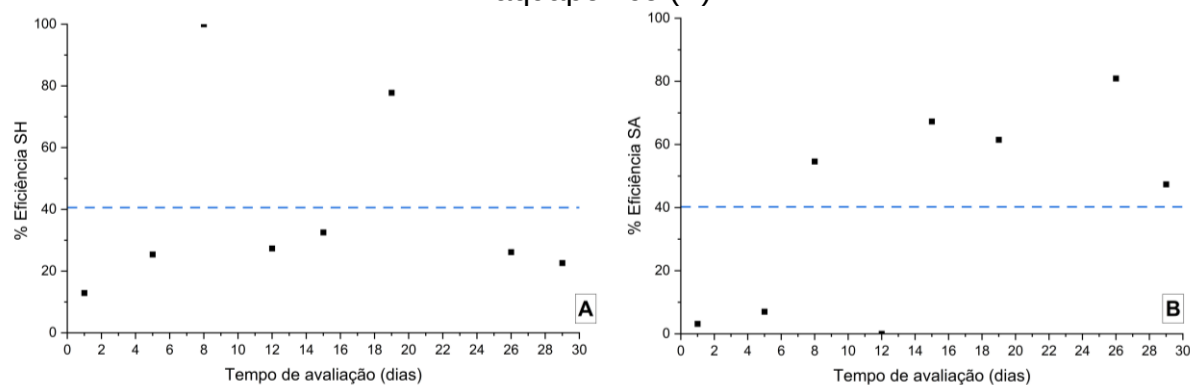


Fonte: Elaboração do próprio autor.

ESH: Entrada do sistema hidropônico; SSH: Saída do sistema hidropônico; ESA: Entrada do sistema aquapônico; SSA: Saída do sistema aquapônico.

Constatou-se eficiências médias de remoção de 40,6% no SH e 40,2% no SA (Figura 54).

Figura 54 - Eficiência de remoção de NT no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em aquaponia, se verificou uma remoção de 11% para nitrogênio, com uma densidade de estocagem inicial de peixes de 12,69 kg/m³ e uma área total hidropônica de 61,4 m² e 47 plantas/m² de halófitas (Boxman *et al.*, 2018). Taxas de remoção de 20% evidenciaram-se com uma densidade de estocagem de Tilápia de 20 kg/m³ e 24 plantas/m² de alface (Yang; Kim, 2020). Resultados maiores de remoção de 69% foram estabelecidos no cultivo de tomate utilizando o efluente de cultivo de Perca (*Perca fluviatilis*) (Graber; Junge, 2009).

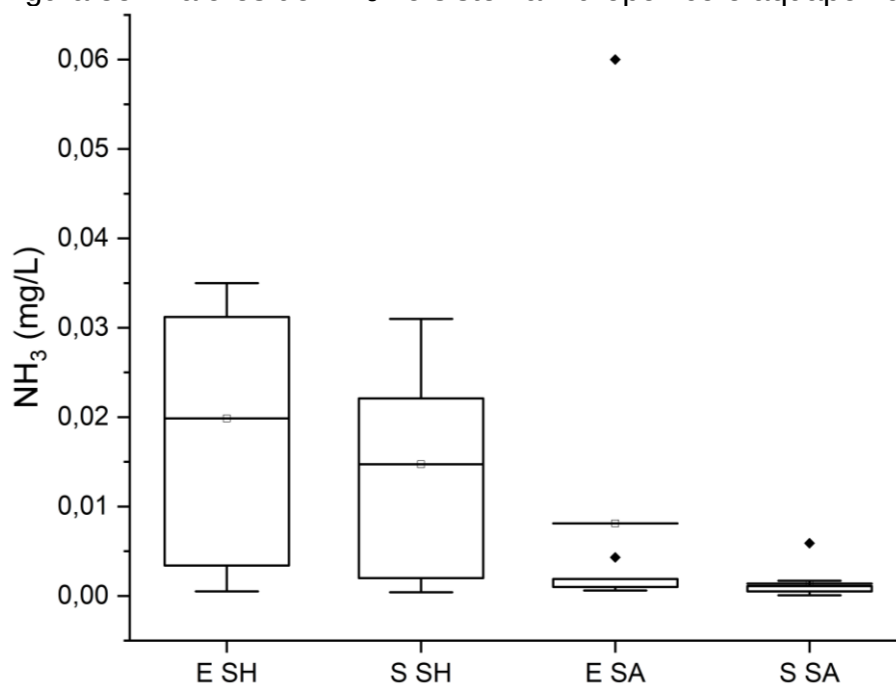
No presente estudo, apesar das concentrações do N não atenderam as exigências em virtude do desenvolvimento e crescimento para a cultura vegetal. A biorremediação do efluente de piscicultura por intervenção da alface foi evidente, sendo que pode atingir resultados mais satisfatórios mantendo uma circulação do fluxo contínuo do efluente, de modo que, os teores nutricionais sejam suficientes para atender a demanda da cultura vegetal.

5.3.4 Amônia não ionizada (NH₃)

A Figura 55 apresenta os valores obtidos para NH₃. As concentrações na entrada do SH variaram entre 0,001 e 0,035 mg/L com uma média de 0,020 ± 0,013 mg/L, na saída do SH a faixa variou entre 0,0004 e 0,0031 mg/L com uma média de 0,015 ± 0,011 mg/L.

Pode-se notar aumento no teor de NH₃ no sistema hidropônico, uma vez que, os fertilizantes utilizados na solução nutritiva como o Hidrogood Fert Nacional concentrado, contêm além de diversos nutrientes, uma concentração de N a 10%, e o nitrato de cálcio de 15,4%. Ademais, na correção da CE, a reposição nutricional é efetuada para atender às necessidades do vegetal no decorrer do desenvolvimento da cultura.

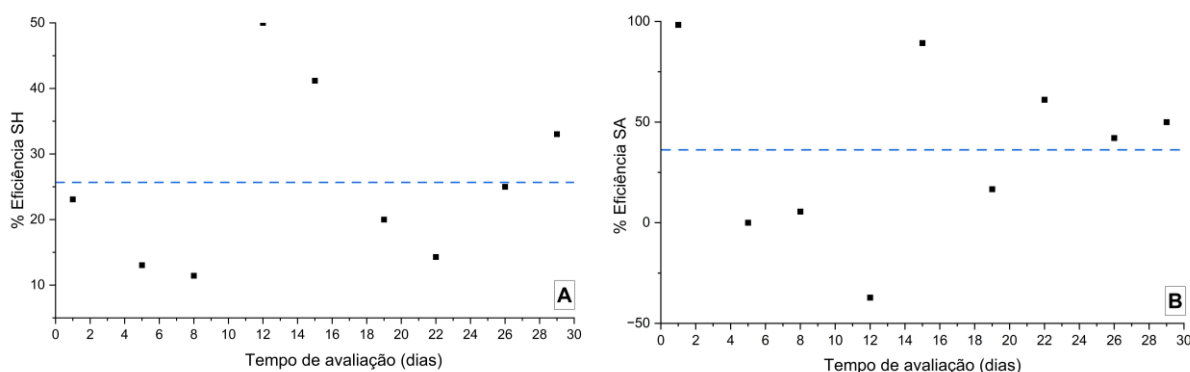
Na entrada do SA, os valores de NH₃ foram de 0,001 a 0,060 mg/L com uma média de 0,008 ± 0,018 mg/L, e na saída do SA de 0,0001 a 0,006 mg/L com uma média de 0,001 ± 0,002 mg/L (Figura 55). No sistema aquapônico percebe-se menores concentrações do íon NH₃. Embora, o efluente da saída do MBS contenha a maior fração de alimento não consumido assim como os produtos de dejetos, o valor medido não superou a concentração de 0,06 mg/L para o cultivo vegetal.

Figura 55 - Valores de NH_3 no sistema hidropônico e aquapônico

Fonte: Elaboração do próprio autor.

ESH: Entrada do sistema hidropônico; SSH: Saída do sistema hidropônico; ESA: Entrada do sistema aquapônico; SSA: Saída do sistema aquapônico.

Conforme os resultados obtidos para amônia não ionizada foi calculada a eficiência de remoção da alface nos dois tratamentos, como mostra a Figura 56. Os resultados mostraram uma média de 25,7% no sistema hidropônico e de 36,2 % no sistema aquapônico.

Figura 56 - Eficiência de remoção do NH_3 no sistema hidropônico (A) e no sistema aquapônico (B)

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Como foi mencionado anteriormente neste trabalho, o NH_3 é altamente tóxico para os organismos aquáticos. Dessa forma, a cultura de alface com efluente de piscicultura é propícia para reduzir a concentração deste composto, uma vez que, na

ocorrência dos processos de nitrificação o produto final (nitrato) é aproveitado pelas plantas favorecendo seu crescimento (Hundley *et al.*, 2013).

Em um sistema aquapônico, composto por dois tanques de criação para Tilápia Mossambica (*Oreochromis mossambicus*) e kinguio (*Carassius auratus*) utilizando o NFT para o cultivo vegetal, obtiveram-se remoções de 43,5% para NAT (Li *et al.*, 2019). Outro estudo realizado por Su *et al.* (2020), que utilizou um sistema aquapônico com peixe-gato (*Clarias gariepinus*) e a técnica NFT para a cultura de alface, evidenciaram uma remoção em média entre 27,78 a 66,66% para NH_3 .

Verificou-se remoções de NH_3 entre 31,80 e 36,20% em sistemas aquapônicos utilizando uma biomassa de carpa comum (*Cyprinus carpio L.*) de 2,02 kg/m^3 e um leito vegetal de 27 plantas/ m^2 (Irhayyim *et al.*, 2020).

Nesse ponto de vista, a taxa média de remoção obtida nesta pesquisa foi significativa, considerando que o efluente não foi conduzido diretamente ao tanque que sustentava a cultura vegetal.

5.4 DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DA TILÁPIA DO NILO

São descritos na Tabela 12 os diferentes índices zootécnicos para Tilápia do Nilo avaliados ao longo dos 110 dias de criação. As variáveis de desenvolvimento determinadas foram: comprimento final, peso final, ganho de peso diário, sobrevivência, taxa de conversão alimentar aparente e densidade de estocagem final.

Tabela 12 - Variáveis zootécnicas de Tilápia do Nilo no SRA durante 110 dias

Variável	Tilápia no SRA
Peso inicial (g)	155,16 ± 82,64
Comprimento inicial (cm)	19,83 ± 4,04
Número inicial de animais (peixes/tanque)	112
Biomassa inicial (kg)	17,38
Densidade de estocagem inicial (kg/m^3)	21,73
Número final de animais (peixes/tanque)	95
Sobrevivência (%)	84,82
Peso final (g)	268,57 ± 94,82
Comprimento final (cm)	23,69 ± 2,57
Ganho de peso médio (g/peixe)	113,41
Ganho de peso diário (g/peixe/dia)	1,03
Biomassa final (kg)	25,51
Densidade de estocagem final (kg/m^3)	31,89
Taxa de conversão alimentar aparente	3,3

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os resultados indicaram que a Tilápia alcançou uma média em peso e comprimento final de $268,57 \pm 94,82$ g e $23,69 \pm 2,57$ cm respectivamente, e obteve-se uma densidade de estocagem final de $31,89 \text{ kg/m}^3$.

Em termos de peso dos indivíduos, pode-se notar um desvio padrão significativo, devido a que o lote de peixes disponível para o experimento, apresentou uma menor homogeneidade em relação a este fator de desempenho produtivo.

De acordo com Lima *et al.* (2013), em lotes de peixes com peso desuniforme, é comum que exista a ocorrência de hierarquia entre os organismos, particularmente em espécies de água doce, como a Tilápia do Nilo (Mota *et al.*, 2015). Ou seja, os peixes com maior peso apresentam maior dominância e desempenho produtivo, no entanto, as taxas de crescimento diferem ao longo do período de criação.

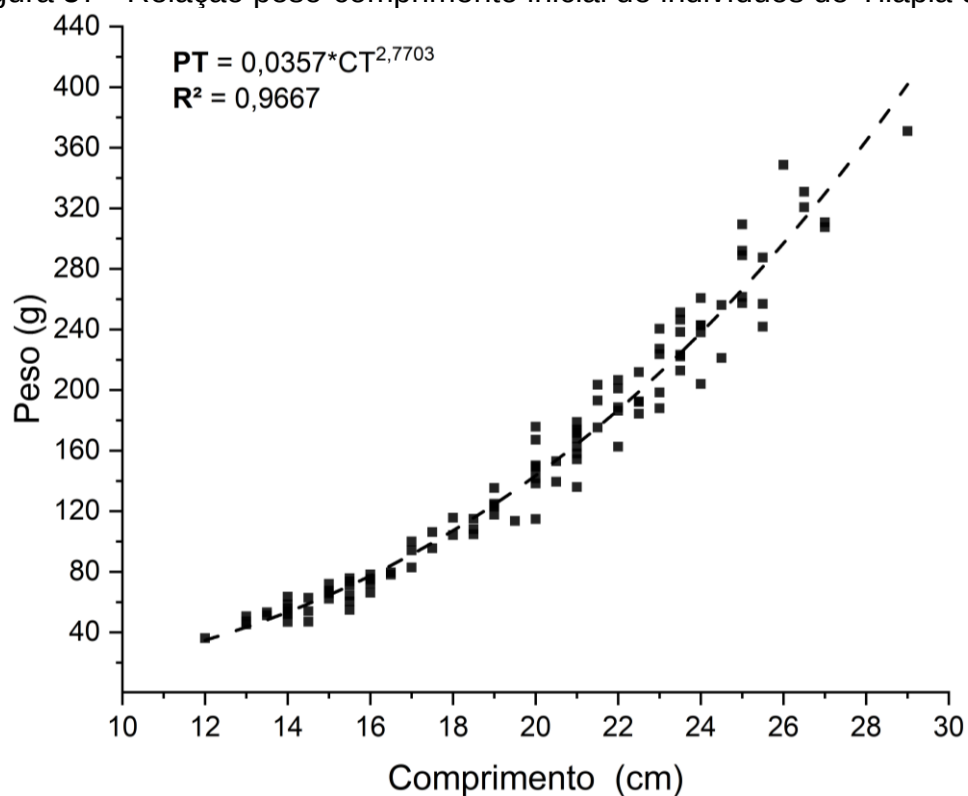
Obteve-se um ganho de peso diário de 1,03 g/peixe, o que resultou em um ganho de peso médio total de 113,41 g/peixe. Essa variável é o principal fator para determinar a capacidade dos peixes de converter o alimento em filé. Quanto maior o valor de ganho de peso, menor o tempo de criação e produção. Segundo Kubitza e Kubitza (2000a), as expectativas de ganho de peso diário para a Tilápia do Nilo com peso entre 90-450 g são as seguintes: 3 g/peixe/dia em 120 dias de cultivo sendo este um desempenho regular em 100 dias de criação, 3,6 g/peixe/dia um rendimento médio, e o cultivo pode ser considerado ótimo em 80 dias com ganho de peso diário de 4,5 g.

Foi avaliado o desempenho zootécnico de Tilápia do Nilo linhagem chitralada utilizando diferentes rações comerciais e mudando de concentração proteica a cada 4 semanas, obtendo-se resultados com ganho de peso diário mínimo de 4,43 g e a melhor taxa de 5,67 g/peixe/d em 84 dias de cultivo (Moraes *et al.*, 2009).

Um experimento realizado por Mota *et al.* (2015) analisaram o desempenho de Tilápia de Nilo em SRA, utilizando animais com peso e biomassa inicial de $258,9 \pm 9,4$ g e 5,17 kg respectivamente, determinaram um ganho diário de 1,49 g ao final de 39 dias de criação. Em outra pesquisa desenvolvida em SRA para a criação de Tilápia do Nilo, os peixes apresentaram um peso final médio de 478,5 g e uma taxa de crescimento absoluto de 3,92 g/dia em 120 dias de cultivo (Santos *et al.*, 2021).

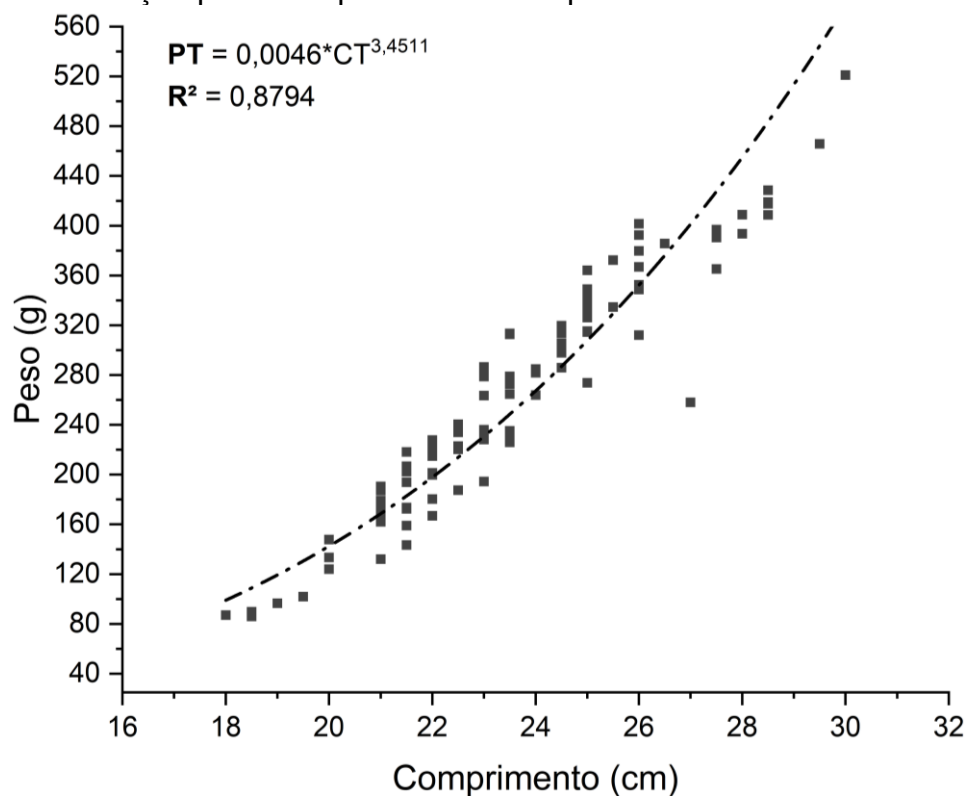
Nas Figuras 57 e 58 percebe-se a relação peso-comprimento, através da equação $P=aC^b$, onde P corresponde ao peso (g), C o comprimento (cm), e, no caso o valor de b é o coeficiente angular que determina o tipo de crescimento dos peixes (Schneider; Laarman; Gowing, 2000; Rêgo *et al.*, 2008).

Figura 57 - Relação peso-comprimento inicial de indivíduos de Tilápia do Nilo



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 58 - Relação peso-comprimento de Tilápia do Nilo em 110 dias de avaliação



Fonte: Elaboração do próprio autor.

No início da avaliação se apresentou uma relação peso-comprimento de tipo alométrico negativo com valor de $b=2,77$, o que indica que é mais evidente o aumento de comprimento do que o ganho de peso. Inclusive verificou-se a relação peso-comprimento no final do experimento, com valor de 3,45 para b , ou seja os organismos mostraram boas condições físicas de crescimento. O crescimento exibiu um comportamento de tipo alométrico positivo, isto é, os peixes aproveitaram o alimento para conseguir maior aumento do peso do que de comprimento, mesmo assim, o ganho de peso apresentou resultados desfavoráveis para o período de cultivo em termos produtivos.

A TCAA, por outro lado, foi calculada, mostrando um resultado de 3,3, ou seja, precisou-se de 3,3 g de alimento concentrado para incremento de 1 g de peso corporal, Kubitza e Kubitza (2000b) sugerem que na fase de engorda da Tilápia, a conversão alimentar deve ser entre 1,2 e 1,5 devido que maiores valores representam repercussões nos custos de produção. Em SRA para a criação de Tilápia do Nilo, Luo *et al.* (2014) relataram uma conversão alimentar de 1,47.

Em um experimento conduzido por Braz (2021) em sistema de recirculação aquícola para o cultivo de Tilápia do Nilo com uma densidade inicial de $6,24\text{kg/m}^3$, foram reportadas taxas de conversão alimentar entre 1,12 e 2,15 em um período de avaliação de 60 dias. Medina (2022) verificou o desenvolvimento de quatro espécies de peixes em SRA, a Tilápia do Nilo apresentou um crescimento mais acelerado, o que indicou uma conversão alimentar aparente de 1,54.

A alta taxa de conversão alimentar obtida nesta avaliação pode estar relacionada ao seguinte, aos 40 dias do experimento, evidenciaram-se episódios reprodutivos no tanque de criação, o que levou à necessidade de seleção dos organismos, pois o alimento fornecido foi destinado ao desenvolvimento reprodutivo e não ao ganho de peso. Nos dias seguintes no experimento, no 69 dia (26 de fevereiro), houveram problemas relacionados ao vazamento no SRA, o que incrementou a amônia não ionizada, alterando consequentemente as condições de equilíbrio gerando estresse nos organismos e representou a perda de 5 peixes.

Além disso, a ração utilizada neste experimento continha 28% de proteína, que segundo Kubitza (2006b) provoca uma queda no crescimento dos peixes dado que, o incremento ocorre um pouco mais lento e requer de maior tempo de cultivo.

A qualidade de água no sistema se manteve dentre das faixas ideais para a espécie, com exceção do dia em que houve vazamento no sistema, o que de certa

maneira não representou risco para os animais cuja sobrevivência final obtida foi de 84,82 %. As taxas de sobrevivência entre 85,29 e 96,47% são consideradas ótimas na produção de Tilápia do Nilo ao nível intensivo de criação (Graeff; Amaral, 2004). Também foram relatadas sobrevivências entre 88,33% e 93,6% em SRA de produção intensiva (Gullian-Klanian; Arámburu-Adame, 2013; Miranda, 2017).

Na tabela 13 se apresenta um resumo comparativo dos resultados obtidos para algumas variáveis zootécnicas na presente pesquisa, comparadas com as reportadas na literatura.

Tabela 13 - Índices zootécnicos obtidos nesta pesquisa comparados com a literatura

Variáveis produtivas							Referência
Ganho de peso diário (g/peixe)	Densidade inicial (kg/m³)	Peso final (g)	TCAA	% de proteína do alimento		Tempo de criação (dias)	
1,03	21,73	268,57	3,3	28		110	Presente estudo (Moraes <i>et al.</i> , 2009).
5,67	9,6	491,7	1,5	36, 28*	32,	84	
2,66	1,2	500,0	1,6	NA		180	(Soto <i>et al.</i> , 2010)
1.12	0,14	107,5	2,0	45, 36		90	(Arauco; Costa, 2012)
1,49	5,17 (kg)	317,0	1,6	44		39	(Mota <i>et al.</i> , 2015)
1,74	3,6	123,9	1,3	33		56	(Obirikorang <i>et al.</i> , 2019)
3,92	2,56	478,5	1,5	46, 36*	42,	120	(Santos <i>et al.</i> , 2021).
NA	10	236,3	1,7	25		60	(Wambua <i>et al.</i> , 2021).

Fonte: Elaboração do próprio autor

*Mudança de % proteica segundo fase de crescimento; NA: não apresentado.

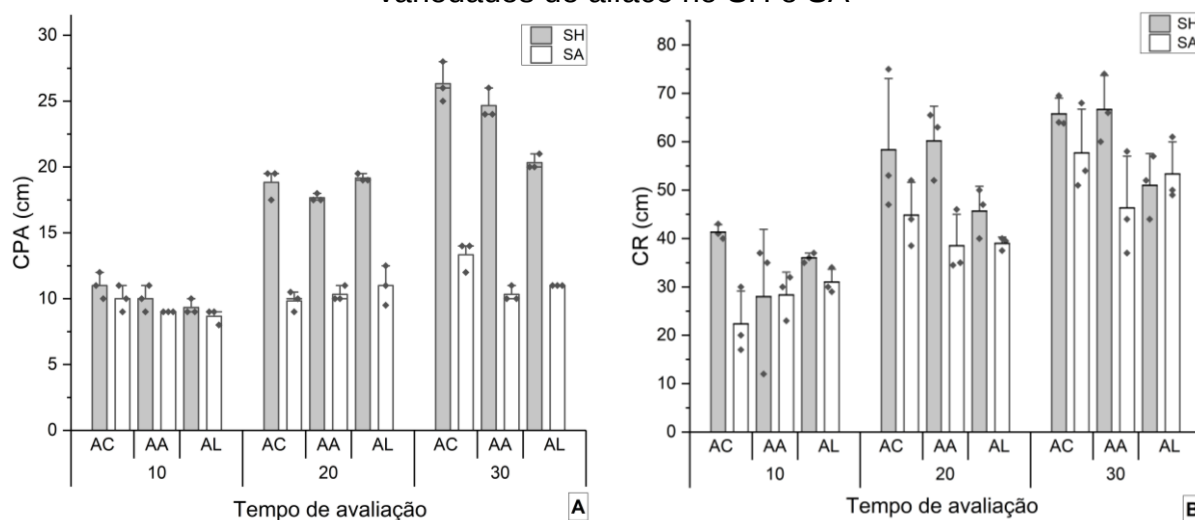
Constatou-se, que a Tilápia do Nilo expressado principalmente no ganho de peso corporal e TCCA, teve taxas de rendimento baixas, o que tiveram repercussão pelas condições iniciais do lote de peixes, o possível evento reprodutivo e os problemas associados com o vazamento no sistema, porém a qualidade de água mantida no SRA, não influenciou o reduzido desenvolvimento dos organismos.

5.5 RENDIMENTO VEGETAL

Nas Tabelas 14 a 20 descrevem-se os resultados estatísticos para as diferentes variáveis vegetais da alface que foram submetidas à análise.

As três avaliações para o comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) das diferentes variedades de alface estão apresentadas na Figura 59. Pode-se observar uma significativa diferença do sistema que foi mantido com o efluente de SRA quando em comparação com o sistema hidropônico.

Figura 59 - Comprimento da parte aérea (A) e do sistema radicular (B) das diferentes variedades de alface no SH e SA



Fonte: Elaboração do próprio autor.
AC: Alface crespa, AA: Alface Americana, AL: Alface lisa

Durante os primeiros 10 DAT não se apresentou diferença significativa entre os tratamentos em termos de CPA da alface, a partir da segunda avaliação correspondente aos 20 DAT e a colheita (30 DAT), foi significativo o efeito dos tratamentos. A alface crespa resultou com índices de comprimento maiores nos dois sistemas. Por outro lado, entre as variedades avaliadas em cada tratamento, percebeu-se diferença estatisticamente significativa somente aos 30 DAT (Tabela 14).

O efeito do CR foi significativo entre tratamentos aos 10 DAT principalmente para a alface crespa. Entre os 20 DAT e 30 DAT os resultados alcançados no SA estão próximos aos obtidos no SH, com uma diferença significativa apenas para alface americana como é demonstrado na Tabela 14.

O SH demonstrou após colheita, que a alface americana conseguiu um maior CR, este valor não foi significativo quando comparado com a alface crespa, contudo,

foi significativa a diferença destas duas variedades com o CR obtido pela alface lisa. No SA não houve diferença significativa entre as variedades (30 DAT), sendo que a alface crespa apresentou melhor rendimento (Tabela 14).

Tabela 14 - Análise do CPA e CR da alface aos 10, 20 e 30 DAT

Tabela 14. Análise de CPA e CR da alface aos 10, 20 e 30 DAT.							
CPA					CR		
10 DAT	Tratamento	Variedade					
		Alface crespa	Alface americana	A Alface lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	11,0aA	10,0aA	9,3aA	41,3aA	28,0aA	36,0aAB
	SA	10,0aA	9,0aA	8,6aA	22,3bA	28,3aA	31,0aA
	Teste F TxV	0,94 ^{ns}			0,039 *		
CV (%)	9,44			21,09			
20 DAT		Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa	Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa
	SH	18,8aA	17,6aA	19,2aA	58,3aA	60,1aA	45,7aA
	SA	9,8bA	10,3bA	11,0bA	44,8aA	38,5bA	39,0aA
	Teste F TxV	0,45 ^{ns}			0,25 ^{ns}		
	CV (%)	6,59			15,76		
30 DAT		Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	26,3aA	24,6aA	20,3aB	65,8aA	66,7aA	53,3aB
	SA	13,3bA	10,3bB	11,0bB	57,7aA	46,6bA	51,0aA
	Teste F TxV	0,01 **			0,09 ^{ns}		
	CV (%)	5,29			15,60		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste Tukey (5%).

**, * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo pelo Teste F, para a interação tratamento x variedade.

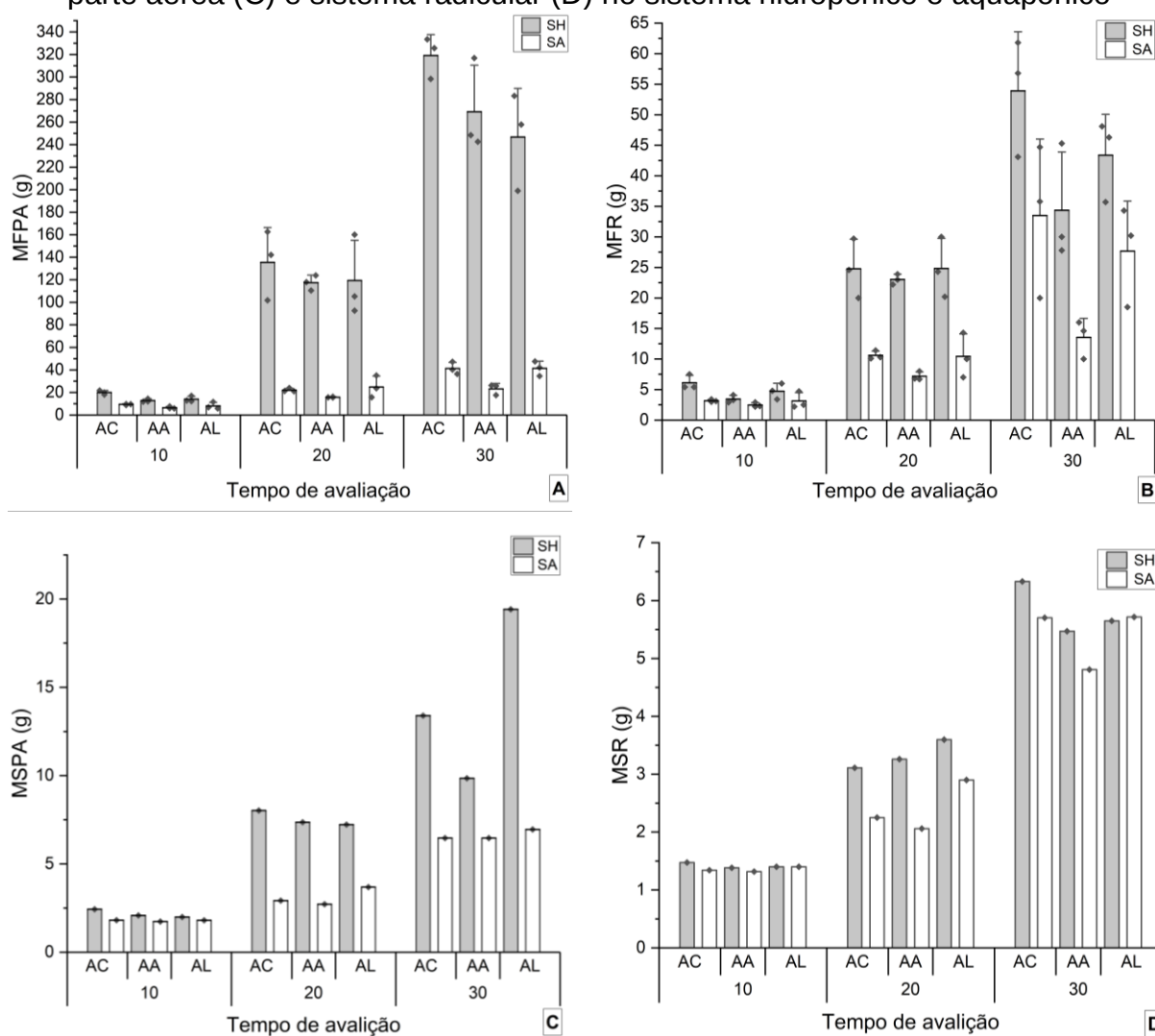
Ceccherini *et al.* (2020) avaliaram a alface crespa em SH, determinaram o CPA de 23 cm/planta e de CR entre 37,0 e 52,4 cm valores próximos aos obtidos nesta avaliação no cultivo hidropônico convencional (Santos, 2020).

Brum *et al.* (2023) obtiveram maiores resultados de CPA para alface crespa, americana e lisa em aquaponia aos 35 dias após o transplante, sendo que a alface crespa conseguiu melhor rendimento com 21,0 cm. Andrade *et al.* (2020) obtiveram valores inferiores de CR aos alcançados neste experimento de 24,3 cm em aquaponia.

Com efluente proveniente do policultivo de Tilápia, jundiá e carpa, foram demonstrados resultados maiores para CPA de alface lisa e crespa de 18 cm, e resultados significativamente menores de CR entre 14,73 e 14,77 cm em comparação aos obtidos nesta pesquisa (Feuzer, 2016). Dessa forma, os nutrientes presentes no efluente do SRA permitiram sobretudo o crescimento da zona radicular da alface.

A Figura 60 apresenta os resultados das avaliações para a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) dos diferentes tipos de alface nos sistemas propostos.

Figura 60 - Massa fresca da parte aérea (A) e sistema radicular (B), massa seca da parte aérea (C) e sistema radicular (D) no sistema hidropônico e aquapônico



Fonte: Elaboração do próprio autor.

AC: Alface crespa, AA: Alface Americana, AL: Alface lisa.

Os sistemas de cultivo mostraram uma diferença significativa para a MFPA no momento da colheita (30 DAT). No SH foi significativa a diferença nas médias para MFPA entre variedades, o rendimento atendeu a sequência, alface crespa, americana e lisa, de forma decrescente. No SA, não foi significativa a diferença, entretanto, a alface lisa e crespa obtiveram o maior valor para esta variável (Tabela 15).

Para a MFR aos 10 DAT o efeito do sistema somente foi significativo para alface crespa. Aos 20 DAT a diferença estatisticamente significativa predominou nas três variedades. No final, o efeito dos sistemas sobre a MFR foi significativo somente para a alface crespa e americana. Ademais, a alface crespa nos dois sistemas evidenciou um maior índice médio de MFR (Tabela 15).

Tabela 15 - Análise para a MFPA e MFR da alface aos 10, 20 e 30 DAT

MFPA					MFR		
10 DAT	Tratamento	Variedade					
		Alface crespa	Alface americana	Alface lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	19,9aA	12,8aB	14,0aB	6,1aA	3,4aB	4,7aAB
	SA	9,7bA	6,4bA	8,1aA	3,2bA	2,4aA	3,1aA
	Teste F TxV	0,42 ^{ns}			0,43 ^{ns}		
CV (%)	17,88			28,76			
20 DAT		Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa	Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa
	SH	135,5aA	117,5aA	119,4aA	24,8aA	23,0aA	24,8aA
	SA	22,1bA	15,8bA	24,9bA	10,6bA	7,2bA	10,4bA
	Teste F TxV	0,79 ^{ns}			0,80 ^{ns}		
	CV (%)	21,04			13,90		
30 DAT		Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	319,1aA	269,2aAB	246,7aB	53,9aA	34,4aB	43,4aAB
	SA	41,3bA	23,2bA	41,4bA	33,5bA	13,5bB	27,7aAB
	Teste F TxV	0,13 ^{ns}			0,90 ^{ns}		
	CV (%)	16,61			28,33		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste Tukey (5%).

^{**}, ^{*} e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo pelo Teste F, para a interação tratamento x variedade.

Em uma pesquisa conduzida por Ribeiro (2017), verificou o desempenho produtivo de alface no sistema aquapônico e hidropônico, utilizando diferentes substratos. Aos 35 dias de cultivo, os resultados médios de massa fresca no sistema hidropônico foram superiores aos do sistema aquapônico, como os obtidos neste trabalho.

Neste estudo foi significativamente maior o rendimento em MFPA para alface crespa em SH. Em sistemas hidropônicos, foram reportados valores de MFPA maiores para a alface americana entre 292,8 e 312,8 g comparados com os obtidos por alface crespa e lisa (Sediyama *et al.*, 2009). Lima *et al.* (2018), avaliando alface crespa em hidroponia, obtiveram resultados próximos aos obtidos nesta avaliação, com massa fresca em torno de 300 g aos 29 dias de colheita.

Valores semelhantes aos obtidos nesta pesquisa para MFR foram demonstrados por Sedyama *et al.* (2009) em SH, as cultivares de alface crespa alcançaram maior valor médio de 41,1 - 56,7 g em comparação com as cultivares de alface americana e lisa.

Em aquaponia foram verificados resultados semelhantes aos relatados nesta avaliação, com a alface lisa apresentando a maior MFPA com valor de 41,64 g. Além disso, taxas menores de MFR foram observadas para alface lisa com 11,41 g, alface americana de 10,46 g, para alface crespa 5,73 g (Brum *et al.*, 2023).

Conforme o citado por Heckathorn *et al.* (2013), o desenvolvimento do sistema radicular dos vegetais é de suma importância em sistemas de cultivo hidropônico, uma vez que a temperatura, salinidade e oxigenação interferem na absorção nutricional.

A saúde da parte radicular depende, além da ação dos processos de absorção nutricional para o crescimento e a qualidade do vegetal, o tempo de prateleira após a colheita, e também, a taxa de hormônios produzidos (citocininas), que postergam o amarelecimento e senescência foliar (Spricigo *et al.*, 2009).

Enquanto, as médias da MSPA mostraram uma diferença estatisticamente significativa para os três períodos de avaliação. Neste sentido, quando se analisam as cultivares em relação à MSPA, a alface lisa apresenta os melhores resultados, seguida pela alface crespa, e por fim, a alface americana, tanto em sistema hidropônico como em sistema aquapônico, como descrito na Tabela 16.

Em relação a MSR, a primeira avaliação (10 DAT) entre sistemas não apresentou efeito sobre a média da MSR, aos 20 DAT houve efeito dos tratamentos para as três variedades. No final do experimento a diferença significativa percebeu-se, somente para a alface crespa e americana. Além do que, entre variedades por sistema o efeito das médias foi significativo. Assim, alface crespa registrou maior média da MSR no SH, e alface crespa e lisa no SA (Tabela 16).

Constatou-se, o favorável crescimento da raiz e a MSR das diferentes variedades de alface utilizando o efluente proveniente de um SRA, mesmo com teor baixo de CE.

Tabela 16 - Análise de MSPA e MSR da alface aos 10, 20 e 30 DAT

MSPA				MSR			
Variedade							
	Tratamento	Alface crespa	Alface americana	A Alface lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
10 DAT	SH	1,9aA	2,4aA	2,0aB	1,5aA	1,3aC	1,4aB
	SA	1,8bA	1,7bA	1,8bA	1,3aB	1,3aB	1,4aA
20 DAT		Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa	Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa
	SH	8,0aA	7,4aB	7,2aB	3,1aB	3,3aAB	3,6aA
	SA	2,9bB	2,7bB	3,7bA	2,2bB	2,1bB	2,9bA
30 DAT		Alface Crespa	Alface Americana	Alface Lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	13,4aB	9,8aC	19,4aA	6,3aA	5,5aB	5,6aB
	SA	6.5bB	5,8bC	7.0bA	5,7bA	4,8bB	5,7aA

Fonte: Elaboração do próprio autor.

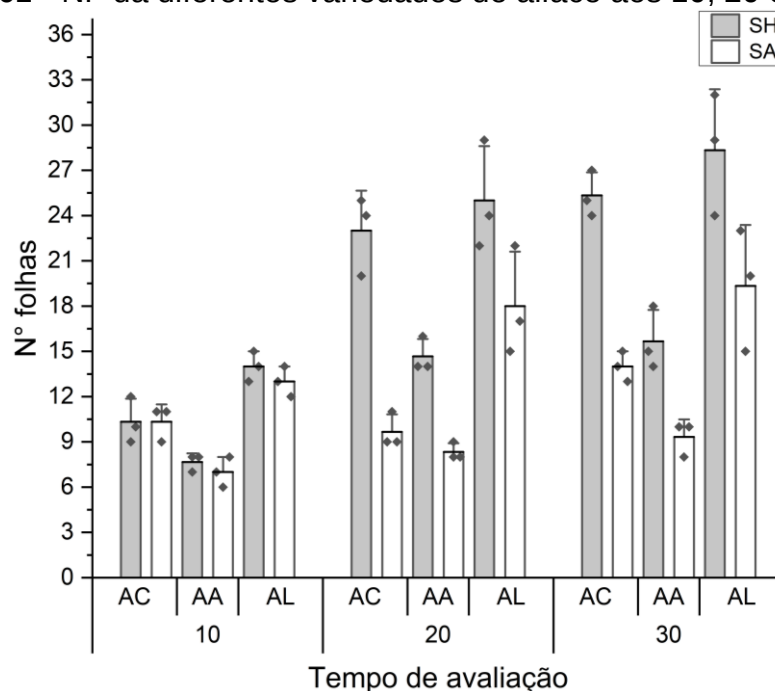
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste Tukey (5%).

Os resultados desta pesquisa foram superiores aos de estudos realizados em hidroponia relatados por Santos (2020), que determinou a MSPA na faixa de 8,62 e 12,75 g, e para a MSR entre 2,75 e 4,25 g em diferentes tipos de alface. Também foram apresentados resultados de MSPA para alface americana entre 11,1 g e 12 g, para alface crespa entre 9,0 g e 11,6 g e para alface lisa entre 10,5 g e 11,1 g, e rendimento entre 1,1 e 1,8 g para MSR em concentrações semelhantes de CE mantidas nesta pesquisa (Sediyama *et al.*, 2009).

Os resultados foram diferentes dos obtidos em aquaponia, uma vez que, a alface americana apresentou os maiores valores de MSPA de 7 g, a crespa de 6 g e alface lisa de 4 g, quando foram dispostos 11 kg de biomassa de Tilápia do Nilo (Sutani *et al.*, 2021). Com densidade de estocagem de peixes de 30 kg/m³, os valores de MSPA atingiram resultados entre 16,76 e 20,58 g para a cultura de alface (Lora, 2022). Nesta avaliação foram encontrados valores superiores aos descritos por diferentes pesquisadores em aquaponia para MSR (Sediyama *et al.*, 2009; Santos, 2020; Brum, 2023).

Na Figura 61, pode-se observar os valores medidos do número de folhas (NF) aos 10, 20 e 30 DAT.

Figura 61 - NF da diferentes variedades de alface aos 10, 20 e 30 DAT



Fonte: Elaboração do próprio autor.

AC: Alface crespa, AA: Alface Americana, AL: Alface lisa.

A Tabela 17 descreve a análise para o NF, demonstrando que não houveram diferenças significativas para as médias entre os sistemas aos 10 DAT. Aos 20 e 30 DAT foi significativo o efeito para as três variedades alvo da avaliação. Além disso, foi significativa a diferença entre médias do NF por variedade em cada sistema nos três períodos avaliados (Tabela 17).

Determinou-se que a alface lisa obteve o maior NF, seguida pela alface crespa, e a alface americana, com menor média, o que foi observado nos dois sistemas de cultivo. A análise das folhas é de suma importância, por se tratar de possível indicativo do rendimento dos vegetais (Benincasa, 2003).

Silva *et al.* (2007), constataram em sistemas hidropônicos, que a variedade lisa alcançou um desenvolvimento mais favorável em termos de NF em comparação com outras cultivares. Em aquaponia, os resultados foram semelhantes quando avaliadas as mesmas variedades, sendo que a alface lisa apresentou 19 folhas, a americana 13 folhas e a crespa 8 folhas aos 35 dias de cultivo (Brum *et al.*, 2023). Mendes *et al.* (2020) relatou que a alface lisa atingiu o maior rendimento em NF com 19,33 aos 20 dias de avaliação como o obtido nesta avaliação utilizando o efluente de piscicultura.

Tabela 17 - Análise para o NF de alface aos 10, 20 e 30 DAT

	Tratamento	Variedade		
		Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
10 DAT	SH	10,3aB	7,6aB	14,0aA
	SA	10,3aA	7,0aB	12,3aA
	Teste F	0,58 ^{ns}		
	CV (%)	12,14		
20 DAT		Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	23,0aA	14,6aB	25,0aA
	SA	9,7bB	8,3bB	18,0bA
	Teste F	0,02 *		
	CV (%)	12,06		
30 DAT		Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	25,3aA	15,7aB	28,0aA
	SA	14,0bAB	9,3bB	19,0bA
	Teste F	0,42 ^{ns}		
	CV (%)	15,27		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste Tukey (5%).

**, * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo pelo Teste F, para a interação tratamento x variedade.

Os índices de clorofila foliar (ICF) foram analisados aos 20 e 30 DAT, o que revelou o efeito dos sistemas nas variedades de alface. Adicionalmente, entre variedades por sistema também apresentou-se diferença estatisticamente significativa, como demonstrado na Tabela 18.

Ao final da avaliação a alface americana apresentou maior ICF em relação a alface lisa, e alface crespa que apresentou menor ICF no SH. No SA a alface lisa exibiu um melhor ICF, seguida pela alface americana e finalmente o menor ICF alcançado correspondeu à alface crespa (Tabela 18).

Tabela 18 - Análise de variância do ICF da alface aos 20 e 30 DAT

	Tratamento	Variedade		
		Alface crespa	Alface americana	Alface Lisa
20 DAT	SH	21,0aB	26,7aAB	31,1aA
	SA	13,4bB	20,4aAB	21,1bA
	Teste F	0,69 ^{ns}		
	CV (%)	17,00		
30 DAT		Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
	SH	22,1aB	35,3aA	33,5aA
	SA	13,3bB	21,2bA	23,2bA
	Teste F	0,13 ^{ns}		
	CV (%)	10,05		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste Tukey (5%).

Os teores de ICF tem forte correlação positiva com o teor de nitrogênio na área foliar e podem ser influenciados por diversos fatores, como a composição e concentração de sais e as diferenças genotípicas entre as variedades (Paulus *et al.*, 2010). A clorofila total deve ser elevada, uma vez que, em termos agrônômicos, sobretudo para a alface, considera-se uma variável de qualidade, proporciona o verde intenso neste tipo de hortaliças e torna-a atraente para os consumidores (Santos *et al.*, 2001).

Na Tabela 19 estão apresentados os efeitos dos sistemas avaliados para a cultura da alface em relação ao rendimento produtivo.

Tabela 19 - Análise de variância da produtividade do cultivo de alface aos 30 DAT

Tratamento	Variedade		
	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
SH	6,2aA	5,2aAB	4,8aB
SA	0,8bA	0,5bA	0,8bA
Teste F	0,13 ^{ns}		
CV (%)	14,54		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste Tukey (5%).

^{**}, * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo pelo Teste F, para a interação tratamento x variedade.

Houve uma diferença estatisticamente significativa para a produtividade final entre os sistemas para o cultivo de alface. No SH a alface crespa teve um destaque com maior produção, seguida pela alface americana e a menor produção obtida pela

alface lisa. O SA favoreceu a produtividade em média para alface crespa e lisa, o menor rendimento foi obtido pela alface americana.

Martins *et al.* (2009) demonstraram resultados próximos ao avaliar alface em hidroponia com uma produtividade de 5,12 kg/m². E uma produtividade menor a encontrada nesta pesquisa foi relatada por Ribeiro (2017), com valores entre de 1,60 e 2,58 kg/m². Em aquaponia maiores produtividades foram alcançadas entre 1,38 e 1,87 kg/m² para alface com CE em torno de 0,4 dS/m, provavelmente devido ao sistema de fluxo contínuo, que destinou o efluente após o tratamento para a cultura vegetal (Ribeiro, 2017).

A elevada produtividade com a técnica hidropônica, é atribuída sobretudo, à disponibilidade frequente e equilibrada de nutrientes para serem absorvidos pelo vegetal. Embora, o sistema aquapônico apresentou produtividades baixas, torna-se um recurso importante como opção de reuso, pois permite salientar uma certa fração das necessidades nutricionais e hídricas no campo agronômico.

Na Tabela 20 observa-se os resultados dos teores nutricionais das diferentes variedades de alface cultivadas em SH e SA, notou-se diferença estatisticamente significativa para os dois sistemas de cultivo. O Ca, Mn e Zn na parte aérea apresentaram um aumento significativo no SA para alface crespa e alface lisa o Mg foi significativamente maior no SA para todas as variedades. Os teores de N, P, K, S, B, Cu e Fe, foram maiores para todas as variedades de alface no SH como descrito na Tabela 19.

Todavia na raiz o Mg não apresentou diferença entre médias nos diferentes sistemas e para o caso de P que não houve diferença estatística somente para alface lisa. O teor de N, P, K, Ca, S, B, Cu, Fe e Mn, mostraram maior valor nas diferentes variedades de alface no SH, com exceção da alface crespa aquapônica com maior teor de P, B, Cu e Zn (Tabela 20). Neste sentido, os macronutrientes mais importantes para o desenvolvimento vegetal, como o N, K, e P, não atenderam às exigências das variedades de alface no sistema com efluente de piscicultura.

O nutriente principal no cultivo vegetal é o N, importante no crescimento da raiz e da parte aérea, favorecendo a taxa da área foliar na planta e melhorando a capacidade de absorção iônica, fotossíntese e respiração do vegetal. O K é o nutriente mais importante na atividade enzimática e deficiências deste nutriente afetam o metabolismo da planta, resultando em necroses das margens ou pontas foliares. O P

é o principal responsável da transferência e armazenamento de energia e fixação biológica do N (Prado, 2008).

Além de evidenciar a deficiência nutricional após a colheita, verificou-se a redução representativa de MFPA, MSR, MSPA e produtividade e também se observou a coloração verde mais clara, folhas mais velhas com pontos nas bordas, e uma queda no crescimento da área foliar no sistema alimentado com efluente provenientes do SRA.

Tabela 20 - Teor de nutrientes na parte aérea e sistema radicular das diferentes variedades de alface no SH e SA

		Teor parte aérea g/kg			Teor sistema radicular g/kg		
		Alface crespa	Alface americana	Alface lisa	Alface crespa	Alface americana	Alface lisa
N	SH	39,1a	38,2a	40,8a	31,4a	32,1a	31,2a
	SA	16,0b	11,5b	14,6b	15,3b	11,6b	15,1b
P	SH	7,4a	8,3a	8,1a	9,1b	9,7a	12,5a
	SA	4,3b	3,5b	4,5b	10,8a	8,1b	12,3a
K	SH	84,6a	49,8a	70,9a	42,0a	35,7a	37,9a
	SA	54,9b	25,2b	32,5b	13,4b	11,6b	11,9b
Ca	SH	8,3b	12,2a	11,6b	6,3a	8,1a	7,6a
	SA	14,0a	11,1b	16,8a	5,4b	4,1b	6,3b
Mg	SH	3,6b	4,0b	4,6b	5,8a	6,0a	6,1a
	SA	5,3a	4,3a	5,7a	6,0a	5,8a	6,1a
S	SH	2,3a	2,5a	3,3a	3,0a	3,1a	3,1a
	SA	1,7b	1,5b	2,3b	2,2b	2,3b	3,0b
B	SH	36a	41a	39a	22b	50a	53a
	SA	33b	33b	34b	31a	27b	37b
Cu	SH	12a	12a	14a	55b	79a	103a
	SA	8b	6b	8b	68a	39b	66b
Fe	SH	132a	158a	233a	2335a	2412a	2619a
	SA	72b	58b	79b	1359b	1547b	2428b
Mn	SH	89b	92a	62b	128b	206a	234a
	SA	156a	60b	66a	150a	104b	127b
Zn	SH	103b	92a	91b	144b	233a	222a
	SA	171a	61b	106a	251a	201b	210b

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Em relação a eficiência de remoção do SRA, composto por MBS e MABR, apresentaram-se valores médios de 98,6% para turbidez, 88,7% para DBO e 88,4% para DQO. O sistema proporcionou uma redução significativa na concentração de matéria cabornácea, constituindo-se em uma alternativa relevante na remoção de efluentes de atividades piscícolas.

Nas diferentes formas de compostos nitrogenados o sistema alcançou resultados de eficiência de remoção em média de 17,5% para NT e 42,8% para NAT, com concentração média inferior aos 2 mg/L de NAT, o que atende à resolução vigente de lançamento do efluentes em corpos receptores de água doce. As remoções médias de NO_2^- e NO_3^- , foram de 55,9% e 36,3% respectivamente. Ademais, o sistema se foi eficiente em 29,7% na redução de PT.

Considera-se a tecnologia MBS uma opção viável de implementação em SRA no cultivo de espécies aquícolas com cargas intensivas de cultivo, uma vez que, os resultados de remoção para série de sólidos mostraram médias de 67,2% para ST, 97,1% para SST e 16,8% para SDT.

Em relação ao MABR se pode considerar uma alternativa para ser implementada em SRA conforme os resultados obtidos, contudo se deve atender certas características hidráulicas como, TDH menores aos operados neste experimento.

As eficiências em termos de remoção de NT no sistema para cultura vegetal de alface mostraram as médias de 40,6% em SH e 40,2% no SA. Para o NH_3 as eficiências de remoção evidenciaram uma média de 25,7% no SH e de 36,2% no SA.

A densidade de estocagem da Tilápia do Nilo inicial foi de 21,73 kg/m³ e no final da avaliação se alcançou uma produtividade de 31,89 kg/m³, o ganho peso diário dos peixes foi de 1,03 g e a sobrevivência de 84,8%.

O rendimento vegetal apresentou resultados superiores para a alface crespa nos dois sistemas de cultivo, em relação à matéria fresca e seca do sistema radicular e a MFPA. A alface lisa resultou em maior valor médio de MSPA e NF. Por outra parte, a alface americana indicou maior ICF no SH e para alface lisa no SA.

Em termos gerais, a alface crespa apresentou maior produtividade nos dois sistemas de cultivo, devido a maior à produção de massa fresca e seca e à maior concentração de nutrientes, com médias de produção de 6,2 kg/m² cultivada em hidroponia, e de 0,8 kg/m² utilizando o efluente de piscicultura.

Apesar que o rendimento vegetal seja superior no sistema hidropônico convencional, o efluente de piscicultura se torna uma alternativa importante na cultura de hortaliças, uma vez que pode suprir as demandas nutricionais, até um determinado estágio do crescimento da planta.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Efetuar a avaliação de diferentes condições operacionais do MBS na remoção de compostos poluentes de piscicultura, por exemplo, variando o TDH, enchimento do leito com outros meios de suporte e várias frações de enchimento.

Submeter à operação uma tecnologia que combine condições aeróbias e anaeróbias, para conseguir uma redução significativamente maior de nitrogênio total e fósforo, considerado um dos principais compostos relacionados a eutrofização em ambientes aquáticos.

Utilizar um alimento concentrado com teores nutricionais, principalmente, proteicos de acordo a fase de crescimento dos organismos de cultivo no SRA.

É necessário integrar o sistema de recirculação à cultura hidropônica para conseguir maiores eficiências em remoção, assim como, maior rendimento produtivo do vegetal devido à oferta constante de nutrientes.

Avaliar a frequência de descarga do MBS para evitar o acúmulo da fração sólida sedimentada na base do mesmo aparato.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, R.; RAUNIYAR, S.; POKHREL, N.; WAGLE, A.; KOMAI, T.; PAUDEL, S. R. Nitrogen recovery via aquaponics in Nepal: current status, prospects, and challenges. **SN Applied Sciences**, v. 2, n.7, p. 1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2996-5>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Panorama das águas**. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 4 jul. 2023.
- AHMADIANNAMIN, P.; ESWARANANDAM, S.; WICKRAMASINGHE, R. QUIAN, X. Mixed-matrix membranes for efficient ammonium removal from wastewaters. **Journal of Membrana Science**, [S.l.], v. 526, p. 147-155. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.12.032>.
- AHN, Y. H.. Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: A review. **Process Biochemistry**, South Korea, v. 41, n. 8, p. 174409-1721, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.03.033>.
- AICH, N.; NAMA, S.; BISWAL, A.; PAUL, T. A review on recirculating aquaculture systems: challenges and opportunities for sustainable aquaculture. **Innovative Farming**, Tripura, v. 5, n. 1, p. 17-24, 2020. Disponível em: <https://www.innovativefarming.in/index.php/IF/article/view/109>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- AKINAWO, S. O. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. **Environmental Challenges**, [S.l.], v. 12, p. 1-18. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>.
- ALI, S. A. Dissolved oxygen mass balance in aquaculture ponds. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, Qaliubía, v. 29, n. 4, p. 1621-1644, 2012. DOI: <https://doi.org/10.21608/MJAE.2012.101388>.
- ALIPIO, M. I.; CRUZ, A. E. M. D.; DORIA, J. D. A.; FRUTO, R. M. S. On the design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agriculture. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 315–324, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.02.008>.
- ALMEIDA, J.; BEGA, J.; LEITE, L.; OLIVEIRA, J.; ALBERTIN, L.; MATSUMOTO, T. Membrane aerated biofilm reactor in recirculating aquaculture system foreffluent treatment. **Environmental Technology**, [S.l.], v. 44, n. 26, p. 4071-4083, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2078674>.
- ALVES, L.; TAKAHASHI, L.; BARBOSA, J.; MIASAKI, C.; LOPES, P.; RIBEIRO, C.; SOUZA, C. Estudos sobre o cultivo de hortaliças e peixes em sistemas aquapônicos na região da Alta Paulista. In: 8º Congresso de extensão universitária da UNESP. 2015, Dracena, **Anais..** Dracena: Ed. UNESP, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2017.

ANDRADE, E. C.; TRINIDADE, H. I.; OLIVEIRA, G. P.; JUNIOR, W. L.; NETO, J. J.; SILVA FILHO, R. N.; SILVA, Y. M.; SILVA, S. M. Análise de um sistema aquapônico utilizando placa solar fotovoltaica no município de Codó-MA. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 8, n. 3, p. 20558-20572, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-319>.

ANGELIS, D.; ARAMPATZIS, G.; ASSIMACOPOULOS, D. Systemic eco-efficiency assessment of meso-level water use systems. **Journal of Cleaner Production**, Athens, v. 138, n. 2, p. 195-207, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.136>.

ARAUCO, L.; COSTA, V. Restrição alimentar no desempenho produtivo da Tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 3, n. 2, p. 134-138, 2012. Disponível em: <https://www.ufpi.br/comunicata>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ARAÚJO, A. D. F. **Integração de plantas com espécies nativas de peixes em sistema de sistema de aquaponia**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

ARAÚJO, T. P.; BRIGHENTI, L. S.; DOS SANTOS, H. B.; FONSECA, A. H.; THOMÉ, R. G. Toxicity of nitrogen compounds in fish influenced by physico-chemical water parameters: a review. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 10, n. 11, p. 1-9, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19779>.

ARILLO, A.; MARGIOCCO, C.; MELODIA, F.; MENSI, P.; SCHENONE, G. Ammonia toxicity mechanism in fish: Studies on rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson.). **Ecotoxicology Environmental. Safety**, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 16-328, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/0147-6513\(81\)90006-3](https://doi.org/10.1016/0147-6513(81)90006-3).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12209**: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA - PEIXE BR. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2022**. São Paulo: Pinheiros, 2022.

AVNIMELECH, Y. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 34, n. 3, p. 172-178, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001>.

AYER, N. W.; TYEDMERS, P. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. **Journal of Cleaner Production**, Knoxville, v. 17, n. 3, p. 362-373, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.002>.

AZEVEDO, P. A.; PODEMSKI, C. L.; HESSLEIN, R. H.; KASIAN, S. E.; FINDLAY, D. L.; BUREAU, D. P. Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. **Aquaculture**, Texas, v. 311, p. 175-186, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.001>.

BALTAZAR, P. M.; PALOMINO, A. R. **Manual de cultivo de Tilápia**. Ed 1. Peru (Lima): AEI, PADESPA e FONDEPES. 2004.

BARBOSA, P. T.; POVH, J. A.; SILVA, A. L.; VENTURA, A. S.; LAICE, L. M.; OLIVEIRA, A. F.; CARVALHO, T. A.; CORRÊA, R. A. Performance of Nile Tilapia and vegetables Grown in Different Aquaponic Volumes. **Journal of Agricultural Studies**, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 497-506, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i4.17598>.

BASSIN, J.; PRONK, M.; KRAAN, R.; KLEEREBEZEM, R.; VAN LOOSDRECHT, M. Ammonium adsorption in aerobic granular sludge, activated sludge and anammox granules. **Water Research**, Dübendorf v. 45, n. 16, p. 5257-5265, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.034>.

BASSIN, J. P.; KLEEREBEZEM, R.; ROSADO, A. S.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; DEZOTTI, M. Effect of Different Operational Conditions on Biofilm Development, Nitrification, and Nitrifying Microbial Population in Moving-Bed Biofilm Reactors. **Environmental Science & Technology**, [S.l.], v. 46, n. 3, 1546-1555, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1021/es203356z>.

BAUTISTA, O. A.; FERNÁNDEZ, D. R.; ÁLVAREZ, C. C. R.; SÁNCHEZ, M. Á. C.; MENDOZA, C. M.; GARCÍA, C. K. Productividad de la lechuga (*Lactuca Sativa* L.) en acuaponía e hidroponía. **European Scientific Journal, ESI**, [S.l.], v. 17, n. 21, p. 283-304. 30 junho. 2021. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n21p283>.

BAIYIN, B.; TAGAWA, K.; YAMADA, M.; WANG, X.; YAMADA, S.; SHAO, Y.; AN, P.; YAMAMOTO, S.; IBARAKI, Y. Effect of Nutrient Solution Flow Rate on Hydroponic Plant Growth and Root Morphology. **Plants**, Switzerland, v. 10, n. 184, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10091840>.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP. 2003.

BEUSEN, A. H. W.; BOUWMAN, A. F.; VAN BEEK, L. P. H.; MOGOLLÓN, J. M.; MIDDELBURG, J. J. Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum. **Biogeosciences**, [S.l.], v. 13, p. 20123–20148. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/bgd-12-20123-2015>.

BJONDALH, F. **Basics in Process Design**. Chemical Engineering Design. Abo Akademi University. 2006.

BORGES, M. A. **Criação de tilápias**. 2. ed. Brasília, DF: Emater-DF, 2009.

BOXMAN, S.; NYSTROM, M.; ERGAS, S.; MAIN, K.; TROTZ, M. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system. **Ecological Engineering**, Gangtok, v. 120, p. 299-310, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.003>.

BOYD, C.; TUCKER, C. **Handbook for aquaculture water quality**. Auburn: Craftmaster Printers, 2014.

BRABO, M.; FLEXA, C.; VERAS, G.; PAIVA, R.; FUJIMOTO, R. Viabilidade econômica da piscicultura em tanques-rede no reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí, Estado do Pará. **Revista Informações econômicas**, São Paulo, v. 43, n. 3, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/45516360>. Acesso em: 8 ago 2023.

BRASIL. **Lei 9.433** de 08 de janeiro de 1997. institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da constituição federal, e altera o art. 1º da lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. 1997. Acesso em: 07 set. 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA 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, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-357-de-17-de-marco-de-2005/view>. 2005. Acesso em: 25 de Ago. de 2023.

BRASIL. **Lei 11.959**, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei nº 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei nº 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mpa/legislacao/legislacao-geral-da-pesca/lei-no-11-959-de-29-06-2009.pdf/view>. 2009. Acesso em 08 set. 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA_n.430.2011.pdf. Acesso em: 19 abr. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 459**, de 04 de outubro de 2013. Altera a Resolução nº 413, de 26 de junho de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2013/res_conama_459_2013_alt_res_conama_413_2009_que_trata_licenciamento_ambiental_aquicultura.pdf. 2013. Acesso em: 08 set. 2023.

BRASIL. **Instrução normativa IBAMA n. 22**, de 22 de dezembro de 2021. Regulamenta o Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais e revoga os atos normativos consolidados, em atendimento ao Decreto nº 10.139, de 28 de novembro de 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-22-de-22-de-dezembro-de-2021-370133746>. 2021. Acesso em: 7 set. 2023.

BRAZ, A. J. **Desenvolvimento e utilização de ração para tilápia-do-nilo a base de fruto nativo do cerrado**. 2021. 39 f. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) - Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Urutaí, 2021.

BREGBALLE, J. **A guide to Recirculation Aquaculture**: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. 3 ed. Copenhagen: FAO; EUROFISH, 2022.

BRUM, P. F.; ROSSATO, S.; HOPPE, L. S.; SOUTO, M. S.; KÖHLER, N. S.; SILVA, G. R.; JANNER, M. L. Desempenho agrônomo de diferentes cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) no sistema aquapônico comparado ao sistema convencional. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 9, n. 8, p. 23615-23632, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n8-034>.

BUN, S.; CHAWALOESPHONSIYA, N.; ERMUKDAKULA, T.; PUNGRASMI, W.; SUWANNASILP, B.; PAINMANAKUL, P. Suspended solid and nitrate removal from aquaculture system wastewater by different approach. **Desalination and Water Treatment**, [S.l.], v. 21, p. 87-94. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21198>.

BUZBY, K. M.; LIN, L. S. Scaling aquaponic systems: balancing plant uptake with fish output. **Aquaculture Engenharia**, Maryland Heights v. 63, p. 39-44, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.09.002>. DOI: 10.34117/bjdv9n8-034.

CAMARGO, J.; ALONSO, A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. **Environment International**, [S.l.], v. 32, n. 6, p. 831-849, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>.

CARDOSO, S. A.; EL-DEIR, G. S.; CUNHA, C. C. Bases da sustentabilidade para atividade de piscicultura no semiárido de Pernambuco. **Interações**, Campo Grande, v. 17, n. 4, p. 645-653, 2016. DOI: [https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4\(08\)](https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(08)).

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. 1 ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2023.

CARVALHO, E.D. Avaliação dos impactos da piscicultura em tanques-rede nas represas dos grandes tributários do alto Paraná (Tietê e Paranapanema): o pescado, a ictiofauna agregada e as condições limnológicas. **Relatório Científico (FAPESP)**. Botucatu, SP, 2006.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo**: hidroponia. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 1995.

CAVALCANTE, D. H.; BARROS, R. L.; SÁ, M. V. Growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fingerlings reared in Na₂CO₃ limed Waters. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n.3, p. 331-336. 2010. DOI: 10.4025/actascianimsci.v32i3.8510.

CAVALCANTE, D. H. **Relação dureza/alcalinidade da água e seus efeitos sobre a qualidade da água, do solo e desempenho zootécnico de juvenis de Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos em condições laboratoriais**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Pesca) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CECCHERINI, G. J.; LIMA, T. J.; SALA, F. C. Different tray cell volumes for lettuce grown in conventional and hydroponic system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 1, p. 1-6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190491>.

CÁRDENAS, G.; SÁNCHEZ, I. Recirculating aquaculture system with three phase fluidized bed reactor: Carbon and nitrogen removal. **Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia**, Medellín, v. 97, p. 93-102, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200264>.

CERQUEIRA, M. A. **Valoração da lemna (*Landoltia punctata*) no polimento de efluente do sistema de recirculação aquícola**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.

CHAN, R.; CHIEMCHAI SRI, C.; CHIEMCHAI SRI, W. Application of membrane biorreactor with sponge media in aquaculture wastewater treatment. **Journal of Fisheries and Environment**, Bangkok, v. 5, n. 2, p. 106-118, 2021. Disponível em: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFE/article/view/247757>. Acesso em: 07 jun. 2024.

CHATVIJITKUL, S.; BOYD, C. E.; DAVIS, D. A.; MCNEVIN, A. A. Pollution potential indicators for feed-based fish and shrimp culture. **Aquaculture**, Auburn, v. 477, p. 43-49, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.034>.

CHEN, S.; YU, J, WANG, H.; YU, H.; QUAN, X. A pilot-scale coupling catalytic ozonation–membrane filtration system for recirculating aquaculture wastewater treatment. **Desalination**, [S.l.]. v. 363, p. 37-43, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.09.006>.

CHEN, Z.; CHANG, Z.; QIAO, L.; WANG, J.; YANG, L. LIU, Y.; SONG, X.; LI, J. Nitrogen removal performance and microbial diversity of bioreactor packed with cellulosic carriers in recirculating aquaculture system. **International**

Biodeterioration & Biodegradation, [S.I.], v. 157, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.105157>.

COMEAU, Y.; BRISSON, J.; RÉVILLE, J. P.; FORGET, C.; DRIZO, A. Phosphorus removal from trout farm effluents by constructed wetlands. **Water Science and Technology**, [S.I.], v. 44, n. 11-12, p. 55-60, 2001. DOI: <http://www.doi.org/10.2166/wst.2001.0809>.

COMETTI, N. N. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 26, n. 2, p. 252-257, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000200027>.

CONNOLLY, K., TREBIC, T., 2010. **Optimization of a Backyard Aquaponic Food Production System**. 2010. Disponível em: <https://www.mcgill.ca/bioeng/files/bioeng/KeithTatjana2010.pdf>.

COOPER, A. J. **The ABC of NFT Nutrient Film Technique**: The World's First Method of Crop Production Without a Solid Rooting Medium. London: Grower books, 1979.

COSTIGAN, E. M. **Nutrient Removal from Recirculating Aquaculture System Water**. 2022. 105 f. Tese (Mestrado em Ciências) – Escola de Pós-Graduação, Universidade do Maine, Maine, 2022.

COSTA, S.; CAMPAGNOL, R. Olericultura: Cultivo hidropônico. Curitiba: Senar. 2016.

CÔTÉ, P.; PEETERS, J.; ADAMS, N.; HONG, Y.; LONG, Z.; IRELAND, J. A new membrane-aerated biofilm reactor for low energy wastewater treatment: Pilot results. **Proceedings of the Water Environment Federation**, [S.I.], v. 62014, p. 4226–42394, 2015. DOI: 10.2175/193864715819540883.

CREPALDI, D. V.; TEXEIRA, E. A.; FARIA, P. M.; RIBEIRO, D. C.; MELO, D. C.; SOUSA, A. B.; SATURNINO, H. M. Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal, Belo Horizonte**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3-4, p. 86-99, 2006. Disponível em: <http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20%20%28sistemas%20de%20producao%29%20pag%2086-99.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.

CRITES, R.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones**. New York: Mc Graw Hill, 2000. 776 p.

DAIMS, H.; LEBEDEVA, E. V.; PJEVAC, P.; HAN, P.; HERBOLD, C.; ALBERTSEN, M.; JEHLICH, N.; PALATINSZKY, M.; VIERHEILIG, J.; BULAEV, A.; KIRKEGAARD, R. H... Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. **Nature**, [S.I.], v.528, n.7583, p. 504-509, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16461>.

DALASTRA, C. **Nutrição e produção de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em**

sistema hidropônico. 2017. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

DANIEL, L. M. C.; POZZI, E.; FORESTI, E.; CHINALIA, F. A. Removal of ammonium via simultaneous nitrification-denitrification nitrite-shortcut in a single packed-bed batch reactor. **Bioresource Technology**, São Paulo, v. 100, n. 3, p. 1100-1107, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.003>.

DAVIDSON, J.; HELWIG, N.; SUMMERFELT, S. Fluidized sand biofilters used to remove ammonia, biochemical oxygen demand, total coliform bacteria, and suspended solids from an intensive aquaculture effluent. **Aquacultural Engineering**, Seattle, v. 39, n. 1, p. 6-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.04.002>.

D'ORBCASTEL, E. R.; BLANCHETON, J. P.; AUBIN, J. Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using life cycle assessment. **Aquaculture Engineering**, Seattle, v. 40, n. 3, p. 113- 119, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.002>.

DUVALL, C. J. **Low-Energy Nitrification of Wastewaters Using Membrane Aerated Biofilm Reactors**. 2017. 102 f. Disertação (Applied Science in Environmental Engineering) - University of Guelph, Ontario, 2017.

DUBEY, N.; NAIN, V. Hydroponic - The Future of Farming. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, Jaipur, v. 5, n. 4, p. 857-864, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.54.2>.

DUC, L.; SONG, B.; ITO, H.; HAMA, T.; OTANI, M.; KAWAGOSHI, Y. High growth potential and nitrogen removal performance of marine anammox bacteria in shrimp-aquaculture sediment. **Chemosphere**, [S.l.], v. 196, p. 69-77, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.159>.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, Ithaca, v. 257, n. 1–4, p. 346-358, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>.

EDING, E., VERDEGEM, M., MARTINS, C., SCHLAMMAN, G., HEINSBROEK, L., LAARHOVEN, B., ENDE, S., VERRETH, J., AARTSEN, F., BIERBOOMS, V. Tilapia farming using Recirculating Aquaculture Systems (RAS) - Case study in the Netherlands. In.: VARADI, L.; BARDÓCZ, T.; OBERDIECK, A (Ed.). **A handbook for Sustainable aquaculture**. Jawa Barat: SustainAqua, 2009. p. 70-93.

EFFENDI, H.; WAHYUNINGSIH, S.; WARDIATNO, Y. The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) in water recirculation system. **Applied Water Science**, [S.l.], v. 7, n. 6, p. 3055-3063. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0418-z>.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia Culture**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2019.

ELER, M. N.; MILLANI, T. J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 33-44, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000004>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Pesca e aquicultura**. Nota técnica. Portal Embrapa (Versão 3.59.4) p 1, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/nota-tecnica>. Acesso em: 3 Jul. 2023.

ENDUT, A.; JUSOH, A.; ALI, N.; WAN NIK, W. B.; HASSAN, A. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic systems. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 101, p. 1511-1517, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.040>.

ENRIQUEZ, Y. A. **Utilização de reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos no tratamento de águas residuárias da produção intensiva de Tilápia com recirculação da água tratada**. 2011. 173 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

ENRIQUEZ Y.; SÁNCHEZ, I.; MATSUMOTO, T. Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de tilapia. **Revista MVS Córdoba**, Córdoba, v. 18, n. 2, p. 3492-3500. 2013. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-02682013000200010. Acesso em: 08 jun. 2024.

ENRIQUEZ, Y. A. **Remoção de nitrogênio e fósforo de efluentes da atividade piscícola em sistema fechado reatores de leito móvel com biofilme**. 2018. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.

FEUZER, C. **Desempenho de três variedades de alface (*lactuca sativa*), em sistema de aquaponia**, 21 f, 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Agrônoma) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Campus Rio do Sul, Rios do Sul, 2016.

FILGUEIRA, F.A.R. Cichoriáceas: alface, chicórea e almeirão. In: Filgueira, F.A.R. (Ed.). **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. 2.ed. São Paulo: AgronômicaCeres, 1982. p.77-86.

FLECKENSTEIN, L. J.; TIERNEY, T. W.; RAY, A. J. Comparing biofloc, clear-water, and hybrid recirculating nursery systems (Part II): Tilapia (*Oreochromis niloticus*) production and water quality dynamics. **Aquacultural Engineering**, Seattle, v. 82, p. 80-85, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.06.006>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The estate of world fisheries and aquaculture**. Towards blue transformation. Roma, FAO. 2022.

FRAGA-CORRAL, M.; RONZA, P.; GARCIA-OLIVEIRA, P.; PEREIRA, A.; LOSADA, A.; PRIETO, M.; QUIROGA, M.; SIMAL-GANDARA. Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products. **Trends in Food Science & Technology**, [S.l.], v. 199, pp. 23-35, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.026>.

FRASCÁ-SCORVO, C. M; SCORVO-FILHO, J. D. A piscicultura. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 1-4, 2011.

FREDDI, L. A. **Uso de reator de biofilme aerado em membrana no tratamento de efluente de sistema de recirculação aquícola**. 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo. 1997. 30 p. (Boletim técnico, 168).

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 52 p. (Boletim técnico, 180).

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, P. L. C.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 3 - Produção de mudas para hidroponia**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com.br/Artigos/2009_2/Hidroponiap3/Index.htm. Acesso em: 21 set. 2023.

GEISENHOF, L. O.; JORDAN, R. A.; SANTOS, R.C.; OLIVEIRA, F. C.; GOMS, E. P. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 291-299, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p291-299/2016.7>.

GODDEK, S.; VERMEULEN, T. Comparison of Lactuca sativa growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. **Aquaculture International**, [S.l.], v. 26, p. 1377-1386, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0293-8>.

GONDIM, A. R.; FLORES, M. E.; MARTINEZ, H. E.; FONTES, P. C.; PEREIRA, P. R. Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 894-904, 2010. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-911701>. Acesso em: 30. Abr. 2024.

GRABER, A., JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, [S.l.], v. 246, n. 1-3, p. 147-156, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>.

GRAEFF, A.; AMARAL, J. Produção de juvenis de Tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) em tanque-rede como opção econômica para regiões de clima

desfavorável para engorda anual. In: Congresso iberoamericano virtual de acuicultura, 3., **Anais...** 2004.

GULLIAN-KLANIAN, M.; ARÁMBURU-ADAME, C. Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water Exchange. **Latin American Journal of Aquatic Research**, Valparaíso, v. 41, n.1, p. 150-162, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3856/vol41-issue1-fulltext-12>.

GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. **Aquaculture**, Honolulu, v. 226, p. 201-212, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00478-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00478-2).

HALVER, J.E.; HARDY, R.W. **Fish nutrition**. Academic Press, New York, 824 p. 2002.

HAN, W.; ZHOU, J.; SHENG, D.; WU, D.; ZHOU, H.; YANG, Z.; YIN, J.; XIA, C.; KAN, Y.; HE, J. Integration of a pure moving bed biofilm reactor process into a large micro-polluted water treatment plant. **Water Science & Technology**, Londres, v. 86, n. 12, p. 3051-3066. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2022.380>.

HE, H.; W, B. M.; CARLSON, A. L.; YANG, C.; DAIGGER, G. T. Recent progress using membrane aerated biofilm reactors for wastewater treatment. **Water Science & Technology**, Michigan, v. 84, n. 9, p. 2131-2157, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2021.443>.

HECKATHORN, S. A.; GIRI, A.; MISHRA, S.; BISTA, D. Heat Stress and Roots. In: TUTEJA, N.; GIL S. **Climate change and plant abiotic stress tolerance**. Wiley-Blackwell. 2013. cap 5, p. 109-136 Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9783527675265.ch05>.

HEFFERNAN, B.; SHRIVASTAVA, A.; TONIOLO, D.; SEMMENS, M.; SYRON, E. Operation of a large-scale membrane aerated biofilm reactor for the treatment of municipal wastewater. **Proceedings of the Water Environment Federation**, [S.I.], v. 2017, n. 16, p. 285–297, 2017. DOI: [10.2175/193864717822155795](https://doi.org/10.2175/193864717822155795).

HEGAZI, M. M.; ATTAI, Z. I.; HEGAZI, M. A. M.; HASANEIN, S. S. Metabolic consequences of chronic sublethal ammonia exposure at cellular and subcellular levels in Nile tilapia brain. **Aquaculture**, [S.I.], v. 299, p. 149-156, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.020>.

HOUWELING, D.; DAIGGER, G. T. **Intensifying Activated Sludge Using Media-Supported Biofilms**. 1. ed, Boca Raton, FL: CRC Press. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780429260278>.

HOWARD, M. R. **Hydroponic food production**: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. 7. ed. Londres: CRS Press. 2013.

HUNDLEY, G. M.; NAVARRO, R. D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 3, n. 2, p. 52-61, 2013. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v3i2.218>.

HUNDLEY, G. M.; NAVARRO, R. D.; FIGUEIREDO, C. M.; NAVARRO, F. K.; PEREIRA, M. M.; RIBEIRO, O. P.; SEIXAS, J. T. Aproveitamento do efluente da produção de Tilápia do Nilo para o crescimento de manjerição (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 51-55, 2013. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v3i1.188>.

HUSSAIN, A.; IQBAL, K.; AZIEM, S.; MAHATO, P.; NEGI, A. K. A review on the Science of growing crops without soil (Soilless Culture) – A novel alternative for growing crops. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, Pavia, v. 7, n. 11, p. 833-842, 2014. DOI: <http://www.doi.org/10.4081/ija.2017.1012>.

HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; SAKAMOTO, Y.; JONAS, T. C.; ABRAMO, A. L. Aplicação da água de escoamento de tanque de piscicultura na irrigação da alface: aspectos nutricionais. **Revista Ecosistema**, Espírito Santo de Pinhal, v. 27, n. 1-2, p. 49-52, 2002.

HUTCHINSON, W.; JEFFREY, M.; O'SULLIVAN, D.; CASEMEN, D.; CLARKE, S. M. **Recirculating aquaculture systems minimum standards for design, construction and management**. Kent Town: Inland Aquaculture Association Of South Australia, 2004. 70 p.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S.K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource technology**, [S.l.], v. 188, p. 92-98, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>.

IGWEGBE, C. A.; OVUORAYE, P. E.; BIALOWIEC, A.; OKPALA, C. O.; ONUKWULI, O. D.; Dehghani, M. H. Purification of aquaculture effluente usinh *Pircralina nítida* seeds. **Scientific Reports**, Londres, v. 12, n. 21594, p. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26044-x>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA - INPA. **Fundamentos de Acuicultura Continental: Fundamentos No. 1**. 2 ed. Colômbia: República de Colômbia, 2001.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation**. London, England: IWA Publishing, 2000. E-book.

IP, Y. K.; CHEW, S. F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. **Frontiers in Physiology**, Singapore, v. 1, p. 1-20, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00134>.

IRHAYYIM, T.; FEHÉR, M.; LELESZ, J.; BERCSÉNYI, M.; BÁRSONY, P. Nutrient removal efficiency and growth of watercress (*Nasturtium officinale*) under different harvesting regimes in integrated recirculating aquaponic systems for rearing common

carp (*Cyprinus carpio* L.). **Water**, Basel., v. 12, n. 5, p. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051419>.

JÁCOME, A.; MOLINA, J.; SUÁREZ, J. TEJERO, I. Simultaneous removal of organic matter and nitrogen compounds in auto aerated biofilms. **Journal Environmental Engineering**, Reston, v. 132, n. 2, p. 1255-1263, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2006\)132:10\(1255\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:10(1255)).

JAN, S.; RASHID, Z.; AHNGAR, T. A.; IQBAL, S.; NAIKOO, M. A.; MAJEED, S.; BHAT, T. A.; GUL, R.; NAZIR, I. Hydroponics – A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [S.I.], v. 9, n. 8, p 1779-1787, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.206>.

JORDAN, R. A.; GEISENHOF, L. O.; DE OLIVEIRA, F. C.; SANTOS, R. C.; MARTINS, E. A. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 27- 31, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p27-31>.

JUNIOR, C.; REZENDE, R.; FREITAS P.; GONÇALVES, A. FRIZZONE, J. Influência da condutividade elétrica, concentraçãoiônica e vazão de soluções nutritivas na produçãode alface hidropônica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1142-1147. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400016>.

KARNA, D.; VISVANATHAN C. From conventional activated sludge process to membrane-aerated biofilm reactors: scope, applications, and challenges. *In*: BUI, X. T *et al.* (eds) **Water and wastewater treatment technologies: energy, environment, and sustainability**. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019.

KAWAM, j.; SUJA, F.; PRAMANIK, S.; YUSOF, A.; RAHMAN, R.; HASAN, H. Effect of Hydraulic Retention Time on the Performance of a Compact Moving Bed Biofilm Reactor for Effluent Polishing of Treated Sewage. **Water**, Basiea, v. 41, n. 81, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14010081>.

KHATER, E. G.; ALI, S. A; BAHNASAWY, A. H.; AWAS, M. A. Solids removal in a recirculating aquaculture system. **Misr Journal Of Agricultural Engineering**, [S.I.], v. 28, n. 4, p. 1178-1196, 2011. DOI: <http://doi.org/10.21608/MJAE.2011.102635>.

KHATER, E. G.; BAHNASAWY, A.; EL-GHOBASHY, H.; SHABAN, Y.; ELSHEIKH, F.; ABD EL- REHEEM, S.; ABOEGELA, M. Mathematical model for predicting oxygen concentration in tilapia fish farms. **Scientific reports**, [S.I.], v. 11, n. 1, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03604-1>.

KNIGHT, C. A. Causes and consequences of eutrophication, which are leading to water pollution. **Journal of Preventive Medicine**, [S.I.], v. 6, n. 10:118, p. 118–119. 2021. DOI: [10.36648/2572-5483.6.10.118](https://doi.org/10.36648/2572-5483.6.10.118).

KIRCHHERR, J.; PISCICELLI, L.; BOUR, R.; KOSTENSE-SMIT, E.; MULLER, J.; HUIBRECHTSE-TRUIJENS, A.; HEKKERT, M. Barriers to the circular economy:

evidence from the European Union (EU). **Ecological Economics**, Netherlands, v. 150, p. 264-272, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>.

KRAUSE, J.; KUZAN, D.; DEFRANK, M.; MENDEZ, R.; PUSEY, J.; BRAUN, C. **Design guide for recirculating aquaculture system**. Glassboro: Rowan University, 2006.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. 1. ed. Jundiaí: UFV, 2000.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L. Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade – Parte I. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 59, p. 44-53, 2000a. Disponível em: https://www.acquaimagem.com.br/_files/ugd/6c2d26_86b0e51d1b1a4ad4a7e09cb46ebf918e.pdf. Acesso em: 2 mai. 2024.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L. Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade – Parte II. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 60, p. 31-53, 2000b. Disponível em: https://www.acquaimagem.com.br/_files/ugd/6c2d26_eb3a105f984c4f07a7fe45808e567b82.pdf. Acesso em: 7 mai. 2024.

KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso da água. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006a. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/category/edicao-95/>. Acesso em: 15 ago. 2023.

KUBITZA, F. Ajustes na nutrição e alimentação de tilápias, **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 98, p. 14-24, 2006b. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/ajustes-na-nutricao-e-alimentacao-das-tilapias/>. Acesso em: 2 mai. 2024.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. 2. ed. Jundiaí: UFV, 2011.

KUBITZA, F. Fundamentos e produção segura de peixes em viveiros - parte 2: Os conceitos de biomassa segura e econômica. **Panorama da aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 155, p. 14-23, 2016.

LAURETT, L.; FERNANDES, A.; SCHMILDT, E.; ALMEIDA, C.; PEREIRA, M. Desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva. **Revista de Ciências Agrárias, Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 60, n. 1, p. 45-52, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2466>.

LAWSON, T. B. **Fundamentals of aquacultural engineering**. London: Springer-science+business media, b.v. 1995.

LAZZARI, R.; BALDISSEROTTO, B. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 591-600, 2008. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/284425485_Nitrogen_and_phosphorus_waste_in_fish_farming. Acesso em: 01 nov, 2023.

LEIRA, M. H.; CUNHA, L; T.; BRAZ, M. S.; VIEIRA, C. C.; BOTELHO, H. A.; REGHIM, L. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **Puvbet**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 11-17. 2017. DOI: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n1.11-17>.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. **Aquaculture International**, Berlin, v. 14, n. 6, p. 539–550, 2006. DOI: <http://www.doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>.

LEPINE, C.; CHRISTIANSON, L. DAVIDSON, J.; SUMMMERFELT, S. Woodchip bioreactors as treatment for recirculating aquaculture systems' wastewater: A cost assessment of nitrogen removal. **Aquacultural Engineering**, [S.l.], v. 83, p. 85-92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.09.001>.

LEVIT, S. M. **A literature review of effects of ammonia on fish**. Bozeman (Montana): The Nature Conservancy. 2010.

LI, D. Z.; ZHAO, D.; ZHANG, Y.; SUN, L.; ZHANG, H.; LIAN, M.; LI, B. Oil-field wastewater treatment by hybrid membrane-aerated biofilm reactor (MABR) system. **Chemical Engineering Journal**, Oxford, v. 264, p. 595–602, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.11.131>.

LI, P.; LI, M.; ZHANG, Y.; ZHANG, H.; SUN, L.; LI, B. The treatment of surface water with enhanced membrane-aerated biofilm reactor (MABR). **Chemical Engineering Science**, Tianjin, v.144, p. 267-274, 2016 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2016.01.030>.

LI, C.; ZHANG, B.; LUO, P.; SHI, H.; LI, L.; GAO, Y.; LEE, C.; ZHANG, Z.; WU, W. **Performance of a pilot-scale aquaponics system using hydroponics and immobilized biofilm treatment for water quality control**, Journal of Cleaner Production, [S.l.], v. 208, p. 274-284, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.170>.

LI, J.; FENG, M.; ZHENG, S.; ZHAO, W.; XU, X.; YU, X. The membrane aerated biofilm reactor for nitrogen removal of wastewater treatment: Principles, performances, and nitrous oxide emissions. **Chemical Engineering Journal**, [S.l.], v. 460, n 141693, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.141693>.

LIMA, F. A.; RODRIGUES, A. P.; ALVES, A. L.; LUIZ, D.; HASHIMOTO, D. T.; VARELA, E. S.; REZENDE, F. P. *et al.* **Piscicultura de água doce: Multiplicando conhecimentos**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

LIMA, F. A.; BERGAMIN G. T.; MORO, G. V. Engorda de peixes. In: LIMA, F. A.; RODRIGUES, A. P.; ALVES, A. L.; LUIZ, D.; HASHIMOTO, D. T.; VARELA, E. S.;

REZENDE, F. P. *et al.* **Piscicultura de água doce**: Multiplicando conhecimentos. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 347-377.

LIMA, T. J.; GAZAFFI, R.; CECCHERINI, G. J.; MARCHI, L.; MARTINEZ, M.; FERREIRA, C. G.; SALA, F. C. Volume of cells on trays influences hydroponic lettuce production. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 36, n. 3, p. 408-413, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180320>.

LIMA, J. F.; DUARTE, S. S.; BASTOS, A. M.; CARVALHO, T. Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 26, p. 13476- 13488, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04496-5>.

LIN, W.; LUO, H.; WU, J.; HUNG, T-CH.; CAO, B.; LIU, X.; YANG, J.; YANG, P. A review of the emerging risks of acute ammonia nitrogen toxicity to aquatic decapod crustaceans. **Water**, Basilea, v. 15, n. 27, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15010027>.

LISBÔA, S. M. F. **Aquaponia superintensiva: tratamento e reuso de água**. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

LIU, H.; CHE, X.; ZHANG, Y. Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system. **Aquacultural Engineering**, Seattle, v. 52, p. 80-86, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.10.002>.

LLEN, D. An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components. *In: North Central Regional Aquaculture Center*. 123, 2017. Disponível em: https://www.ncrac.org/files/publication/hydroponic_components.pdf.

LOPES, I. G.; CRUZ, M. C.; ABDO, M. T.; VIDOTTI, R. M. **Compostagem, aquicultura e agricultura**: sustentabilidade e ciclagem de nutrientes. Jaboticabal: FUNEP, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344500976_Compostagem_aquicultura_e_agricultura_sustentabilidade_e_ciclagem_de_nutrientes. Acesso em: 14 mar. 2024.

LORA, J. **Alface cultivada em sistema aquapônico sob diferentes populações de peixes e volumes de material filtrante**. 95 f. 2022. Distertação (Mestrado Ciências Agrárias - Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2022.

LOSORDO, T. M. DELONG, D. L. Flow rate estimation for RAS. **Global Aquaculture Advocate**, Portsmouth, p. 1-5, 2015 Disponível em: <https://www.globalseafood.org/advocate/flow-rate-estimation-for-ras/>. Acesso em: 12 out. 2023.

LOSORDO, T. M.; DELONG, D. P. Recirculating aquaculture technology, part 1. **Global Aquaculture Advocate**, Portsmouth, p. 1-4, 2015. Disponível em:

<https://www.globalseafood.org/advocate/recirculating-aquaculture-technology-part1/>. Acesso em: 1 nov. 2023.

LU, J.; ZHANG, Y.; WU, J.; WANG, J. Nitrogen removal in recirculating aquaculture water with high dissolved oxygen conditions using the simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification system. **Bioresource Technology**, Yantai, v. 305, n. 123037, p. 1-10. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123037>.

MAKORI J. A.; ABUOM, P. O.; KAPIYO, R.; ANYONA, N. D.; DIDA, O. G. Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County. **Fisheries and Aquatic Sciences, Maseno**, [S.l.], v. 20, n. 30, p. 1-10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0075-7>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: P. 1997.

MARENGONI, N. G. Produção de Tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 55, n. 210, p. 127-138, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49521001>. Acesso: 21 set. 2023.

MARENGONI, N. G.; MOTA, F. L. S.; GOMES, R. B.; FERNANDES F. F. B.; OLIVEIRA, N. T. E.; OGAWA, M. 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, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n2p927>.

MARISCAL-LAGARDA, M. M.; PÁEZ-OSUNA, F.; ESQUER-MÉNDEZ, J. L.; GUERRERO-MONROY, I.; DEL VIVAR, A. R.; FÉLIX-GASTELUM, R. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 366-367, p. 76-84, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.003>.

MARTINS, C. M.; MEDEIROS, J. F.; LOPES, W. A.; BRAGA, D. F.; AMORIM, L. B. Curva de absorção de nutrientes em alface hidropônica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 123-128, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1359>.

MARTINS, C. I.; EDING, E. H.; VERDEGEM, M. C.; HEINSBROEK, L. T.; SCHNEIDE, O.; BLANCHETON, J. P.; ORBCASTELD, R. D.; VERRETH, J. A. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, Singapore, v. 43, n. 3, p. 83-93. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>.

MARTINS, C. A. **Balanço de massa de um sistema de ultrafiltração e osmose reversa para dessalinização de água salobra**. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual De Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

MATSUMOTO, T.; ENRIQUEZ, Y. Eficiência na remoção de NAT, DBO e DQO utilizando reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos associado ao decantador de coluna em uma produção intensiva de tilápia.

Engenharia Sanitaria e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152201684178>.

MCQUARRIE, J. P.; BOLTZ, J. P. Moving Bed Biofilm Reactor Technology: Process Applications, Design, and Performance. **Water Environment Research**, [S.I.], v. 83, n. 6, p. 560-575. 2011. DOI:10.2175/106143010x12851009156286.

MEDINA, L.; EMERENCIANO, M.; BRUM, A.; SOUZA, H.; MELLO, G. Sistema de recirculação aquícola: relações peso-comprimento e fatores de condição de quatro espécies de peixes tropicais. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 1-10, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27368>.

MELO FILHO, M.; OWATARI, M.; MOURIÑO, J.; LAPA, K.; SOARES, H. Application of nitrification and denitrification processes in a direct water reuse system for pacific white shrimp farmed in biofloc system. **Aquacultural Engineering**, Seattle, v. 88, p. 1-7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102043>.

MENDES, F. T.; FREITAS, A. S.; ALCANTRA, E.; MARQUES, R. F.; OLIVEIRA, A. S.; PÁDUA, M. C.; JUNQUEIRA, R. R. Desempenho agrônômico de cultivares de alface em aquaponia. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 9, p. 1-7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18176>.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. *E-book*.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2016. *E-book*.

MEHRABI, S.; HOUWELING, D.; DAGNEW, M. Single-Stage Biofilm-Based Total Nitrogen Removal in a Membrane Aerated Biofilm Reactor: Impact of Aeration Mode, HRT and Scouring Intensity. **Research Square**, [S.I.], v. 1, p. 1-27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-400202/v1>.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. **Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011**. Brasília: República Federativa do Brasil. 2013.

MONGIRDAS, V; KUSTA, A. Oxygen mass balance in a recirculation aquaculture system for raising European Wels (*Silurus glanis* L.). **Ekologija**, Vilnius, v. 4, p. 58-64, 2006. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/242519244_Oxygen_mass_balance_in_a_recirculation_aquaculture_system_for_raising_European_Wels_Silurus_glanis_L. Acesso em: 12 out. 2023.

MONSEES, H.; SUHL, J.; PAUL, M.; KLOAS, W.; DANNEHL, D.; WÜRTZ, S. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically

reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. **Plos One**, San Francisco, v. 14, n. 6, p. 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218368>.

MORAES, A. M.; SEIFFERT, W. Q.; TAVARES, F.; FRACALLOSSI, D. M. Desempenho zootécnico de Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, com diferentes rações comerciais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 388-395, 2009. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83945>. Acesso em: 07 mai. 2024.

MORO, G. V.; TORATTI, L. S.; LUIZ, D. MATOS, F. T. Monitoramento e manejo da qualidade da água em pisciculturas. In: LIMA, F. A. *et al.* **Espécies de peixe para piscicultura. Piscicultura de água doce: Multiplicando conhecimentos**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

MOTA, V. C.; LIMBU, P.; MARTINS, C. I.; EDING, E. H.; VERRETH, J. A. The effect of nearly closed RAS on the feed intake and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), African catfish (*Clarias gariepinus*) and European eel (*Anguilla anguilla*). **Aquacultural Engineering**, Seattle, v. 6, p. 1-5, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.06.002>.

MUNGKUNG, R.; PHILIPS, M.; CASTINE, S.; BEVERIDGE, M.; CHAIYAWANNAKARN, N.; NAWAPAKPILAI, S.; WAITE, R. **Exploraty analysis of resource demand and environmental footprint of future aquaculture development using Life Cycle Assessment**. Penang: WorldFish, 2014.

MURRAY, F.; BOSTOCK, J.; FLETCHER, D. **Review of recirculation aquaculture system technologies and their commercial application**. Escócia. Stirling Aquaculture. 2014.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, Springe, v. 3, n. 140, p. 369-380, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.

NURSYAHID, A.; SETYAWAN, T. A.; SA'DIYAH, K.; WARDIHAN, E. D.; HELMY, H.; HASAN, A. Analysis of Deep Water Culture (DWC) hydroponic nutrient solution level control systems. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, [S.l.], v. 1108, n. 1, p 1-9. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1108/1/012032>.

OBAJA, D.; MACE, S.; COSTA, J.; SANS, C.; MATA-ALVAREZ, J. Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor. **Bioresource Technology**, Barcelona, v. 87, n. 1, p. 103-111, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00229-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00229-8).

OBIRIKORANG, K.; AGBO, N.; OBIRIKORANG, C.; ADJEI-BOATENG, D.; AHIAVE, S.; SKOV, P. Effects of water flow rates on growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a recirculating aquaculture system. **Aquaculture International**, Switzerland, v. 27, p. 449-462, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00342-0>.

OSMUNDSEN, T. C.; AMUNDSEN, V. S.; ALEXANDER, K. A.; ASCHE, F.; BAILEY, J.; FINSTAD, B.; OLSEN, S. M. *et al.* The operationalisation of sustainability: Sustainable aquaculture production as defined by certification schemes. **Global Environmental Change**, [S.l.], v. 60, n. 102025, p. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102025>.

OXYMEM. **Case study**: SABESP Julho 2016. p. 24. Maio, 2017.

PAERL, H. W.; PAUL, V. J. Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. **Water Research**, [S.l.], v. 46, n. 5, p. 1349-1363. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.002>.

PALMA, F. M. **Correlação jurídica entre os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e os indicadores de sustentabilidade para avaliação dos sistemas de aquicultura no Brasil**. 2022. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2022.

PANIGRAHI, G. K.; PANDA, S.; PADHI, S. N. Aquaponics: An innovative approach of symbiotic farming. **International Journal Of Bioassays**, South Korea, v. 5, n 9, p. 4808-4814, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21746/ijbio.2016.09.005>.

PANTANELLA, E.; CARDARELLI, M.; COLLA, G.; REA, E.; MARCUCCI, A. Aquaponics vs. hydroponics: production and quality of lettuce crop. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 927, p. 887-893, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.927>.

PARDO, A. F. **Uso da *Landoltia punctata* no tratamento do efluente de piscicultura resultante do SRA com reator de biofilme aerado em membrana**. 2022. 118 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2022.

PARVATHY, A. J.; DAS, B. C.; JIFIRIYA, M. J.; VARGHESE, T.; PILLAI, D.; KUMAR, V. J. Ammonia induced toxico-physiological responses in fish and management interventions. **Reviews in Aquaculture**, [S.l.], v. 15, n, 3, p. 452-479. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12730>.

PATILLO, A. D. **An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components**. In: North Central Regional Aquaculture Center. 123., 2017. Disponível em: https://www.ncrac.org/files/publication/hyroponic_components.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.

PAULUS, D.; NETO, D.; FRIZZONE, J.; SOARES, T. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 28, n. 8, p. 29-35, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000100006>.

PEDROZA, M. X.; VALLADÃO, R. M.; SOUZA, H.; TORRES, H. J.; YOKOYAMA, D.; BISPO, V.; OLIVEIRA, L.; MENDES, F. L. **O mercado de peixes da piscicultura no Brasil: estudo do segmento de supermercados**. 1 ed. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215540/1/CNPASA-2020-bpd25.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2023.

PEIRONG, Z.; WEIG, L. Use of fluidized bed biofilter and immobilized *Rhodopseudomonas palustris* for ammonia removal and fish health maintenance in a recirculation aquaculture system. **Aquaculture Research**, v. 44, n. 3, p. 327–334, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03038.x.

PINHO, S. M.; DAVID, L. H.; G, F.; KEESMAN, K. J.; PORTELLA, M. C. GODDEK, S. South American fish species suitable for aquaponics: A review. **Aquaculture International**, Berlin, v. 29, p. 1427-1449, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>.

PRADO, R. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

QUAN, F.; YUXIAO W.; TIANMIN, W.; HAO, Z.; LIBING, C.; CHONG, Z.; HONZHANG, C.; XIUQUIN, K. HUI, X. Effects of packing rates of cubic-shaped polyurethane foam carriers on the microbial community and the removal of organics and nitrogen in moving bed biofilm reactors. **Bioresource Technology**, [S.I.], v. 117, p. 201-207, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.076>.

RADEJENOVIC, J.; MATOŠIĆ, M.; MIJATOVIĆ, I.; PETROVIĆ, M.; BARCELÓ, D. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology. In: BARCELÓ, D.; KOSTIANYO, A. **Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste**. Heidelberg: Springer, 2007. p. 37-101. Disponível em: https://doi.org/10.1007/698_5_093. Acesso em: 05 jun. 2024.

RAGAB, A. M.; EL-GINDY, A. G.; KADDOUR, O.; ALI, S. A. Dissolved oxygen na Ammonia Mass Balance in a Recirculating Aquaculture System for raising the Nile Tilápia. **Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries**, Cairo, v. 25, n. 2, p. 217-237, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21608/EJABF.2022.227771>.

RAKOCY, J. Ten guidelines for aquaponics systems. **Aquaponics Journal**, v. 46, p. 14-17, 2007.

RAKOCY, J.E.; MASSER, M.P.; LOSORDO, T.M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. **SRAC Publication**, Stoneville, n. 454, p. 1-16. Disponível em: <https://srac.tamu.edu/categories/view/24>. Acesso em: 19 set. 2023.

RAKOCY, J. E. Aquaponics: integrating fish and plant culture. **Aquaculture production systems**, New York, v. 1, p. 343-386, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch14>.

RANDALL, D.J.; TSUI, T. K. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin**, [S.I.], v. 45, n. 1-12, p. 17-23, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8).

RANGEL, M. F. S; MAKRAKIS, S. **Tilápia – Uma opção para o produtor rural: Normas técnicas para a prática da piscicultura**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002.

REBOUÇAS, P. M.; LIMA, L. R.; DIAS, I. F. Influência da oscilação térmica na água da piscicultura. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, [S.l.], v. 32, n. 2, p. 35-42. 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265.v02n02a01>.

RÊGO, A. C.; PINESE, P. O.; MAGALHÃES, P. A. PINESE, J. F. Relação peso-comprimento para *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) e *Leporinus friderici* (Bloch, 1794) (Characiformes) no reservatório de Nova Ponte-EPDA de Galheiro, rio Aragua-ri, MG. **Revista Brasileira de Zootecias**, Juiz de Fora, v. 10, n. 1, p. 13-21. 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/zoociencias/article/view/24080>. Acesso em: 07 mai. 2024.

REIS, M. C.; AZEVEDO, F.; ULBRICHT, W. E. Toxicidade e Efeitos da Amônia em Peixes Neotropicais. In: Cyrino, J. E. Urbinati, E. C.; Fracalossi, D. M.; Castagnolli, N. **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. 1 ed. São Paulo: TecArt, 2004. p. 81-95.

REIKE, D.; VERMEULEN, W.J.V.; WITJES, S. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0?—Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resources, Conservation and Recycling**, Michigan, v. 135, p. 246-264, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.

RESH, H. M. **Hydroponic food production**: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.

RIBEIRO, E. F. **Desempenho de diferentes substratos em cultivo de alface aquapônico e hidropônico**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.

ROCHA, F. N. Influência da dinâmica de nutrientes para a eutrofização em corpos hídricos. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, Ceará, v. 2, n. 2, p. 91, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51189/rema/1660>.

ROSSO, F.; BOLNER, K.; BALDISSEROTTO, B. Ion fluxes in silver catfish (*Rhamdia quelen*) juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. **Neotropical Ichthyology**, Santa Maria, v. 4, n. 4, p. 435-440. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000400007>.

RUSSO, R. C. Ammonia, nitrite, and nitrate. In: RAND, G. M.; PETROCELLI S. R. **Fundamentals of aquatic toxicology and chemistry**. Washington, D.C: Hemisphere Publishing Corp, 1985. p. 455-471.

RUSTEN, B. EIKEBROKK, B.; Ulgenes, Y.; Lygren, E. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. **Aquacultural Engineering**, [S.l.], v. 34, n. 3, p. 322–331, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.002>.

SALILING, W.; WESTERMAN, P.; LOSORDO, T. Wood chips and wheat straw as alternative biofilter media for denitrification reactors treating aquaculture and other wastewaters with high nitrate concentrations. **Aquacultural engineering**, [S.l.], v. 37, p. 222-233, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2007.06.003>.

SALAM, M.A.; ASADUJJAMAN, M.; RAHMAN, M. S. Aquaponics for improving high density fish pond water quality through raft and rack vegetable production. **World Journal of Fish and Marine Sciences**, Pakistan, v. 5, n. 3, p. 251-256, 2013. DOI: 10.5829/idosi.wjfds.2013.05.03.7274.

SALVETTI, R. AZZELLINO, A.; CANZIANI, R.; BONOMO, L. Effects of temperature on tertiary nitrification in moving bed biofilm reactors. **Water Research**, [S.l.], v. 40, n. 15, p. 2981, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.05.013>.

SÁNCHEZ, I.; MATSUMOTO, T. Hydrodynamic characterization and performance evaluation of an aerobic three phase airlift fluidized bed reactor in a recirculation aquaculture system for Nile Tilapia production. **Aquacultural Engineering**, [S.l.], v. 47, p. 16-26, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.12.006>.

SANDU, S.; HALLERMAN, E. Biodegradation of nitrogen in a comercial recirculating aquaculture facility. In: Chamy, R, **Biodegradation – Engineering and Technology**. Valparaíso: InTech, 2013. cap. 13, p. 341–364.

SANT'ANA, R. H. *et al.* **Manual de criação de peixes em viveiros**. 1. ed. Mato Grosso do Sul: Corumbá. Embrapa Pantanal, 2013.

SATHYAMOORTHY, S.; TSE, Y.; GORDON, K.; HOUWELLING, D.; COUTTS, D. **BNR process intensification using membrane aerated biofilm reactors**, 2019. Disponível em: <https://www.accesswater.org/publications/proceedings/-10012792/bnr-process-intensification-using-membrane-aerated-biofilm-reactors>. Acesso em: 5 out. 2023.

SANTOS, R. H.; SILVA, F.; CASALI, V. W.; CONDÉ, A. R. Conservação pós-colheita de alface cultivada com composto orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 36, n. 3, p. 521-525, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300017>.

SANTOS, C. P. **Desempenho agrônômico e teor de clorofila na relação com absorção de água em alface**. 71 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2020.

SANTOS, V. B.; TEXEIRA, D. A.; GOMES, V. J.; SILVA, V. V.; ALMEIDA M. V.; SIMÕES, R. A. Comparative growth and performance of two generations of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá v. 44, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v44i1.55786>.

SÁTIRO, T. M.; NETO, K. X.; DELPRETE, S. M. Aquaponia: sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável. **Revista**

Brasileira de Engenharia de Pesca, São Luis, v. 11, n. 1, p. 38-54, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18817/repesca.v11i1.1513>.

SCHNEIDER, J. C.; LAARMAN, P. W.; GOWING, H. Length-weight relationships. In: SCHNEIDER, J. C. (Ed.). **Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates**. Michigan Department of Natural Resources, 2000. p. 184-200.

SCHULTER, E. P. VIEIRA FILHO, J. E. R. **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Rio de Janeiro: Ipea, 2017.

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Desenvolvimento E Potencial Da Tilapicultura No Brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 177-201, 2018. DOI: <https://doi.org/10.25070/rea.v16i2.554>.

SEDIYAMA, M. A.; PEDROSA, M. W.; SALGADO, L. T.; PEREIRA, P. C. Desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão e no inverno, **Científica**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 98-106, 2009. DOI: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2009v37n2p98%20-%20106>.

SEDLAK, R. **Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater: principles and practice**. 2. ed. Seattle: CRC Press, 2018.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Criando modelo de negócios sustentáveis: piscicultura**. Distrito Federal, 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Aquicultura%20-%20Criando%20modelo%20de%20neg%C3%B3cios%20sustent%C3%A1veis%20-%20Piscicultura.pdf>.

SHANAHAN, J. W.; SEMMENS, M. J. Influence of a nitrifying biofilm on local oxygen fluxes across a micro-porous flat sheet Membrane. **Journal of Membrane Science**, Atlanta, v. 277, p. 65-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.10.010>.

SHANNON, M. C. Adaptation of plants to salinity. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 60, n. 1, p. 75-120, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60601-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60601-X).

SHARMA, N.; ACHARYA, S.; KUMAR, K.; SINGH NARENDRA.; CHAURASIA, O. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. **Jornal of Soil and Water Conservation**, [S.l.], v. 17, n. 4, p. 364-371, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>.

SHEIKH, B. A. Hydroponics: key to sustain agriculture in water stressed and urban environment. **Pakistan Journal of Agriculture, Agriculture Engineering and Veterinary Sciences**, Pakistan, v. 22, p. 53-57, 2006.

SHEN, X.; QI, C. Countermeasures towards Circular Economy Development in West Regions. **Energy Procedia**, [S.l.], v. 16, p. 327-93, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.148>.

SIQUEIRA, V. T. Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 49, p. 119-170. 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16085>. Acesso em: 21 ago. 2023.

SIKAWA, D. C.; YAKUPITIYAGE, A. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 97, p. 1317-1325, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.013>.

SILVA, M. L.; JUNIOR, L. V.; COLOVATTO, G. F.; SARTORI, R. A. Produção hidropônica de quatro cultivares de alface em Garça (SP). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 1, n. 11, p. 1-7, 2007. Disponível em: http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/5Pm4fTVRGum8vsE_2013-5-3-11-38-13.pdf.

SILVA, B.C.; MASSAGO, H.; MARCHIORI, N. C. **Monocultivo de tilápia em viveiros escavados em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: Epagri, 2019.

SILVA, G. F.; MACIEL, L. M.; DALMAS, M. V.; GONÇALVES, M. T. **TILÁPIA-DO-NILO**: Criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná. Curitiba: GIA. 2015. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/12/Livro-pronto.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SINDILARIU, P. D. BRINKER, A. B.; REITER, R. Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. **Aquacultural Engineering**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 127-135, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.03.001>.

SIQUEIRA, T. V. Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. **Boletim regional urbano e ambiental (IPEA)**, [S.l.], p. 54, 2017.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here?. **Trends in Ecology and Evolution**, Londres, v. 24, p. 201-207, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009>.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

SONARGHARE, P. C.; MASRAM, S. C.; SONPAROTE, U.R.; KHAPARDE, K.P.; KHARKATE, S. K. Causes and Effects of Eutrophication on Aquatic Life. **International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation**, Nagpur, v. XI (SP2), p. 213–218. 2020. Disponível em: https://essence-journal.com/wp-content/uploads/Volume_XI/Special_ISSUE_2/22.-Causes-and-effects-of-eutrophication-on-aquatic-life.pdf. Acesso em: 17-jan-2024.

SONNEVELD, C.; VOOGT, W. **Plant Nutrition of Greenhouse Crops**. Netherlands: Springer, 2009.

SOUSA, C. S.; BONETTI, A. M.; GOULART, L. R.; RODRIGUES, J. M.; NOGUEIRA, L.; ALVES, M.; RAMOS, R.; VIEIRA, C.; KERR, E. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 11-16, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90866102>. Acesso em: 20 set. 2023.

SOTO-ZARAZÚA, M. G.; HERRERA-RUIZ, G.; RICO-GARCÍA, E.; TOLEDANO-AYALA, A.; PENICHE-VERA, R.; OCAMPO-VELÁZQUEZ, R.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. Development of efficient recirculation system for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture using low cost materials. **African Journal of Biotechnology**, Nigeria, v. 9, n. 32, p. 5203-5211, 2010. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92152>. Acesso em: 03 nov. 2023.

SPRICIGO, P. C.; BERTINI, V. A.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; TAVARES, M. Avaliação da pós-colheita de alface hidropônica, em função da quantidade de raízes, utilizando o equipamento Wiltmeter®. **Horticultura Brasileira**, [S.I.], v. 27, n. 2, p. S3790-S3796, 2009.

SRI-UAM, P.; DONNUEA, S.; POWTONGSOOK, S.; PAVASANT, P. Integrated Multi-Trophic Recirculating Aquaculture System for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 7, p. 1-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8070592>.

STATHOPOULOU, P.; BERILIS, P.; LEVIZOU, E.; SAKELLARIOU, M.; KORMAS, A.; ANGELAKI, A.; KAPSIS, P.; VLAHOS, N.; MENTE, E. Basil and Nile tilapia Production in a Small Scale Aquaponic System. **Journal of Fisheries Sciences**, [S.I.], v. 12, n. 4, p. 001-003, 2018. Disponível em: <https://www.fisheriessciences.com/fisheries-aqua/basil-and-nile-tilapia-production-in-a-small-scale-aquaponic-system.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

STERZELECKI, C. F.; SANTO, R. G.; GUSMAO, A. T. M.; CARVALHO, C. C. T.; DOS REIS, R. A.; GUIMARAES, R.; SANTOS, S. M.; MEIO, A. N. F.; LUZ, R. K. PALHETA, A. D. G. Effects of hydroponic supplementation on Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) and lettuce seedling (*Lactuca sativa* L.) development in aquaponic system. **Aquaculture**, Texas, v. 543, p. 1-6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736916>.

SUÁRES-CÁCERES, G. P.; LOBILLO EGUÍBAR, J.; FERNÁNDEZ-CABANÁS, V. M.; QUEVEDO-RUIZ, R. J.; PÉREZ-URRESTARAZU. Polyculture production of vegetables and red hybrid Tilapia for self-consumption by means of micro-scale aquaponic systems. **Aquaculture Engineering**, [S.I.], v. 95, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102181>.

SUGITA, H.; NAKAMURA, H.; SHIMADA, T. Microbial communities associated with filter materials in recirculating aquaculture systems of freshwater fish. **Aquaculture**, Texas, v. 243, n. 1-4, p. 403-409. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.028>.

SUTANI, J.; SOSSAE, F.; CASTRO, M.; JUNIOR, G. Avaliação do desempenho produtivo de cultivares de alfaces em sistemas aquapônico e hidropônico. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 1-14. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26909>.

SYRON, E.; CASEY, E. Membrane-Aerated Biofilms for High Rate Bio-treatment: Performance Appraisal, Engineering Principles, Scale-up, and Development Requirements. **Environmental Science and Technology**, [S.l.], v. 42, n. 6, p. 1833-1844, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/es0719428>.

TACON, A.G.J.; FORSTER, I.P. Aquafeeds and the environment: policy implications. **Aquaculture**, Texas, v. 226, p.181-189, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S00448486\(03\)00476-9](https://doi.org/10.1016/S00448486(03)00476-9).

TADDA, M. CHANGWEI, GOUDA, M.; ABOMOHRA, A.; SHITU, A.; AHSAN, A.; ZHU, S.; LIU, D. Enhancement of nitrite/ammonia removal from saline recirculating aquaculture wastewater system using moving bed bioreactor. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S.l.], v. 9, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105947>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TAVARES, M.; TEIXEIRA, A.; NIZIO, A.; SILVA, A.; BEZERRA, A.; HACKBARTH, A.; MATOS, B.; BALDISSEROTTO, B.; SAGRATZI, B.; SANTOS, L.; OBA, E. T. et al. **Manejo e Sanidade de Peixes em Cultivo**. 1. ed. Macapá: Embrapa Amapá, 2009.

TERADA, A.; YAMAMOTO, T.; TSUNEDA, S.; HIRATA, A. Sequencing batch membrane biofilm reactor for simultaneous nitrogen and phosphorus removal: Novel application of membrane-aerated biofilm. **Biotechnology And Bioengineering**, [S.l.], v. 94, n. 4, p. 730-739, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.20887>.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. Wastewater engineering an overiev. In: METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Boston: McGraw Hill Education, 2003. p. 1-24.

TIMMONS, M.; EBELING, J. **Recirculating aquaculture**. 2. ed. Ithaca: Coyuga Aqua Ventures. 2010.

TIMMONS, M.; GUERDAT, T.; VINCI, B. **Recirculating Aquaculture**. 4. ed. Vero Beach: Ithaca Publishing Company, 2018.

THORARENSEN, H; FARRELL, A. P. The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. **Aquaculture**, Texas, v. 312, n. 1-4, p. 1-14, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.043>.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. 1. Ed, São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible; facts and figures**. Perúgia: UNESCO, 2022. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380733>. Acesso em: 5 out. 2023.

URBINATI, E.C.; CARNEIRO, P. C. Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura *In*: CYRINO, J. E. URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D. M. CASTAGNOLLI, N. **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. 1 ed. São Paulo: TecArt, 2004. p. 171-193.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA. **Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria For Ammonia - Freshwater**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency. 2013.

VALENTI, W. C. Avanços e Desafios Tecnológicos para a Sustentabilidade da Carcinicultura *In*: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 41a., 2012, Brasília, **Anais** [...] Brasília, 2012, p.1-15.

VALENTI, W. C.; KIMPARAB, J. M.; PRETOC, B. L.; MORAES, V. P. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, Coimbra, v. 88, p. 402-413, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALI, R. O. Aquaculture in Brazil: past, presente and future. **Aquaculture reports**, [S.l.], v. 19, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>.

VAN OS, E. A.; GIELING, T. H.; LIETH, J. H. Technical equipment in soilless production systems. *In*: RAVIV, LIETH (eds) **Soilless culture: Theory and practice**, Amsterdam: Elsevier, p. 157–207. 2008. Disponível em: <http://www.doi.org/10.1016/B978-0-44452975-6.50007-1>. Acesso em: 28 set. 2023.

VAN RIJN, J.; TAL, Y.; SCHREIER, H. Denitrification in recirculating systems: theory and applications. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 34, n. 3, p. 364-376, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.004>.

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

VELAZQUEZ-GONZALES, R. S.; GARCIA-GARCIA, A. L.; VENTURA-ZAPATA, E.; BARCEINAS-SANCHEZ, D. O.; SOSA-SEVEDRA, J. C. A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. **Agriculture**, Basil, v. 12, n. 646, p. 1-21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>.

VINATEA, L. **Princípios químicos de qualidade de água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.

VISVANATHAN, C.; HUNG, N. Q.; JEGATHEESAN, V. Hydrogenotrophic denitrification of synthetic aquaculture wastewater using membrane bioreactor. **Process Biochemistry**. [S.l.], v. 43, n. 6, p. 673-682, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.02.007>.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol 1. 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFM. 2005.

VON SPERLING. **Basic principles of wastewater treatment**. Vol. 2. Londres: IWA Publishing, 2007.

VON SPERLING, M.; VERBYLA, M.; OLIVEIRA, S. **Assessment of treatment plant performance and water quality data: a guide for students, researchers and practitioners**. Londres: IWA Publishing, 2020.

WAHAP, N.; ESTIM, A.; KIAN, A.Y. S.; SENOO, S.; MUSTAFA, S. Producing organic fish and mint in an aquaponic system. **Aquaponics Journal**, v. 58, n. 3, p. 29-33, 2010. Disponível em: <https://aquaponics.com/wp-content/uploads/articles/Producing-Organic-Fish-and-Mint-in-Aquaponics.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

WANG, J.; LIU, G. F.; LU, H.; JIN, R. F.; ZHOU, J. T.; LEI, T. M. Biodegradation of Acid Orange 7 and its auto-oxidative decolorization product in membrane-aerated biofilm reactor. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Maryland, v. 67, p. 73-77, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.12.003>.

WANG, H.; SONG, Q.; WANG, J.; ZHANG, H.; HE, Q. ZHANG, W.; SONG, J.; ZHOU, J.; LI. HUI. Simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal in an aerobic granular sludge sequencing batch reactor with high dissolved oxygen: Effects of carbon to nitrogen ratios. **Science of the Total Environment**, Exeter, v. 642, p. 1145-1152, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.081>.

WAMBUA, D.; HOME, P.; RAUDE, J.; ONDIMU, S. Requisitos ambientales y energéticos para diferentes biomásas de producción de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de acuicultura de recirculación (RAS) en Kenia. **Aquaculture and Fisheries**, Shanghai, v. 6, n. 6, p. 593-600, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.019>.

WONGKIEV, S.; POPP, B. N.; KHANAL, S. K. Nitrogen recovery and nitrous oxide (N₂O) emissions from aquaponic systems: influence of plant species and dissolved oxygen. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Hong Kong, v. 134, p. 117-126, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.08.008>.

YANG, C. Review on the causes of eutrophication in water. **International Seminar on Education, Management and Social Sciences**, Dali, v. 687, p. 246–252. 2022. DOI: https://doi.org/10.2991/978-2-494069-31-2_30.

YANG, T.; KIM, H. Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. **Journal of**

Clenaer Production, [S.l.], v. 274, n. 20, p. 1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>.

YEP, B.; ZHENG, Y. Aquaponic trends and challenges e A review. **Jornal of Cleaner Production**, Guelph, v. 228, p. 1586 - 1599, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>.

ZHANG, X.; ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; LIU, P.; GUO, R.; JIN, S. AND LIU, Y. Evaluation and analysis of water quality of marine aquaculture area. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Dalian, v. 17, n. 4, p. 1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041446>.

ZHANG, H.; CHEN, J.; HAFFNER, G. Plateau Lake water quality and eutrophication: status and challenges. **Water**, Basilea, v. 15, n. 337, p. 1–6. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15020337>.

ZHOU, Y.; LI, R.; GUO, B.; XIA, S.; LIU, Y.; RITTMANN, B.E. The influent COD/N ratio controlled the linear alkylbenzene sulfonate biodegradation and extracellular polymeric substances accumulation in an oxygen-based membrane biofilm reactor. **Journal of Hazardous Materials**, [S.l.], v. 422, n. 126862, p. 1-9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126862>.

APÊNDICE A - MONITORAMENTO DE PARAMETROS DIARIOS NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	Temperatura (°C)				OD (mg/L)				pH			
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR
20-dez-23	25,5	24,0	23,5	23,5	6,0	4,6	5,4	5,8	6,86	6,35	6,16	6,06
21-dez-23	24,0	25,5	23,0	23,0	6,4	4,8	5,0	5,2	7,20	7,42	6,81	6,51
22-dez-23	24,0	24,5	24,0	23,5	6,6	4,9	5,2	5,4	6,61	5,80	5,21	5,40
23-dez-23	25,0	25,0	23,9	23,5	6,0	5,2	4,6	5,2	6,95	6,96	6,85	6,87
24-dez-23	23,5	23,0	24,4	23,0	5,6	4,5	5,1	5,5	6,88	6,52	6,43	6,51
25-dez-23	24,0	24,5	24,5	24,1	6,1	4,8	5,2	5,3	7,32	7,25	7,02	7,20
26-dez-23	25,4	24,0	24,5	24,2	6,0	4,5	4,8	5,3	7,19	7,25	7,30	7,21
27-dez-23	25,5	25,0	24,5	24,5	6,3	4,7	5,0	5,4	7,52	7,44	7,40	7,28
28-dez-23	26,5	25,2	25,0	25,5	6,0	4,6	4,1	4,0	7,50	7,41	7,36	7,45
29-dez-23	26,5	25,8	25,9	25,5	5,8	4,8	4,5	3,8	7,55	7,60	7,40	7,35
30-dez-23	27,0	25,8	25,8	25,0	5,4	4,6	4,1	3,9	7,54	7,40	7,38	7,30
31-dez-23	26,5	25,0	25,5	25,0	5,1	4,6	4,2	4,0	7,48	7,30	7,33	7,46
01-jan-24	24,0	24,0	23,5	23,5	5,2	5,1	4,2	4,1	7,35	7,30	7,40	7,31
02-jan-24	26,0	24,0	24,0	25,0	5,1	4,9	4,0	4,0	7,38	7,30	7,28	7,20
03-jan-24	25,8	25,0	24,0	24,5	4,7	5,3	3,9	3,7	7,35	7,40	7,32	7,30
04-jan-24	25,0	24,0	24,5	24,0	5,6	5,0	4,8	4,1	7,53	7,45	7,41	7,40
05-jan-24	25,0	24,5	24,5	24,0	4,8	5,1	3,7	4,0	7,60	7,45	7,40	7,40
06-jan-24	24,5	24,0	24,0	24,0	5,2	4,2	4,4	4,0	7,50	7,46	7,40	7,50
07-jan-24	27,0	26,0	25,0	24,0	4,9	4,3	3,8	3,2	7,35	7,50	7,40	7,42
08-jan-24	27,0	26,5	26,0	26,0	5,5	4,9	5,6	4,8	7,65	7,60	7,51	7,50
09-jan-24	27,0	25,0	24,8	25,0	5,0	4,4	5,0	4,0	7,45	7,60	7,40	7,35
10-jan-24	25,0	25,0	24,0	23,5	5,1	4,4	4,0	3,6	7,52	7,60	7,40	7,32
11-jan-24	24,0	23,8	23,5	23,0	5,4	4,1	4,6	4,1	7,55	7,50	7,30	7,25
12-jan-24	24,0	23,5	23,0	23,0	5,3	4,5	4,4	4,0	7,60	7,50	7,46	7,45
13-jan-24	23,8	23,5	23,0	23,0	5,2	5,0	4,2	4,0	7,55	7,50	7,45	7,40
14-jan-24	24,0	23,8	24,0	23,5	5,1	4,4	4,1	3,9	7,52	7,45	7,43	7,40
15-jan-24	24,5	24,2	23,8	23,5	5,5	4,1	4,4	3,8	7,62	7,60	7,50	7,55
16-jan-24	25,0	24,0	24,2	23,8	5,3	4,5	4,1	3,6	7,62	7,58	7,40	7,50
17-jan-24	26,5	25,8	25,0	24,5	4,8	4,1	3,8	3,6	7,63	7,65	7,50	7,59
18-jan-24	27,0	25,5	25,0	24,8	5,6	4,5	4,2	4,6	7,64	7,60	7,45	7,50
19-jan-24	27,5	26,0	25,5	24,0	5,3	5,1	4,0	4,2	7,62	7,65	7,56	7,45
20-jan-24	25,0	24,5	24,0	23,4	5,6	4,6	4,0	4,5	7,58	7,63	7,56	7,50
21-jan-24	25,0	24,0	23,0	23,0	5,5	4,4	4,0	4,6	7,60	7,64	7,50	7,40
22-jan-24	26,0	25,5	25,0	24,0	5,2	4,6	4,2	4,6	7,63	7,65	7,58	7,60
23-jan-24	25,0	24,0	23,3	23,0	5,6	4,5	4,0	4,3	7,65	7,64	7,52	7,60
24-jan-24	24,0	23,0	23,5	23,0	4,9	5,0	3,6	3,9	7,65	7,60	7,50	7,60
25-jan-24	25,0	23,5	23,5	23,0	5,0	4,4	3,8	4,0	7,62	7,60	7,55	7,50
26-jan-24	25,0	24,0	23,5	23,0	5,3	4,3	4,0	3,9	7,65	7,58	7,57	7,45
27-jan-24	26,0	25,4	25,0	24,5	5,4	4,2	4,0	4,1	7,70	7,50	7,60	7,45
28-jan-24	26,5	25,9	25,0	24,0	5,6	4,4	4,2	4,1	7,73	7,59	7,62	7,50
29-jan-24	28,0	26,5	26,0	25,0	5,5	4,6	4,0	4,2	7,69	7,60	7,65	7,60
30-jan-24	27,5	26,0	26,5	25,0	4,9	4,3	3,8	3,9	7,68	7,60	7,45	7,52
31-jan-24	27,0	26,5	25,0	24,5	5,0	4,4	4,8	4,1	7,70	7,61	7,43	7,59

Continuação

Data	Temperatura (°C)				OD (mg/L)				pH			
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR
01-fev-24	28,0	25,5	24,5	24,0	5,4	4,2	4,5	4,0	7,75	7,70	7,67	7,59
02-fev-24	28,5	26,0	25,5	24,2	5,6	4,4	4,2	4,3	7,60	7,77	7,58	7,64
03-fev-24	27,5	25,0	24,5	24,0	5,3	4,3	4,0	3,8	7,64	7,78	7,52	7,45
04-fev-24	26,2	24,5	24,0	23,5	5,5	4,4	4,0	4,0	7,68	7,83	7,66	7,57
05-fev-24	28,5	26,0	25,5	25,0	5,2	4,6	4,3	4,2	7,60	7,71	7,52	7,60
06-fev-24	28,0	27,0	25,3	25,0	5,7	4,8	4,4	4,1	7,85	8,00	7,50	7,65
07-fev-24	28,0	27,2	25,5	25,0	5,4	4,4	4,0	3,8	8,16	7,60	7,63	7,55
08-fev-24	28,0	27,5	27,0	27,0	5,7	4,7	4,3	4,2	8,00	7,62	7,70	7,60
09-fev-24	27,0	27,0	26,5	26,0	5,2	4,4	4,0	3,9	8,11	7,88	7,65	7,58
10-fev-24	29,0	26,2	26,0	25,8	5,4	4,6	4,2	4,0	8,08	7,93	7,61	7,60
11-fev-24	29,5	28,0	27,5	27,0	5,2	4,8	4,1	4,0	7,99	8,03	7,80	7,66
12-fev-24	29,0	27,5	26,5	26,2	5,1	4,4	4,8	4,0	7,78	7,96	7,71	7,65
13-fev-24	30,0	28,0	27,0	27,0	5,2	4,4	4,9	4,1	7,82	8,08	7,90	7,60
14-fev-24	30,4	29,0	28,0	27,5	5,3	4,7	4,2	3,9	8,00	7,85	7,55	7,63
15-fev-24	28,5	27,0	26,0	26,5	5,0	4,2	4,0	3,9	7,95	7,82	7,60	7,60
16-fev-24	29,0	28,0	28,8	27,0	5,0	4,4	4,6	4,2	8,00	8,07	7,63	7,55
17-fev-24	29,8	29,0	28,5	28,0	5,5	4,6	4,1	3,7	7,58	7,62	7,60	7,55
18-fev-24	28,5	27,0	28,5	28,0	5,6	5,0	4,3	4,0	7,78	7,95	7,63	7,70
19-fev-24	29,0	28,0	28,0	27,5	5,8	4,8	4,6	4,3	7,75	7,90	7,68	7,72
20-fev-24	28,5	28,2	28,0	28,0	5,8	4,4	4,8	4,2	7,80	7,93	7,71	7,65
21-fev-24	29,0	28,5	28,0	28,2	5,5	5,1	3,9	4,1	7,82	7,72	7,60	7,63
22-fev-24	28,8	29,0	28,0	28,0	5,7	4,9	2,8	3,6	7,80	7,80	7,70	7,62
23-fev-24	29,8	29,0	28,0	28,5	4,8	4,8	3,1	3,4	7,85	7,91	7,65	7,62
24-fev-24	29,0	28,0	28,5	28,0	5,0	4,5	3,3	3,7	7,80	7,85	7,68	7,60
25-fev-24	29,5	29,2	29,0	28,5	4,9	4,7	3,0	3,5	7,78	7,83	7,70	7,65
26-fev-24	28,8	28,5	28,0	28,0	6,1	5,3	3,0	3,2	7,72	7,80	7,65	7,55
27-fev-24	30,0	29,0	29,0	28,5	5,4	4,9	4,2	3,8	7,75	7,82	7,60	7,50
28-fev-24	30,0	30,0	29,0	28,5	4,7	4,5	2,9	3,1	7,82	7,88	7,63	7,71
29-fev-24	30,0	30,0	29,0	29,0	4,9	4,6	2,8	3,2	7,80	7,75	7,68	7,62
01-mar-24	30,0	30,0	30,0	30,0	5,5	5,3	2,8	2,8	7,85	7,89	7,72	7,80
02-mar-24	30,5	31,0	29,0	29,5	4,6	4,9	3,5	3,6	7,83	7,8	7,72	7,68
03-mar-24	30,0	31,0	30,0	28,8	5,5	4,4	2,6	3,1	7,85	7,72	7,70	7,50
04-mar-24	31,0	30,0	29,0	29,5	5,1	4,5	3,0	3,0	7,80	7,82	7,75	7,68
05-mar-24	31,0	30,0	30,0	29,0	4,4	4,6	4,5	3,5	7,83	7,85	7,70	7,60
06-mar-24	29,5	29,5	30,0	29,0	5,1	4,4	2,6	3,4	7,85	7,80	7,60	7,63
07-mar-24	29,8	30,0	29,5	29,0	5,0	4,6	2,6	3,4	7,82	7,76	7,60	7,60
08-mar-24	31,0	30,0	29,5	29,0	4,6	5,0	2,5	3,0	7,65	7,60	7,58	7,50
09-mar-24	29,8	29,5	30,0	29,2	5,3	5,1	3,2	3,4	7,82	7,88	7,72	7,68
10-mar-24	30,0	29,8	29,5	30,0	4,7	4,1	3,1	4,0	7,80	7,82	7,60	7,55
11-mar-24	29,5	30,0	30,0	30,0	4,5	4,6	2,9	3,5	7,85	7,83	7,78	7,70
12-mar-24	29,0	30,0	29,5	29,0	4,6	4,8	2,8	3,8	7,80	7,60	7,58	7,66
13-mar-24	31,0	30,0	31,0	30,0	5,3	5,0	2,7	3,0	7,83	7,80	7,60	7,63
14-mar-24	30,0	30,0	30,0	29,0	4,6	4,3	2,7	3,4	7,88	7,70	7,68	7,75

Continuação

Data	Temperatura (°C)				OD (mg/L)				pH			
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR
15-mar-24	31,0	30,0	30,0	30,0	5,0	4,6	4,0	4,2	7,80	7,78	7,80	7,82
16-mar-24	30,0	31,0	31,0	30,0	4,8	4,0	3,0	3,2	7,85	7,75	7,80	7,70
17-mar-24	30,0	30,0	30,0	30,0	6,2	5,1	3,2	4,0	7,85	7,80	7,70	7,65
18-mar-24	30,0	30,0	30,0	29,0	6,4	4,6	3,2	3,4	7,80	7,85	7,78	7,80
19-mar-24	30,0	29,0	29,0	30,0	5,1	4,9	3,4	4,0	7,83	7,88	7,80	7,75
20-mar-24	29,0	30,0	29,5	29,5	4,8	4,4	2,6	3,5	7,88	7,81	7,65	7,68
21-mar-24	31,0	30,0	31,0	30,0	4,8	4,2	2,5	3,4	7,80	7,85	7,75	7,63
22-mar-24	29,5	30,0	29,0	30,0	4,6	5,0	3,1	3,2	7,80	7,85	7,76	7,65
23-mar-24	28,0	28,5	28,0	28,0	5,0	4,8	3,2	3,0	7,82	7,85	7,77	7,80
24-mar-24	27,2	27,0	26,5	27,5	4,6	4,0	2,7	2,5	7,85	7,70	7,65	7,60
25-mar-24	27,0	27,5	28,0	27,2	4,6	4,6	2,5	4,0	7,82	7,85	7,67	7,80
26-mar-24	27,5	28,0	28,0	28,0	4,6	4,4	2,6	4,0	7,88	7,80	7,78	7,70
27-mar-24	27,0	27,2	27,0	27,0	5,5	4,9	3,6	3,2	7,84	7,73	7,68	7,60
28-mar-24	28,0	27,0	27,5	27,0	5,0	4,2	4,6	4,0	7,78	7,73	7,68	7,55
29-mar-24	28,4	28,0	28,2	27,2	5,0	5,0	3,6	3,4	7,90	7,80	7,63	7,55
30-mar-24	29,6	29,0	29,0	30,0	4,2	4,0	2,6	4,6	7,75	7,60	7,54	7,45
31-mar-24	29,0	29,6	29,0	29,0	5,5	4,8	3,7	3,8	7,85	7,65	7,74	7,80
01-abr-24	28,6	28,0	28,4	28,0	6,0	5,2	3,1	3,6	7,82	7,78	7,81	7,75
02-abr-24	29,0	29,0	29,0	29,0	5,0	4,8	3,3	3,8	7,80	7,83	7,74	7,60
03-abr-24	28,7	28,9	29,0	28,0	5,3	4,6	2,6	2,8	7,68	7,73	7,60	7,52
04-abr-24	29,9	29,9	30,0	30,0	5,8	4,5	4,3	2,7	7,75	7,80	7,62	7,56
05-abr-24	30,0	29,5	29,3	29,8	5,7	4,8	4,2	3,9	7,78	7,73	7,70	7,60
06-abr-24	30,2	30,0	30,0	30,5	5,0	4,9	3,7	2,7	7,78	7,80	7,72	7,68
07-abr-24	29,5	29,2	29,0	28,9	5,7	4,8	4,0	3,2	7,82	7,77	7,8	7,75
Mínimo	23,5	23,0	23,0	23,0	4,2	4,0	2,5	2,5	6,61	5,80	5,21	5,40
Máximo	31,0	31,0	31,0	30,5	6,6	5,3	5,6	5,8	8,16	8,08	7,90	7,82
Médio	27,7	27,1	26,8	26,5	5,3	4,6	3,8	3,9	7,69	7,65	7,53	7,50
Desv. P	2,14	2,30	2,38	2,45	0,5	0,3	0,8	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3

Fonte: Elaboração do próprio autor.

APÊNDICE B - CONCENTRAÇÕES DE ALCALINIDADE E TURBIDEZ NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	Alcalinidade (mg/L)				Turbides (uT)				Eficiência Turbidez (%)		
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	S MABR	E MBS	E MABR	SRA
20-dez-23	25	18	17	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22-dez-23	55	41	35	45	2,0	0,5	0,5	0,4	0,0	20,0	20,0
25-dez-23	71	62	52	61	1,5	7,4	1,7	1,9	77,0	-11,8	74,3
29-dez-23	100	117	82	92	1,9	0,5	1,3	0,3	-160,0	76,9	40,0
01-jan-24	92	88	96	100	1,0	0,2	0,5	0,3	-150,0	40,0	-50,0
05-jan-24	101	94	104	99	1,4	1,2	0,9	0,5	25,0	44,4	58,3
08-jan-24	115	112	101	112	1,2	0,5	1,5	1,0	-200,0	33,3	-100,0
12-jan-24	138	142	133	129	1,8	1,0	1,5	0,8	-50,0	46,7	20,0
15-jan-24	130	123	129	133	1,0	1,5	0,8	0,2	46,7	75,0	86,7
19-jan-24	146	139	137	153	1,5	2,1	1,3	1,0	38,1	23,1	52,4
22-jan-24	144	146	141	143	1,9	1,4	1,0	0,9	28,6	10,0	35,7
26-jan-24	139	146	141	148	1,9	41,0	1,1	0,9	97,3	18,9	97,8
29-jan-24	157	170	158	156	1,7	3,2	0,8	0,4	75,0	50,0	87,5
02-fev-24	152	188	186	181	1,8	4,2	0,8	0,4	81,0	50,0	90,5
05-fev-24	195	198	192	187	1,0	56,0	0,9	1,0	98,4	-11,1	98,2
09-fev-24	185	192	162	182	1,2	4,8	0,8	0,7	83,3	12,5	85,4
12-fev-24	175	185	174	171	1,0	61,0	3,4	0,5	94,4	85,3	99,2
16-fev-24	171	174	177	165	1,0	43,0	1,7	1,4	96,1	17,6	96,7
19-fev-24	170	174	178	172	0,9	61,0	0,8	0,9	98,7	-12,5	98,5
23-fev-24	198	216	197	202	1,0	88,0	1,2	1,0	98,6	16,7	98,9
26-fev-24	168	165	173	176	1,2	109,0	1,0	0,8	99,1	20,0	99,3
01-mar-24	175	180	162	171	1,8	61,0	1,3	1,1	97,9	15,4	98,2
04-mar-24	157	151	149	153	1,2	71,0	0,8	0,6	98,9	25,0	99,2
08-mar-24	163	171	173	180	1,0	89,0	1,3	1,0	98,5	23,1	98,9
11-mar-24	176	178	167	178	1,0	79,0	0,9	0,8	98,9	11,1	99,0
15-mar-24	183	190	183	190	0,4	51,0	1,2	0,7	97,6	41,7	98,6
18-mar-24	192	192	188	195	3,2	67,0	1,8	1,2	97,3	33,3	98,2
22-mar-24	189	192	190	210	1,8	88,0	2,4	1,5	97,3	37,5	98,3
25-mar-24	184	191	183	187	2,3	99,0	1,6	1,1	98,4	31,2	98,9
29-mar-24	178	185	200	194	1,9	73,0	1,9	1,7	97,4	10,5	97,7
01-abr-24	168	179	190	194	1,3	74,0	1,2	0,8	98,4	33,3	98,9
07-abr-24	168	181	193	185	2,6	120,0	2,3	1,9	98,1	17,4	98,4
Mínimo	25	18	17	15	0,0	0,0	0,0	0,0	97,3*	10,5*	97,7*
Máximo	198	216	200	210	3,2	120,0	3,4	1,9	99,1*	41,7*	99,3*
Médio	149	153	148	152	1,5	42,5	1,3	0,9	98,2*	24,3*	98,6*
Desv. P	42,2	47,5	48,0	47,3	0,6	39,1	0,6	0,5	0,6*	9,8*	0,4*

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Dados calculados após a estabilização do sistema.

APÊNDICE C - CONCENTRAÇÕES DE DBO E DQO NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	DBO (mg/L)			Eficiência DBO (%)			DQO (mg/L)			Eficiência DQO (%)		
	E MBS	E MABR	S MABR	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA
20-dez-23	0,02	0,01	0,01	42,5	4,7	45,2	0	0	0	0,0	0,0	0,0
23-dez-23	0,4	0,02	0,00	93,9	100,0	100,0	221	130	214	41,2	-64,6	3,2
25-dez-23	34,46	3,25	5,47	90,6	-68,2	84,1	80	37	28	53,8	24,3	65,0
29-dez-23	20,46	6,08	6,50	70,3	-6,9	68,2	484	97	108	80,0	-11,3	77,7
01-jan-24	7,90	5,66	1,82	28,3	67,8	76,9	214	174	124	18,7	28,7	42,1
05-jan-24	8,71	8,32	0,81	4,5	90,3	90,8	166	72	57	56,6	20,8	65,7
08-jan-24	11,34	2,83	6,48	75,1	-129,1	42,9	76	35	19	53,9	45,7	75,0
12-jan-24	8,71	6,90	1,41	20,8	79,5	83,8	559	444	10	20,6	97,7	98,2
15-jan-24	4,65	1,62	4,47	65,3	-176,8	3,9	305	43	28	85,9	34,9	90,8
19-jan-24	7,09	4,67	3,64	34,1	22,0	48,6	106	70	56	34,0	20,0	47,2
22-jan-24	6,68	4,45	3,66	33,3	17,8	45,2	76	40	27	47,4	32,5	64,5
26-jan-24	39,52	2,44	8,71	93,8	-256,7	78,0	222	35	59	84,2	-68,6	73,4
29-jan-24	73,98	6,89	5,69	90,7	17,4	92,3	511	36	42	93,0	-16,7	91,8
02-fev-24	29,78	4,05	6,06	86,4	-49,6	79,6	237	45	56	81,0	-24,4	76,4
05-fev-24	60,85	12,40	5,30	79,6	57,3	91,3	518	234	25	54,8	89,3	95,2
09-fev-24	73,77	7,72	9,72	89,5	-25,9	86,8	216	36	43	83,3	-19,4	80,1
12-fev-24	72,56	4,04	4,08	94,4	-0,9	94,4	297	38	23	87,2	39,5	92,3
16-fev-24	86,34	26,37	27,15	69,5	-3,0	68,6	428	157	15	63,3	90,4	96,5
19-fev-24	114,29	19,45	10,96	83,0	43,7	90,4	257	49	19	80,9	61,2	92,6
23-fev-24	107,01	11,78	8,50	89,0	27,8	92,1	247	98	139	60,3	-41,8	43,7
26-fev-24	98,07	14,18	12,18	85,5	14,1	87,6	183	78	54	57,4	30,8	70,5
01-mar-24	81,76	10,50	8,15	87,2	22,4	90,0	398	190	116	52,3	38,9	70,9
04-mar-24	48,63	14,60	12,55	70,0	14,0	74,2	611	79	34	87,1	57,0	94,4
08-mar-24	42,05	11,32	9,36	73,1	17,3	77,7	271	77	20	71,6	74,0	92,6
11-mar-24	61,57	10,57	6,05	82,8	42,8	90,2	484	184	8	62,0	95,7	98,3
15-mar-24	49,05	11,35	7,68	76,9	32,3	84,3	177	35	10	80,2	71,4	94,4
18-mar-24	62,33	14,55	5,72	76,6	60,7	90,8	454	55	11	87,9	80,0	97,6
22-mar-24	79,45	16,22	6,06	79,6	62,6	92,4	650	86	27	86,8	68,6	95,8
25-mar-24	68,28	9,15	4,16	86,6	54,6	93,9	206	30	2	85,4	93,3	99,0
29-mar-24	89,58	23,92	10,12	73,3	57,7	88,7	308	48	7	84,4	85,4	97,7
01-abr-24	99,68	21,12	5,24	78,8	75,2	94,7	195	55	12	71,8	78,2	93,8
07-abr-24	87,55	15,00	4,04	82,9	73,1	95,4	221	33	8	85,1	75,8	96,4
Mínimo	0,02	0,01	0,00	70,0*	14,0*	74,2*	0	0	0	52,3*	-41,8*	43,7*
Máximo	114,3	26,4	27,2	89,0*	75,2*	95,4*	650	444	214	87,9*	95,7*	99,0*
Médio	0,02	0,01	0,0	80,4*	42,7*	88,7*	293	88	44	75,2*	62,0*	88,4*
Desv. P	35,3	6,7	4,9	5,6*	20,9*	5,9*	170	86	48	12,1*	33,8*	15,3*

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Dados calculados após a estabilização do sistema.

APÊNDICE D - CONCENTRAÇÕES DE NT E PT NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	NT (mg/L)				Eficiência NT (%)			PT (mg/L)				Eficiência PT (%)		
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	E MBS	E MABR	SRA	TC	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA
20-dez-23	8,9	7,0	5,7	6,2	19,2	-9,7	11,4	1,4	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
27-dez-23	7,3	9,0	7,5	8,8	15,8	-16,3	2,0	3,3	3,3	3,3	3,3	0,0	0,0	0,0
03-jan-24	8,9	5,6	7,0	6,5	-25,4	8,0	-15,4	1,1	1,7	2,2	0,6	-35,2	73,3	63,9
10-jan-24	8,2	7,8	6,1	7,8	21,5	-27,1	0,3	3,5	1,6	2,7	3,2	-67,8	-17,8	-97,6
17-jan-24	8,5	7,4	8,4	8,3	-13,2	1,4	-11,6	3,6	3,3	1,7	3,2	46,8	-82,9	2,7
24-jan-24	8,7	7,6	5,9	7,8	22,4	-32,0	-2,4	3,1	2,7	3,1	2,8	-13,8	8,2	-4,5
31-jan-24	8,2	8,5	8,7	7,6	-1,8	12,1	10,5	2,7	2,2	1,9	3,1	14,5	-60,8	-37,4
07-fev-24	8,8	8,8	7,7	8,4	12,6	-9,2	4,5	3,0	3,9	3,8	3,7	1,6	2,9	4,5
14-fev-24	8,6	8,0	8,0	7,4	1,1	6,4	7,5	1,6	3,0	2,7	3,1	11,7	-14,7	-1,3
21-fev-24	8,1	7,5	5,6	5,5	25,1	1,6	26,3	3,7	4,1	3,9	3,6	5,8	8,6	13,9
28-fev-24	8,0	7,5	6,1	5,8	19,6	3,8	22,7	3,6	4,9	3,3	2,4	33,5	24,9	50,1
06-mar-24	8,1	7,5	6,8	6,1	10,0	9,9	18,9	3,3	3,3	2,4	1,7	27,3	30,5	49,5
13-mar-24	6,6	7,3	6,9	5,4	5,9	20,9	25,5	1,8	2,8	2,6	2,0	6,8	23,9	29,1
20-mar-24	8,3	8,7	8,4	8,0	3,6	4,5	7,9	3,0	1,6	1,4	1,0	12,5	28,5	37,4
27-mar-24	6,1	8,5	8,1	7,3	4,3	9,6	13,5	2,0	3,1	2,9	2,7	6,0	7,5	13,0
01-abr-24	7,8	6,9	6,5	6,1	6,1	6,3	12,0	2,7	3,2	2,7	2,5	17,6	5,3	22,0
07-abr-24	8,1	7,8	7,1	6,7	9,0	4,7	13,3	2,5	3,0	2,6	2,3	11,1	12,7	22,4
Mínimo	6,1	6,1	5,6	5,4	3,6*	1,6*	7,9*	1,1	0,0	0,0	0,6	5,9*	5,3*	13,0*
Máximo	8,9	9,0	8,7	8,8	25,1*	20,9*	26,3*	3,7	4,9	3,9	3,7	33,5*	30,5*	50,1*
Médio	8,1	7,7	7,1	7,1	10,4*	7,7*	17,5*	2,7	2,8	2,5	2,5	15,1*	17,7*	29,7*
Desv. P	0,7	0,8	1,0	1,0	8,2*	6,4*	6,6*	0,8	1,1	0,9	0,9	9,7*	9,6*	13,7*

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Dados calculados após a estabilização do sistema.

APÊNDICE E - CONCENTRAÇÕES DE NAT, NH₃ e NH₄⁺ NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	NH ₃ (mg/L)				NH ₄ ⁺ (mg/L)				NAT (mg/L)				Eficiência NAT (%)		
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	TC	E MBS	E MABR	SRA	TC	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA
20-dez-23	0,016	0,028	0,009	0,008	1,98	1,97	1,99	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	0,0	0,0	0,0
28-dez-23	0,007	0,004	0,007	0,001	0,49	0,25	0,49	0,10	0,50	0,25	0,50	0,10	-100	80,0	60,0
04-jan-24	0,004	0,003	0,003	0,007	0,25	0,25	0,25	0,49	0,25	0,25	0,25	0,50	0,0	-100	-100
11-jan-24	0,010	0,011	0,001	0,002	0,49	0,49	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25	50,0	0,0	50,0
18-jan-24	0,006	0,005	0,004	0,003	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,0	0,0	0,0
25-jan-24	0,011	0,005	0,005	0,004	0,49	0,24	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	0,0	0,0	0,0
01-fev-24	0,021	0,006	0,005	0,005	0,48	0,27	0,24	0,25	0,50	0,28	0,25	0,25	10,7	0,0	10,7
08-fev-24	0,032	0,006	0,006	0,005	0,47	0,24	0,24	0,20	0,50	0,25	0,25	0,20	0,0	20,0	20,0
15-fev-24	0,030	0,020	0,006	0,006	0,47	0,48	0,24	0,24	0,50	0,50	0,25	0,25	50,0	0,0	50,0
22-fev-24	0,021	0,023	0,016	0,014	0,48	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,0	0,0	0,0
29-fev-24	0,012	0,024	0,007	0,007	2,99	1,98	0,99	0,99	3,00	2,00	1,00	1,00	50,0	0,0	50,0
07-mar-24	0,011	0,024	0,007	0,006	0,24	0,48	0,24	0,24	0,25	0,50	0,25	0,25	50,0	0,0	50,0
14-mar-24	0,020	0,021	0,007	0,005	0,48	0,68	0,24	0,25	0,50	0,70	0,25	0,25	64,3	0,0	64,3
21-mar-24	0,020	0,012	0,010	0,007	0,48	0,24	0,24	0,19	0,50	0,25	0,25	0,20	0,0	20,0	20,0
28-mar-24	0,021	0,017	0,006	0,005	0,48	0,48	0,24	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25	50,0	0,0	50,0
01-abr-24	0,013	0,026	0,012	0,005	0,49	0,57	0,49	0,25	0,50	0,60	0,50	0,25	16,7	50,0	58,3
07-abr-24	0,010	0,024	0,006	0,006	0,24	0,48	0,24	0,24	0,25	0,50	0,25	0,25	50,0	0,0	50,0
Mínimo	0,004	0,003	0,001	0,001	0,24	0,24	0,24	0,1	0,25	0,25	0,25	0,10	0,0*	0,0*	0,0*
Máximo	0,032	0,028	0,016	0,014	2,99	1,98	1,99	1,99	3,00	2,00	2,00	2,00	64,3*	50,0*	64,3*
Médio	0,016	0,015	0,007	0,006	0,66	0,58	0,43	0,41	0,68	0,59	0,44	0,41	35,1*	8,8*	42,8*
Desv. P	0,008	0,009	0,003	0,003	0,70	0,53	0,43	0,44	0,70	0,53	0,43	0,44	23,8*	16,9*	20,2*

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Dados calculados após a estabilização do sistema.

APÊNDICE F - CONCENTRAÇÕES DE NITRITO E NITRATO NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	Nitritos (mg/L)				Eficiência nitritos (%)			Nitratos (mg/L)				Eficiência nitratos (%)		
	TC	E MBS	E MABR	S MABR	E MBS	E MABR	SRA	TC	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA
20-dez-23	0,13	0,13	0,03	0,05	80,2	-73,1	65,6	2,26	2,04	1,80	1,90	11,7	-5,3	7,0
28-dez-23	0,08	0,07	0,07	0,05	4,2	30,4	33,3	4,00	2,04	1,67	1,27	18,2	23,7	37,6
04-jan-24	0,05	0,10	0,06	0,03	43,1	41,4	66,7	4,00	2,85	4,00	2,94	-40,4	26,6	-3,0
11-jan-24	0,04	0,05	0,02	0,02	58,5	13,6	64,2	8,00	8,00	5,95	5,29	25,6	11,2	33,9
18-jan-24	0,08	0,09	0,09	0,07	-4,5	26,1	22,7	8,23	5,98	7,74	5,00	-29,4	35,4	16,4
25-jan-24	0,04	0,06	0,05	0,03	21,1	44,4	56,1	8,00	5,70	5,42	5,36	4,9	1,0	5,9
01-fev-24	0,14	0,15	0,15	0,13	-0,7	10,1	9,5	5,18	5,31	5,29	5,95	0,4	-12,6	-12,2
08-fev-24	0,05	0,08	0,01	0,01	92,3	-66,7	87,2	3,66	4,28	3,28	4,37	23,4	-33,1	-2,0
15-fev-24	0,03	0,06	0,04	0,02	45,3	42,9	68,8	4,22	3,72	2,95	3,11	20,6	-5,2	16,5
22-fev-24	0,18	0,41	0,18	0,19	55,4	-2,2	54,4	2,23	2,64	2,77	2,10	-4,8	24,1	20,5
29-fev-24	0,08	0,13	0,07	0,05	50,7	21,2	61,2	2,22	4,13	4,30	1,71	-4,2	60,3	58,6
07-mar-24	0,08	0,15	0,11	0,07	26,4	32,1	50,0	3,26	5,25	5,21	3,49	0,8	32,9	33,4
14-mar-24	0,09	0,13	0,12	0,11	11,5	5,2	16,2	1,13	1,56	1,37	0,88	12,1	35,3	43,2
21-mar-24	0,11	0,14	0,11	0,08	18,5	31,8	44,4	3,55	3,71	3,67	3,61	1,1	1,6	2,7
28-mar-24	0,67	0,55	0,48	0,16	13,1	67,5	71,8	4,78	5,04	4,26	4,14	15,5	2,8	17,9
01-abr-24	0,03	0,08	0,05	0,02	39,3	70,6	82,1	2,13	3,24	2,73	1,65	15,7	39,6	49,1
07-abr-24	0,04	0,10	0,07	0,03	28,1	53,6	66,7	2,15	3,35	2,13	1,17	36,4	45,1	65,1
Mínimo	0,03	0,05	0,01	0,01	1,5*	-2,2	16,2	1,13	1,56	1,37	0,88	-4,9*	1,6*	2,7*
Máximo	0,67	0,55	0,48	0,19	55,4*	70,6*	82,1*	8,23	8,00	7,74	5,95	36,4*	60,3*	65,1*
Médio	0,11	0,15	0,10	0,06	30,4*	35,0*	55,9*	4,06	4,05	3,80	3,17	9,1*	30,2*	36,3*
Desv. P	0,15	0,13	0,11	0,05	15,6*	25,4*	18,8*	2,14	1,71	1,70	1,55	13,0*	18,9*	20,2*

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Dados calculados após a estabilização do sistema.

APÊNDICE G - CONCENTRAÇÕES DE SÉRIE DE SÓLIDOS NOS DIFERENTES PONTOS DO SRA

Data	ST (mg/L)			Eficiência ST (%)			SST (mg/L)			Eficiência SST (%)			SDT (mg/L)			Eficiência SDT (%)		
	E MBS	E MABR	S MABR	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA	E MBS	E MABR	SRA
20-dez-23	420	340	340	19,0	0,0	19,0	50	20	0	60,0	100,0	100,0	370	320	340	13,5	-6,3	8,1
26-dez-23	980	330	430	66,3	-30,3	56,1	580	60	20	89,7	66,7	96,6	400	270	410	32,5	-51,9	-2,5
02-jan-24	370	320	210	13,5	34,4	43,2	190	70	30	63,2	57,1	84,2	180	250	180	-38,9	28,0	0,0
09-jan-24	930	660	630	29,0	4,5	32,3	470	70	60	85,1	14,3	87,2	460	590	570	-28,3	3,4	-23,9
16-jan-24	670	350	320	47,8	8,6	52,2	250	10	0	96,0	100,0	100,0	420	340	320	19,0	5,9	23,8
23-jan-24	450	330	300	26,7	9,1	33,3	220	50	30	77,3	40,0	86,4	230	280	270	-21,7	3,6	-17,4
30-jan-24	1170	370	470	68,4	-27,0	59,8	600	60	30	90,0	50,0	95,0	570	310	440	45,6	-41,9	22,8
06-fev-24	1210	420	400	65,3	4,8	66,9	790	10	40	98,7	-300,0	94,9	420	410	360	2,4	12,2	14,3
13-fev-24	670	540	590	19,4	-9,3	11,9	550	20	20	96,4	0,0	96,4	120	520	570	-333,3	-9,6	-375,0
20-fev-24	1120	420	470	62,5	-11,9	58,0	730	10	0	98,6	100,0	100,0	390	410	470	-5,1	-14,6	-20,5
27-fev-24	1270	570	490	55,1	14,0	61,4	690	30	10	95,7	66,7	98,6	580	540	480	6,9	11,1	17,2
05-mar-24	1480	420	290	71,6	31,0	80,4	910	30	0	96,7	100,0	100,0	570	390	290	31,6	25,6	49,1
12-mar-24	1260	470	420	62,7	10,6	66,7	790	60	30	92,4	50,0	96,2	470	410	390	12,8	4,9	17,0
19-mar-24	1020	420	370	58,8	11,9	63,7	720	0	10	100,0	0,0	98,6	300	420	360	-40,0	0,0	-20,0
26-mar-24	980	450	400	54,1	11,1	59,2	520	70	60	86,5	14,3	88,5	460	380	340	17,4	10,5	26,1
01-abr-24	1200	340	340	71,7	0,0	71,7	720	60	20	91,7	66,7	97,2	480	280	320	41,7	-14,3	33,3
07-abr-24	1460	430	340	70,5	20,9	76,7	990	60	20	93,9	66,7	98,0	470	370	320	21,3	13,5	31,9
Mínimo	370	320	210	54,1*	11,9*	58,0*	50	41	22	86,5*	0,0*	88,5*	120	250	180	-40,0*	-14,6*	-20,5*
Máximo	1480	660	630	71,7*	31,0*	80,4*	990	70	60	100*	100*	100*	580	590	570	41,7*	25,6*	49,1*
Médio	980	422	401	63,4*	11,0*	67,2*	575	41	22	94,4*	58,1*	97,1*	405	382	378	10,8*	4,6*	16,8*
Desv. P	340	92	104	6,8*	12,0*	7,7*	257	24	18	4,0*	33,7*	3,5*	128	95	100	23,4*	13,0*	23,4*

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Dados calculados após a estabilização do sistema.

APÊNDICE H - DADOS BIOMÉTRICOS TILÁPIA DO NILO

Numero de individuo	Inicial		Final	
	Peso (g)	Comprimento (cm)	Peso (g)	Comprimento (cm)
1	52,08	14,00	305,60	24,5
2	53,41	14,00	326,23	25
3	65,75	15,00	314,46	25
4	114,93	18,50	169,60	21
5	178,86	21,00	214,88	22
6	45,30	13,00	385,74	26,5
7	47,07	14,50	379,80	26
8	104,72	18,50	220,41	22,5
9	53,98	14,50	313,41	23,5
10	60,45	15,50	202,30	21,5
11	184,40	22,50	187,22	21
12	67,57	15,00	174,61	21
13	348,65	26,00	312,71	23,5
14	309,34	25,00	401,66	26
15	192,47	22,50	236,11	23
16	192,19	22,50	331,12	25
17	158,12	21,00	225,96	23,5
18	123,82	19,00	281,76	24
19	211,80	22,50	285,92	24,5
20	36,24	12,00	392,49	26
21	168,02	21,00	333,18	25
22	154,29	21,00	301,06	24,5
23	227,24	23,00	199,70	22
24	206,65	22,00	230,25	23,5
25	123,00	19,00	284,92	24
26	260,75	24,00	263,92	24
27	47,25	13,00	348,70	26
28	141,74	20,00	235,20	23,5
29	162,65	22,00	228,15	23
30	104,19	18,00	201,40	22
31	203,55	21,50	190,51	21
32	136,01	21,00	179,21	21
33	238,16	24,00	162,03	21
34	288,93	25,00	408,89	28
35	82,86	17,00	172,55	21,5
36	292,00	25,00	418,98	28,5
37	242,85	24,00	193,91	21,5
38	78,28	16,00	396,98	27,5
39	187,94	23,00	275,96	23,5
40	79,58	16,50	313,63	24,5
41	138,31	20,00	428,62	28,5
42	204,07	24,00	217,59	22
43	175,80	20,00	340,79	25
44	66,70	15,00	264,64	23,5
45	242,75	24,00	173,60	21,5
46	310,78	27,00	319,64	24,5
47	94,12	17,00	222,90	22,5
48	193,05	21,50	346,60	25
49	117,63	19,00	233,90	23
50	46,85	14,00	300,60	24,5
51	162,60	21,00	345,46	25

Continuação

Numero de individuo	Inicial		Final	
	Peso (g)	Comprimento (cm)	Peso (g)	Comprimento (cm)
52	124,88	19,00	364,14	25
53	50,61	13,00	372,41	25,5
54	72,29	16,00	278,96	23,5
55	223,33	23,50	187,45	22,5
56	201,08	22,00	417,60	28,5
57	135,39	19,00	227,69	22
58	114,85	20,00	272,69	23,5
59	222,15	23,50	315,30	25
60	256,91	25,50	521,15	30
61	139,49	20,50	408,75	28,5
62	51,29	13,50	273,73	25
63	72,04	15,00	349,10	25
64	113,60	19,50	352,49	26
65	241,85	25,50	366,89	26
66	212,85	23,50	390,61	27,5
67	54,85	15,50	465,88	29,5
68	238,34	23,50	334,64	25,5
69	175,24	21,50	393,64	28
70	287,50	25,50	365,28	27,5
71	149,45	20,00	206,65	21,5
72	71,07	15,50	286,50	23
73	66,23	16,00	221,23	22
74	307,52	27,00	258,09	27
75	78,07	16,50	158,98	21,5
76	173,85	21,00	278,81	23
77	330,86	26,50	312,15	26
78	240,45	23,00	218,15	21,5
79	62,88	14,50	85,96	18,5
80	223,73	23,00	89,85	18,5
81	75,41	16,00	101,96	19,5
82	167,21	20,00	96,70	19
83	115,71	18,00	87,07	18
84	150,23	20,00	132,08	21
85	53,30	13,50	133,41	20
86	188,59	22,00	180,39	22
87	74,84	16,00	194,38	23
88	106,28	17,50	263,43	23
89	58,42	14,00	147,74	20
90	246,40	23,50	166,85	22
91	261,47	25,00	233,98	22,5
92	62,18	15,00	143,45	21,5
93	152,97	20,50	123,98	20
94	148,14	20,00	240,45	22,5
95	64,38	15,50	297,93	24,5
96	186,32	22,00	-	-
97	95,48	17,50	-	-
98	73,62	15,50	-	-
99	198,47	23,00	-	-
100	257,38	25,00	-	-
101	251,28	23,50	-	-

Continuação

Numero de individuo	Inicial		Final	
	Peso (g)	Comprimento (cm)	Peso (g)	Comprimento (cm)
102	221,24	24,50	-	-
103	100,08	17,00	-	-
104	171,72	21,00	-	-
105	320,67	26,50	-	-
106	63,58	14,00	-	-
107	256,12	24,5	-	-
108	370,94	29	-	-
109	173,31	21	-	-
110	75,7	15,5	-	-
111	108,14	18,5	-	-
112	55,91	14,00	-	-
Médio	155,16	19,83	268,57	23,69
Desv. P	82,64	4,04	93,79	2,56
CV (%)	53,26	20,35	34,92	10,81
Total lote peixes (N°)		112		95
Taxa de alimento(% PV)				0,8 - 1,8
Consumo de ração total (kg)				26,81

Fonte: Elaboração do próprio autor.
PV: Peso vivo (g).

APÊNDICE I - MONITORAMENTO E CORREÇÃO DE PARAMETROS NO SH E SA

Data	Temperatura (°C)		OD (mg/L)		PH		Correção pH				CE (dS/m)		Adição para correção CE			
	SH	SA	SH	SA	SH	SA	SH	SA	SH	SA	SH	SA	SH		SA	
							ÁCIDO (L)	HIDROX (L)	ÁCIDO (L)	HIDROX (L)			Nitato de Calcio (L)	Hidrogood Fert + Fe (L)	Efluente (L)	Sólidos (L)
22-mar-24	29,3	29,8	7,1	7,5	7,98	8,37	0,02				1,0	0,5				
23-mar-24	25,0	26,2	6,6	7,5	7,66	8,41	0,015				1,0	0,5			5	
24-mar-24	27,6	28,6	6,4	7,1	7,39	8,46	0,01		0,01		1,0	0,5			5	
25-mar-24	29,5	29,3	8,3	7,7	6,56	8,40	0,005		0,01		1,0	0,5			5	
26-mar-24	27,5	27,3	7,1	6,8	6,55	8,40	0,005		0,025		0,9	0,4	0,08	0,08	5	
27-mar-24	25,7	25,3	6,7	6,5	6,66	7,58	0,005		0,02		0,5	0,5	0,18	0,18	5	
28-mar-24	27,7	27,6	6,5	7,7	6,45	7,00			0,01		1,0	0,5			5	
29-mar-24	30,1	30,6	8,0	8,8	6,43	6,93			0,005		1,0	0,5			10	
30-mar-24	30,4	30,5	7,1	7,4	6,10	6,70			0,005		0,9	0,5	0,05	0,05	10	
31-mar-24	30,9	31,1	7,8	8,1	6,11	6,54					1,0	0,5	0,04	0,04	10	
01-abr-24	31,1	31,0	8,1	9,1	6,00	6,51					0,9	0,5	0,05	0,05	10	
02-abr-24	31,6	32,2	7,8	7,3	5,98	6,62			0,005		1,0	0,5			10	
03-abr-24	32,8	31,9	7,1	7,9	6,23	6,67			0,005		0,9	0,5	0,06	0,06	10	
04-abr-24	30,7	31,5	8,0	7,1	6,35	6,39					0,8	0,6	0,26	0,26	15	
05-abr-24	31,5	32,1	7,8	8,3	5,77	6,67			0,005		1,1	0,6	0,31	0,31	20	0,6
06-abr-24	32,8	33,7	8,5	8,9	5,90	6,74					1,4	0,5	0,1	0,1	10	25*
07-abr-24	30,8	31,7	6,7	6,6	6,03	6,67			0,005		1,4	0,6	0,08	0,08	15	
08-abr-24	28,7	30,3	7,4	6,7	5,75	6,48					1,4	0,6	0,14	0,14		
09-abr-24	29,0	29,2	7,6	8,8	5,93	6,45					1,3	0,6	0,15	0,15	4	
10-abr-24	30,6	31,3	6,9	7,6	5,95	6,50					1,2	0,5	0,25	0,25	10	1,4
11-abr-24	31,0	30,8	7,4	7,1	6,03	6,78			0,005		1,4	0,5	0,1	0,1	20	1,0
12-abr-24	29,8	29,0	7,2	7,1	6,48	6,65			0,005		1,3	0,5			14	22,5*
13-abr-24	29,0	30,3	8,3	8,4	6,71	6,74	0,005		0,005		1,0	0,5	0,15	0,15	5	
14-abr-24	28,0	28,0	7,5	7,8	6,36	6,44					1,0	0,5	0,23	0,23		
15-abr-24	29,1	29,4	8,1	8,5	5,34	6,42		0,005		0,005	1,2	0,6	0,5	0,5	10	1,5

Continuação

Data	Temperatura (°C)		OD (mg/L)		PH		Correção pH				CE (dS/m)		Adição para correção CE			
	SH	SA	SH	SA	SH	SA	SH		SA		SH	SA	SH		SA	
							ÁCIDO (L)	HIDROX (L)	ÁCIDO (L)	HIDROX (L)			Nitato de Calcio (L)	Hidrogood Fert + Fe (L)	Efluente (L)	Sólidos (L)
16-abr-24	30,7	30,0	7,2	7,4	5,51	6,51	0,003			0,005	1,7	0,5	0,08	0,08	5	0,6
17-abr-24	29,8	30,5	6,8	7	5,56	6,38		0,005			1,6	0,5	0,13	0,13		1,0
18-abr-24	28,5	29,0	9,1	8,9	5,69	6,65	0,003				1,7	0,5			10	
19-abr-24	29,1	29,4	8,5	8,8	5,71	6,60					1,7	0,5				
Mínimo	25,0	25,3	6,4	6,5	5,34	6,38					0,5	0,4				
Máximo	32,8	33,7	9,1	9,1	7,98	8,46					1,7	0,6				
Médio	29,6	29,9	7,5	7,7	6,25	6,95					1,1	0,5				
Desv. P	1,8	1,8	0,7	0,8	0,60	0,70					0,3	0,0				

Fonte: Elaboração do próprio autor.

*Sólidos (g) provenientes do MBS secos em estufa a 65 °C.

APÊNDICE J - CONCENTRAÇÕES DE NT, E NH₃ NO SH E SA

DATA	NT						NH ₃					
	E SH	S SH	EF (%)	E SA	S SA	EF (%)	E SH	S SH	EF (%)	E SA	S SA	EF (%)
22-mar-24	9,00	7,84	12,9	7,28	7,05	3,2	0,026	0,020	23,1	0,060	0,001	98,3
26-mar-24	7,96	5,94	25,4	7,71	7,17	7,0	0,023	0,020	13,0	0,001	0,001	0,0
29-mar-24	2,75	0,00	100,0	6,17	2,80	54,6	0,035	0,031	11,4	0,002	0,002	5,6
02-abr-24	8,78	6,38	27,3	0,00	0,00	0,0	0,026	0,013	50,0	0,004	0,006	-37,2
05-abr-24	8,85	5,97	32,5	4,31	1,41	67,3	0,003	0,002	41,2	0,001	0,0001	89,3
09-abr-24	4,64	1,03	77,8	2,83	1,09	61,5	0,001	0,0004	20,0	0,001	0,001	16,7
12-abr-24	-	-	-	-	-	-	0,001	0,001	14,3	0,002	0,001	61,1
16-abr-24	5,51	4,07	26,1	8,91	1,70	80,9	0,031	0,023	25,0	0,002	0,001	42,1
19-abr-24	7,43	5,75	22,6	2,85	1,50	47,4	0,033	0,022	33,0	0,001	0,001	50,0
Máximo	9,0	7,8	1000,0	8,9	7,2	80,9	0,035	0,031	50,0	0,060	0,006	98,3
Mínimo	2,8	0,0	12,9	0,0	0,0	0,0	0,001	0,0004	11,4	0,001	0,0001	-37,2
Médio	6,9	4,62	40,6	5,0	2,8	40,2	0,020	0,015	25,7	0,008	0,001	36,2
Desv. P	2,1	2,6	28,9	2,8	2,6	29,9	0,013	0,011	12,6	0,018	0,002	41,6

Fonte: Elaboração do próprio autor.

APÊNDICE K - DADOS DA PRIMEIRA AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ALFACE

Sistema	Variedade	Comprimento raiz (cm/planta)	Comprimento parte aérea (cm/planta)	Massa fresca		Massa seca (g)		Nº folhas
				Raiz (g/planta)	Parte aérea (g/planta)	Raiz (g/planta)	Parte aérea (g/planta)	
Hidroponia com adição nutrientes	Alface crespa	41	10	7,5	20,0	1,5	2,4	10
		43	11	5,4	21,8			12
		40	12	5,4	18,1			9
	Média	41	11	6,1	20,0	1,4	2,1	10
	Alface americana	35	9	3,3	12,1			8
		37	11	2,9	11,8			7
		12	10	4,1	14,5			8
	Média	28	10	3,4	12,8	1,4	1,9	8
	Alface lisa	36	9	3,4	12,3			14
		35	9	4,8	12,8			15
		37	10	6,0	17,0			13
	Média	36	9	4,7	14			14
Aquaponia	Alface crespa	30	10	3,0	9,7	1,3	1,8	11
		17	11	3,4	8,8			9
		20	9	3,1	9,6			11
	Média	22	10	3,2	9,4	1,3	1,7	10
	Alface americana	32	9	2,2	6,0			6
		30	9	2,9	7,6			7
		23	9	2,3	5,8			8
	Média	28	9	2	6	1,4	1,8	7
	Alface lisa	34	9	4,7	11,6			14
		30	9	2,2	6,8			13
		29	8	2,5	5,8			12
	Média	31	9	3,1	8,1			13

Fonte: Elaboração do próprio autor.

APÊNDICE L - DADOS DA SEGUNDA AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ALFACE

Sistema	Variedade	Comprimento raiz (cm/planta)	Comprimento parte aérea (cm/planta)	Massa fresca		Massa seca (g)		Nº folhas	Índice de clorofila total
				Raiz (g/planta)	Parte aérea (g/planta)	Raiz (g/planta)	Parte aérea (g/planta)		
Hidroponia com adição nutrientes	Alface crespa	75,0	19,5	29,7	162,6	3,1	8,0	25	22,5
		47	19,5	24,6	142,1			24	21,5
		53	17,5	20,0	101,8			20	19,1
	Média	58,3	18,8	24,8	135,5			23	21,0
	Alface americana	52,0	17,5	23,0	110,5	3,3	7,4	14	26,1
		63,0	18,0	22,2	118,0			14	33,2
		65,5	17,5	23,9	123,9			16	20,7
	Média	60,2	17,7	23,0	117,5			15	26,7
	Alface lisa	47,0	19,0	20,2	105,3	3,6	7,2	24	26,4
		50,0	19,5	24,3	92,6			22	34,7
		40,0	19,0	30,0	160,0			29	28,9
	Média	45,7	19,2	25,0	119,3			25	30,0
Aquaponia	Alface crespa	52,0	9,0	11,4	24,0	2,3	2,9	9	11,6
		38,5	10,0	10,1	21,3			9	14,8
		44,0	10,5	10,3	21,1			11	13,8
	Média	44,8	9,8	10,6	22,1			10	13,4
	Alface americana	46,0	10,0	6,7	15,5	2,1	2,7	8	21,7
		35,0	10,0	6,8	15,6			9	19,1
		34,5	11,0	8,0	16,2			8	20,4
	Média	38,5	10,3	7,2	15,8			8	20,4
	Alface lisa	39,5	11,0	10,0	23,8	2,9	3,7	17	22,0
		37,5	9,5	7,0	15,7			15	21,5
		40,0	12,5	14,3	35,1			22	19,8
	Média	39,0	11,0	10,4	24,9			18	21,1

Fonte: Elaboração do próprio autor.

APÊNDICE M - DADOS DA TERCEIRA AVALIAÇÃO DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ALFACE

Sistema	Variedade	Comprimento raiz (cm/planta)	Comprimento parte aérea (cm/planta)	Massa fresca		Massa seca (g)		Nº folhas	Índice de clorofila total
				Raiz (g/planta)	Parte aérea (g/planta)	Raiz (g/planta)	Parte aérea (g/planta)		
Hidroponia com adição nutrientes	Alface crespa	64,0	26	61,8	298,3	6,3	13,4	27	23,7
		69,5	25	56,8	325,6			25	23,1
		63,8	28	43,1	333,5			24	19,4
	Média	65,8	26,3	53,9	319,1			25	22,1
	Alface americana	74,0	24	45,3	316,8	5,5	9,9	18	35,6
		66,0	26,0	27,8	242,5			15	36,7
		60,0	24,0	30,0	248,4			14	33,7
	Média	66,7	24,7	34,4	269,2			16	35,3
	Alface lisa	57,0	20,0	35,7	199,0	5,7	19,4	24	35,5
		52,0	20	46,3	257,8			29	36,2
		44,0	21,0	48,1	283,2			32	32,2
	Média	51,0	20,3	43,4	247,0			28	34,6
Aquaponia	Alface crespa	68,0	12,0	20,0	40,3	5,7	6,4	13	12,9
		54,0	14,0	35,8	47,2			15	15,0
		51,0	14	44,7	36,4			14	12,1
	Média	57,7	13,3	33,5	41,3			14	13,3
	Alface americana	44,0	11,0	14,6	25,8	4,8	5,8	10	20,2
		58,0	10,0	16,0	26,2			10	21,5
		37,0	10,0	10,0	17,6			8	21,9
	Média	46,3	10,3	13,5	23,2			9	21,2
	Alface lisa	49,0	11,0	30,2	42,1	5,7	7,0	20	25,4
		61,0	11	34,3	47,5			23	21,8
		50,0	11	18,5	34,6			15	22,6
	Média	53,3	11,0	27,7	41,4			19	23,3

Fonte: Elaboração do próprio autor.

APÊNDICE N - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS PARA ALFACE

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	1,33	0,66			2	0,36	0,18			2	52,33	26,16		
Variedade	2	7,00	3,50	21,00	0,007	2	3,69	1,85	3,60	0,13	2	1,33	0,66	0,62	0,58
Resíduo	4	0,66	0,16			4	2,06	0,51			4	4,33	1,08		
Tratamento	1	3,55	3,55	4,00	0,09	1	300,13	300,13	260,35	0,00	1	672,22	672,22	711,76	0,00
Variedade x Tratamento	2	0,11	0,05	0,06	0,94	2	2,08	1,04	0,90	0,45	2	20,11	10,05	10,65	0,01
Resíduo	6	5,33	0,88			6	6,92	1,15			6	5,66	0,94		
Total	17	18,00				17	315,24				17	756,00			

Variável analisada: Comprimento da parte aérea.

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0,55	0,28			2	11,03	5,51			2	90,77	45,38		
Variedade	2	8,59	4,29	12,07	0,02	2	26,19	13,09	0,64	0,56	2	4940,01	2470,00	2,57	0,19
Resíduo	4	1,42	0,36			4	82,26	20,56			4	3851,66	962,92		
Tratamento	1	15,12	15,12	9,87	0,02	1	987,16	987,16	181,43	0,00	1	265817,71	265817,71	391,61	0,00
Variedade x Tratamento	2	3,02	1,51	0,99	0,42	2	2,54	1,27	0,23	0,79	2	3969,54	1984,77	2,92	0,13
Resíduo	6	9,20	1,53			6	32,65	5,44			6	4072,73	678,79		
Total	17	37,90				17	1141,83				17	282742,41			

Variável analisada: Materia fresca da parte aérea.

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Variedade	1	0,06	0,03	1,00	0,00	1	0,24	0,12	1,00	0,00	1	28,93	14,47	1,00	0,00
Tratamento	2	15,12	15,12	1,00	0,00	2	29,40	29,40	1,00	0,00	2	91,31	91,31	1,00	0,00
Variedade x Tratamento	2	3,02	1,51	1,00	0,00	2	0,65	0,32	1,00	0,00	2	18,46	9,23	1,00	0,00
Resíduo	0	0,00	0,00			0	0,00	0,00			0	0,00	0,00		
Total	5	0,33				5	30,28				5	138,70			

Variável analisada: Materia seca da parte aérea.

Continuação

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	190,33	95,17			2	159,25	79,63			2	307,35	153,68		
Variedade	2	89,33	44,67	0,90	0,47	2	279,25	139,63	1,76	0,28	2	274,39	137,19	9,15	0,03
Resíduo	4	198,30	49,58			4	317,75	79,44			4	59,94	14,98		
Tratamento	1	280,06	280,06	10,81	0,017	1	875,01	875,01	17,88	0,005	1	340,61	340,61	6,38	0,04
Variedade x Tratamento	2	299,11	149,56	5,77	0,04	2	169,19	84,60	1,73	0,25	2	386,14	193,07	3,62	0,09
Resíduo	6	155,33	25,89			6	293,67				6				
Total	17	1212,50				17	2094,13				17				

Variável analisada: Comprimento da raiz.

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0,55	0,27			2	11,02	5,51			2	42,96	21,48		
Variedade	2	8,58	4,29	12,07	0,02	2	26,19	13,09	0,64	0,57	2	1181,63	590,92	14,18	0,015
Resíduo	4	1,42	0,35			4	82,26	20,56			4	166,69	41,67		
Tratamento	1	15,13	15,13	9,87	0,02	1	987,16	987,16	181,43	0,00	1	1620,70	1620,70	13,57	0,01
Variedade x Tratamento	2	3,02	1,51	0,97	0,43	2	2,55	1,27	0,23	0,80	2	24,31	12,16	0,10	0,90
Resíduo	6	9,20	1,53			6	32,65	5,44			6	716,45	119,41		
Total	17	37,90				17	1141,83				17	3752,75			

Variável analisada: Matéria fresca da raiz.

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Variedade	1	0,13	0,0067	1,00	0,00	1	0,46	0,23	1,00	0,00	1	0,79	0,39	1,00	0,00
Tratamento	2	0,0067	0,0067	1,00	0,00	2	1,34	1,34	1,00	0,00	2	0,25	0,25	1,00	0,00
Variedade x Tratamento	2	0,013	0,0067	1,00	0,00	2	0,07	0,04	1,00	0,00	2	0,17	0,08	1,00	0,00
Resíduo	0	0,00	0,00			0	0,00	0,00			0	1,39	0,00		
Total	5	0,33				5	1,87				5	1,2			

Variável analisada: Matéria seca da raiz.

Continuação

Fator de variação	PRIMEIRA AVALIAÇÃO					SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	1,78	0,89			2	14,78	7,39			2	8,33	4,17		
Variedade	2	102,11	51,06	24,84	0,005	2	300,11	150,06	0,73	0,54	2	394,33	197,17	43,02	0,47
Resíduo	4	8,22	2,06			4	40,56	10,14			4	18,33	4,58		
Tratamento	1	2,72	2,72	1,53	0,26	1	355,56	355,56	128,00	0,00	1	355,56	355,56	37,65	0,0009
Variedade x Tratamento	2	2,11	1,06	0,59	0,59	2	44,78	22,39	8,01	0,02	2	18,78	9,39	0,99	0,42
Resíduo	6	10,67	1,78			6	16,67	2,78			6	56,67	9,44		
Total	17	127,61				17	772,44				17	852,00			

Variável analisada: Numero foliar.

Fator de variação	SEGUNDA AVALIAÇÃO					AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	32,34	16,17			2	25,75	12,87		
Variedade	2	250,80	125,40	28,44	0,004	2	452,32	226,16	78,81	0,0006
Resíduo	4	17,63	4,41			4	11,48	2,87		
Tratamento	1	285,61	285,61	20,80	0,003	1	548,91	548,91	137,92	0,00
Variedade x Tratamento	2	10,70	5,35	0,39	0,69	2	23,23	11,61	2,92	0,13
Resíduo	6	82,40	13,73			6	23,88	3,98		
Total	17	679,49				17	1085,58			

Variável analisada: Índice de clorofila foliar.

Fator de variação	AVALIAÇÃO FINAL				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0,03	0,01		
Variedade	2	1,86	0,93	2,56	0,19
Resíduo	4	1,46	0,36		
Tratamento	1	101,01	101,01	392,50	0,00
Variedade x Tratamento	2	1,50	0,75	2,91	0,13
Resíduo	6	1,54	0,26		
Total	17	107,41			

Variável analisada: Produtividade.

Continuação

Fator de variação	Nitrogênio					Fósforo					Pótassio					Cálcio					Magnésio					Enxofre				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Variedade	2	10,3	5,1	1,0	0,0	2	0,2	0,1	1,0	0,0	2	1045,0	522,5	1,0	0,0	2	10,7	5,4	1,0	0,0	2	1,1	0,2	1,0	0,0	2			1,0	0,0
Tratamento	1	962,7	962,7	1,0	0,0	1	22,0	22,0	1,0	0,0	1	1432,2	1432,2	1,0	0,0	1	16,0	16,0	1,0	0,0	1	1,6	1,6	1,0	0,0	1			1,0	0,0
Variedade x Tratamento	2	3,8	1,9	1,0	0,0	2	0,8	0,4	1,0	0,0	2	48,7	24,4	1,0	0,0	2	14,4	7,2	1,0	0,0	2	0,5	0,2	1,0	0,0	2			1,0	0,0
Resíduo	0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	1,1	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0		
Total	5	976,8				5	23,0				5	2525,9				5	41,1				5	3,1				5				

Variável analisada: Macronutrientes parte aérea.

Fator de variação	Nitrogênio					Fósforo					Pótassio					Cálcio					Magnésio					Enxofre				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Variedade	2	2,7	1,3	1,0	0,0	2	12,9	6,4	1,0	0,0	2	17,2	8,6	1,0	0,0	2	1,3	0,7	1,0	0,0	2	0,05	0,03	1,0	0,0	2	0,2	0,1	1,0	0,0
Tratamento	1	462,9	462,9	1,0	0,0	1	0,002	0,002	1,0	0,0	1	1032,3	1032,3	1,0	0,0	1	6,4	6,4	1,0	0,0	1	0,0	0,0	1,0	0,0	1	0,5	0,5	1,0	0,0
Variedade x Tratamento	2	6,4	3,2	1,0	0,0	2	2,7	1,4	1,0	0,0	2	5,1	2,6	1,0	0,0	2	2,8	1,4	1,0	0,0	2	0,04	0,02	1,0	0,0	2	0,2	0,08	1,0	0,0
Resíduo	0	2,2	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0		
Total	5	472,0				5	15,6				5	1054,6				5	6,3				5	0,09				5	0,8			

Variável analisada: Macronutrientes raiz.

Continuação

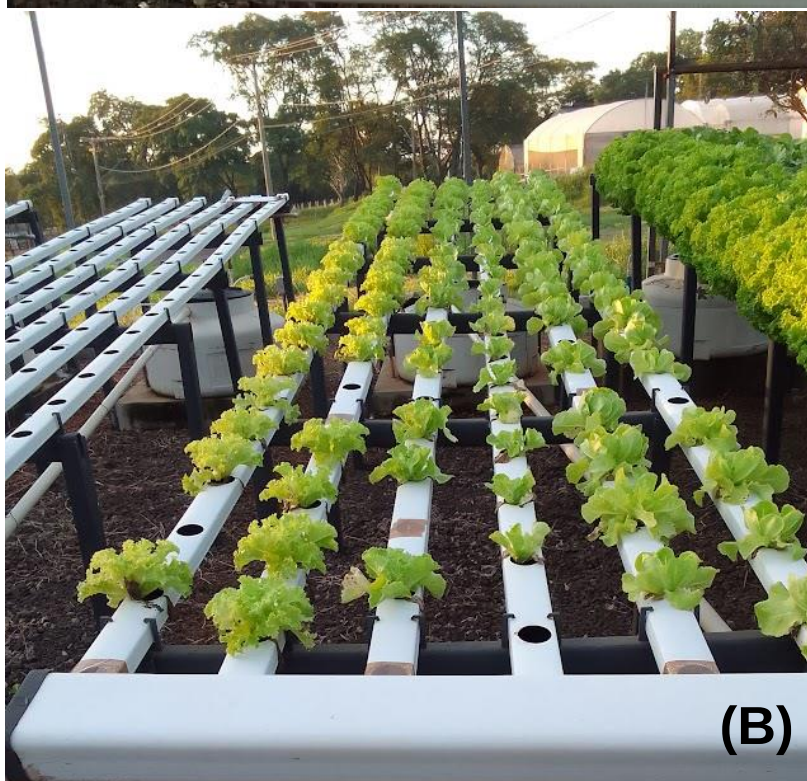
Fator de variação	Boro					Cobre					Ferro					Manganês					Zinco				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Variedade	2	7,0	3,5	1,0	0,0	2	4,0	2,0	1,0	0,0	2	3504	1752	1,0	0,0	2	3819	1909	1,0	0,0	2	3751	1875	1,0	0,0
Tratamento	1	42,7	42,7	1,0	0,0	1	42,7	42,7	1,0	0,0	1	16432	16432	1,0	0,0	1	253	253	1,0	0,0	1	450	450	1,0	0,0
Variedade x Tratamento	2	6,3	3,2	1,0	0,0	2	1,3	0,7	1,0	0,0	2	2225	1112	1,0	0,0	2	2511	1255	1,0	0,0	2	2454	1227	1,0	0,0
Resíduo	0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0		
Total	5	56,0				5	10,0				5	22162				5	6583				5	6656			

Variável analisada: Micronutrientes parte aérea.

Fator de variação	Boro					Cobre					Ferro					Manganês					Zinco				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Variedade	2	352	176	1,0	0,0	2	849	424	1,0	0,0	2	514096	257048	1,0	0,0	2	1752	876	1,0	0,0	2	482	241	1,0	0,0
Tratamento	1	150	150	1,0	0,0	1	748	748	1,0	0,0	1	688170	688170	1,0	0,0	1	5828	5828	1,0	0,0	1	661	661	1,0	0,0
Variedade x Tratamento	2	283	141	1,0	0,0	2	945	472	1,0	0,0	2	180470	90235	1,0	0,0	2	5340	2670	1,0	0,0	2	5647	2823	1,0	0,0
Resíduo	0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0			0	0,0	0,0		
Total	5	785,3				5	2542				5	1382737				5	12920				5	6790			

Fonte: Elaboração do próprio autor.
Variável analisada: Micronutrientes raiz.

**APÊNDICE O - CULTURA DE ALFACE NO FINAL DO EXPERIMENTO NO SH (A)
e SA (B)**



Fonte: Próprio autor.

Observação: Nos dois sistemas a ordem dos tipos de alface atendeu da esquerda para a direita, crespa, americana e lisa, dois canais por cada.