

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 24/07/2025.

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

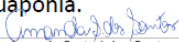
FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

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 - CRB 8-0061
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 vantajadas 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 PPGEC 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.

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 Membrane 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 Agrônômico. 1997. 30 p. (Boletim técnico, 168).

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 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/porta1/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 Ecosystema**, 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 using *Pirralina 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 Sanitária 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.l.], v. 117, p. 201-207, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.076>.

RADEJENOVIC, J.; MATOSIC, M.; MIJATOVIC, I.; PETROVIC, 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 Tilapia. **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.l.], 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>.