



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE/CCBS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Remoção de compostos nitrogenados através da utilização de
Microrganismos Eficientes (ME)

Discente: Arcediogo José do Carmo Sousa Júnior

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Luvizotto Santos

São Luís

2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE / CCBS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Utilização de Microrganismos Eficientes (ME) para remoção de compostos
nitrogenados em meio líquido**

Discente: Arcediogo José do Carmo Sousa Júnior

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Luvizotto Santos

Trabalho de conclusão de Curso
apresentado ao curso de
Oceanografia da Universidade
Federal do Maranhão (UFMA)
para a obtenção do título de
bacharel em Oceanografia.

São Luís

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa, Arcediago.

Remoção de compostos nitrogenados através da utilização de Microrganismos Eficientes ME : utilização de Microrganismos Eficientes ME para remoção de compostos nitrogenados em meio líquido / Arcediago Sousa. - 2026.
18 f.

Orientador(a): Ricardo Luvizotto Santos.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luis/ma, 2026.

1. Aquicultura. 2. Qualidade da Água. 3.
Microrganismos Eficientes. I. Luvizotto Santos, Ricardo.
II. Título.

**Remoção de compostos nitrogenados através da utilização de
Microrganismos Eficientes (ME)**

Trabalho de conclusão de Curso
apresentado ao curso de
Oceanografia da Universidade
Federal do Maranhão (UFMA)
para a obtenção do título de
bacharel em Oceanografia.

APROVADO EM: 19/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Luvizotto Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (UFMA)

Prof. Dr. Walter Luis Muedas Yauri

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (UFMA)

Prof. Ma. CLÁUDIO URBANO SANTOS DE CASTRO

EXTERNO

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. JUSTIFICATIVA	8
3. OBJETIVO	9
4. METODOLOGIA	9
4.1 Obtenção e isolamento dos ME	9
4.2 Preparação do meio eutrofizado	9
4.3 Preparo do experimento	10
4.4 Análise da qualidade da água	10
4.4 Análise estatística	11
5. RESULTADOS	11
6. CONCLUSÃO	14
7. REFERÊNCIAS	15

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e posteriormente a minha família meu pai Arcediago e minha mãe Ana Ilma por acreditarem e me incentivar, em especial ao meu filho Angelo e minha Esposa Noeme que me deram forças para nunca desistir, agradeço ao laboratório Ecotox em especial os coordenadores Ricardo Luvizotto e Marianna Basso pela paciência e pela oportunidade que me deram de aprender com eles, agradeço aos meus amigos de caminhada em especial meu amigo de Mateus, agradeço a empresa Aquax e seu fundador Claudio Urbano por me auxiliar e me permitir aprender com sua pesquisa. Agradeço a todos que, mesmo que pouca contribuição, tiveram participação na minha jornada acadêmica e me deixaram um pouco de vocês.

A todos meu sincero, obrigado.

RESUMO

A intensificação da aquicultura resulta no acúmulo no meio de compostos nitrogenados tóxicos, como a amônia, provenientes da excreção dos organismos e demais resíduos que se acumulam no sistema. A biorremediação com microrganismos surge como alternativa sustentável e promissora para a manutenção da qualidade da água em sistemas de cultivo. Este estudo comparou a eficiência de Microrganismos Eficientes Endógenos (MEE) com dois biorremediadores de eficiência comprovada – um consórcio de Bactérias Púrpuras Não-Sulfurosas (BPNS) e o produto comercial Stability® – na remoção de amônia e nitrito durante 24 horas em meio líquido eutrofizado. Foram analisados parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, oxigênio dissolvido) e químicos (amônia e nitrito) antes e após aplicação dos biorremediadores. Os resultados demonstraram que os tratamentos com BPNS e Stability® promoveram redução significativa da amônia de 90% e 85%, respectivamente. Em contraste, os MEE apresentaram comportamento semelhante aos biorremediadores testados, apresentando comportamento instável às 16 horas, resultando em produção de amônia (superior a 8 mg/L) e maior produção de CO₂. Conclui-se que nas condições testadas, BPNS e Stability® foram eficazes na redução de amônia nas 24 h testadas, enquanto os MEE foram eficazes somente nas primeiras horas do teste, necessitando portanto, melhor compreender sua dinâmica de remoção de nitrogenados para uma futura aplicação em sistemas aquícolas.

Palavras-chave: Aquicultura. Qualidade da água. Nitrificação. Biorremediação. Amônia. Microrganismos eficientes.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande potencial para a aquicultura, considerando o clima favorável, 12% da água doce do planeta, 5,5 milhões de hectares de lâmina d'água em reservatórios públicos, além de apresentar um litoral de 8.500 km e uma Zona Econômica Exclusiva - ZEE de 4,5 milhões de km² (ICMBIO, 2011). O estado do Maranhão apresenta crescimento no setor da piscicultura no país apresentando aumento de 97,5%, partindo de uma produção de 24.150 toneladas no ano de 2016 para alcançar 47.700 toneladas em 2020 (PEIXEBR, 2021).

A produção aquícola vem crescendo em todo o mundo, superando a pesca de captura (FAO, 2024), sendo a atividade de produção de alimentos que mais cresce no mundo, impulsionada pelo crescimento populacional, pelos ganhos econômicos e demanda dos consumidores por uma proteína alternativa à carne (Sarker, 2023), sendo considerada uma das formas mais eficiente e sustentável de produção de proteínas (DMS, 2023).

Entretanto, a intensificação da aquicultura também acarreta impactos, especialmente devido ao uso de ração no sistema de cultivo e conseqüente acúmulo de compostos nitrogenados e fosfatados, provenientes da excreção dos peixes e dos resíduos alimentares não consumidos, resultando no aumento da matéria orgânica na água e conseqüente diminuição da qualidade (MOURA; VIEIRA, 2010). Em excesso, esse acúmulo pode desencadear a eutrofização, promover a elevação da demanda química (DQO) e bioquímica de oxigênio (DBO) e comprometer a qualidade da água, podendo levar à mortalidade dos organismos cultivados (CRAB, 2007; OLMOS, 2020).

Diante disso, os microrganismos eficientes (ME) surgem como uma alternativa promissora para mitigar os impactos ambientais da aquicultura (CARGNELUTTI, 2021). Essas comunidades microbianas são compostas por diferentes cepas benéficas que atuam na degradação da matéria orgânica, promovendo a ciclagem de nutrientes e melhorando a qualidade da água (WILKINSON, 2009; PARNELL, 2016). Além disso, os ME contribuem para a manutenção da estabilidade estrutural dos solos e auxiliam na redução de odores e contaminação nos sistemas aquícolas (FAN, 2018; OLIVEIRA, 2021). Estudos demonstram que a aplicação de ME pode reduzir significativamente parâmetros como temperatura, DBO, DQO e nitrogênio amoniacal, resultando na diminuição da

poluição em corpos hídricos impactados, como observado em rios na Malásia (WAHID, 2021).

Vários tipos de microrganismos podem ser encontrados e utilizados como biorremediadores, sendo promissor seu uso e de fácil obtenção. Dentre os microrganismos promissores para as aplicações aquícolas, as bactérias púrpuras não-sulfurosas (BPNS) vêm ganhando destaque pela eficiência na remoção de compostos indesejáveis como nitrogenados e fosfatados e controle de patógenos (ALLOUL, 2021). Um exemplo é o uso de *Rhodovulum sulfidophilum* no cultivo de camarões, que não apenas melhorou a qualidade da água, mas também aumentou significativamente a taxa de sobrevivência dos camarões (94,7% em comparação a 81,3% no grupo controle) com incremento expressivo no peso médio dos camarões, além de fortalecer suas respostas imunes (KOGA, 2022).

2. JUSTIFICATIVA

Ao longo dos anos, a piscicultura tem se tornado uma atividade cada vez mais acessível e difundida, o que, apesar dos benefícios econômicos e produtivos, também aumenta os riscos de impactos ambientais (SÁ, 2021). O acúmulo de resíduos orgânicos e compostos tóxicos na aquicultura está diretamente relacionado à intensificação da atividade, resultando em desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos (GONDWE, 2012; VEZZULLI, 2008).

Dentre os principais compostos que comprometem a qualidade da água, a amônia (NH_3) se destaca por sua toxicidade. Esse composto é liberado pelo metabolismo dos organismos aquáticos e pela decomposição da matéria orgânica, sendo convertido por bactérias em nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, em nitrato (NO_3^-) (LANANAN, 2014). Em condições naturais, esses íons são assimilados por bactérias, algas e plantas aquáticas. No entanto, o excesso de compostos nitrogenados pode desencadear processos de eutrofização e consequente redução do oxigênio dissolvido, aumento da mortalidade da fauna com comprometimento da estabilidade ecológica do ambiente aquático.

Diante da problemática da qualidade da água na aquicultura, o uso de BPNS e ME, vem sendo uma alternativa promissora para redução de compostos nitrogenados, resolvendo e proporcionando maior produtividade na área através da biorremediação.

3. OBJETIVO

Avaliar a eficiência de biorremediadores (MEE, BPNS e Stability®) na remoção de compostos nitrogenados em meio líquido.

4. METODOLOGIA

4.1 Obtenção e isolamento dos ME

Os microrganismos eficientes endógenos (MEE) foram obtidos por meio da técnica de captura utilizando arroz cozido como substrato (ABU-BAKAR; IBRAHIM, 2013). Para isso, cerca de 50 a 100 g de arroz cozido foram acondicionados em bolsas de nylon com malha de 1,0 mm e posteriormente depositados sobre o solo de mata ciliar, permanecendo em contato com a serrapilheira por um período de 15 dias. Esse procedimento foi conduzido em áreas arborizadas do Campus Dom Delgado da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), próximo a uma lagoa perene.

Concluído o período de colonização microbiana, foi feita uma subamostragem das colônias com base em sua coloração, seguindo os critérios descritos por (MERICI, 2017) e (SOUSA, 2020). As colônias selecionadas foram posteriormente transferidas para garrafas PET de 2 litros (n = 7), contendo solução de melão de cana a 5% (m/v), previamente diluído em água de abastecimento isenta de cloro.

4.2 Preparação do meio eutrofizado

O meio utilizado para a avaliação da eficiência dos biorremediadores foi preparado com água de abastecimento público previamente desclorada por aeração, a qual foi artificialmente eutrofizada com fertilizantes à base de nitrogênio, conforme o protocolo descrito para sistemas BFT por (SAMOCHA, 2007). A razão carbono/nitrogênio (C/N) foi ajustada para 15:1 por meio da adição de açúcar comercial (composição aproximada: C 42%, H 6%, O 52%), com base na concentração de nitrogênio amoniacal, conforme os critérios de (AVNIMELECH, 1999) e (EBELING, 2006). A solução foi mantida em um tanque circular com capacidade de 500 L, sob agitação contínua promovida por bomba submersa (2.000 L/h), sendo monitorada durante um período de 7 dias, até a estabilização dos níveis

de amônia em torno de 4 mg/L, valor considerado crítico para cultivos intensivos no estado do Maranhão (AquaX, s.d.).

4.3 Preparo do experimento

Os MEE foram comparados a outros dois produtos: (i) um meio líquido contendo um consórcio de bactérias BPNS associado a prebióticos (carboidratos e amônia), fornecido pela empresa Aquário Sobrinho (Vila Velha, ES); e (ii) o produto formulado Stability® (Seachem, EUA), composto por bactérias fixadoras aeróbicas, anaeróbicas e facultativas, isento de compostos sulfurados (SEACHEM, 2011).

Os experimentos foram conduzidos em 12 recipientes plásticos pretos com capacidade para 3 litros (modelo gaveteiro BIN nº 07, SIPLAS®, RS), dispostos em prateleiras. Foram avaliados quatro tratamentos: três contendo diferentes consórcios bacterianos e um controle, sem adição de agentes biorremediadores, todos em triplicata. Em cada grupo experimental, exceto o controle, foi adicionado 1 mL do respectivo biorremediador. Todos os sistemas experimentais receberam aeração contínua, por meio de pedras porosas conectadas a um soprador (18 m³/h, modelo SunSun HG-180, China).

4.4 Análise da qualidade da água

A eficiência de cada biorremediador foi avaliada às 0, 8, 16 e 24 horas após a aplicação. Foram medidos os parâmetros físico-químicos da água, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE), por meio de uma sonda multiparâmetro (Akso, modelo AK88). Além disso, uma amostra de 100 mL de água foi coletada e armazenada a -20 °C para posterior análise dos parâmetros químicos:

- Dureza: por titulação com kit Acqua Supre® (APHA, 2017);
- Amônia (NH₃): fotometria (Hanna HI-83099) com kit colorimétrico (HI 93715), baseado no método de Nessler (APHA, 1995);
- Nitrito (NO₂⁻): kit Hanna (HI 93707), método com sulfato de ferro, leitura a 525 nm;
- Dióxido de carbono (CO₂) dissolvido: calculado conforme Timmons et al. (2010):

$$[CO_2] = \text{alcalinidade} \times 10^{(6,3-pH)}$$

A taxa de degradação da amônia (Tx Degrad, em mg/L·h) foi determinada conforme metodologia adaptada de (HENZE, 2008) e (CHEN, 2023), utilizando a fórmula:

$$Tx_{degrad} = \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta[t]}$$

Onde:

- $\Delta[NH_3]$: variação na concentração (em mg/L);
- $\Delta[t]$: intervalo de tempo (horas).

4.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de homocedasticidade das variâncias e normalidade da distribuição dos dados. Quando os pressupostos não foram atendidos, foram utilizadas transformações estatísticas e posteriormente, foi aplicada uma análise de variância de uma via – ANOVA ($\alpha=0,05$) seguida de teste *post-hoc* Tukey (ZAR, 2010).

5. RESULTADOS

Os resultados das análises da água foram divididos em duas tabelas: Tabela 1 parâmetros físico-químicos básicos (pH, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade e dureza), e Tabela 2 com os parâmetros químicos diretamente relacionados ao ciclo do nitrogênio e atividade microbiana (amônia, nitrito e dióxido de carbono). Os parâmetros avaliados demonstraram comportamentos distintos entre os tratamentos ao longo do período de 24 horas. Variáveis como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade e dureza não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p>0,05$), mantendo-se dentro de faixas adequadas para sistemas aquáticos. Em contraste, amônia total (NH_3), nitrito (NO_2^-), dióxido de carbono (CO_2) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p<0,05$).

Tabela 1 Valores médios (\pm desvio padrão) de parâmetros físico-químicos da água nos tratamentos: Branco; Stability; EM e BPNS. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os tempo no mesmo tratamento, (*) indica diferença do tratamento em relação ao controle.

Parâmetro	Período	TRATAMENTO			
		Branco	STBY	EM	BPNS
pH	00:00	7,50A \pm 0,00	7,50A \pm 0,00	7,50A \pm 0,00	7,50A \pm 0,00
	8:00	7,87A \pm 0,08	7,75A \pm 0,02	7,55A \pm 0,01	7,78A \pm 0,04
	16:00	7,76A \pm 0,06	7,74A \pm 0,00	7,60A \pm 0,01	7,61A \pm 0,01
	24:00	7,60A \pm 0,10	7,71A \pm 0,01	7,63A \pm 0,01	7,61A \pm 0,03
Temperatura (°C)	00:00	23,00A \pm 0,00	23,00A \pm 0,00	23,00A \pm 0,00	23,00A \pm 0,00
	8:00	23,10A \pm 0,30	22,93A \pm 0,15	23,13A \pm 0,06	23,17A \pm 0,15
	16:00	23,17A \pm 0,31	22,80A \pm 0,10	23,03A \pm 0,06	22,93B \pm 0,15
	24:00	23,10A \pm 0,30	22,70A \pm 0,00	22,83A \pm 0,06	22,87B \pm 0,21
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	00:00	7,00A \pm 0,00	7,00A \pm 0,00	7,00A \pm 0,00	7,00A \pm 0,00
	8:00	7,77A \pm 0,06	7,67A \pm 0,06	7,13A \pm 0,06	7,67A \pm 0,06
	16:00	7,70A \pm 0,10	7,67A \pm 0,06	7,33A \pm 0,06	7,60A \pm 0,10
	24:00	7,77A \pm 0,12	7,60A \pm 0,00	7,17B* \pm 0,06	7,23A \pm 0,06
Salinidade (ppt)	00:00	0,28A \pm 0,00	0,28A \pm 0,00	0,28A \pm 0,00	0,28A \pm 0,00
	8:00	0,29A \pm 0,00	0,29A \pm 0,01	0,28A \pm 0,00	0,28A \pm 0,00
	16:00	0,29A \pm 0,01	0,29A \pm 0,00	0,29A \pm 0,00	0,28A \pm 0,00
	24:00	0,28A \pm 0,01	0,29A \pm 0,00	0,30A \pm 0,00	0,28A \pm 0,01
Dureza (mg/l)	00:00	75,00A \pm 0,00	75,00A \pm 0,00	75,00A \pm 0,00	75,00A \pm 0,00
	8:00	69,00D \pm 0,00	72,00A* \pm 0,00	71,00C* \pm 1,73	72,00B* \pm 0,00
	16:00	72,00B \pm 0,00	72,00A \pm 0,00	73,00B* \pm 1,73	72,00B \pm 0,00
	24:00	75,00A \pm 0,00	72,00A* \pm 0,00	73,00B* \pm 1,73	72,00B* \pm 0,00

Os resultados demonstraram condições (médias) favoráveis ao cultivo, com pH 7,68, oxigênio dissolvido 7,42 mg/L e salinidade 0,29 (BOYD, TUCKER, 1998; KUBITZA, 2013; SAMOCHA, 2017).

O pH não apresentou variações significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), sendo que a estabilidade do pH é um aspecto positivo e desejável em sistemas aquícolas, uma vez que alterações significativas neste parâmetro podem afetar a toxicidade da amônia, a disponibilidade de nutrientes e o estresse fisiológico dos organismos (WURTS, DURBOROW, 1992; BOYD, 2020).

A temperatura não apresentou variação significativa ao longo do estudo, sendo que as médias ficaram entre 22,7 °C a 23,2 °C. Segundo METCALF e EDDY (2014) a temperatura encontra-se ótima para o metabolismo de bactérias nitrificantes, sendo o intervalo ideal para a nitrificação entre 20 °C e 30 °C. Portanto, a temperatura média de 23 °C registrada no experimento pode ser considerada

favorável para a atividade das bactérias nitrificantes, não constituindo um fator limitante para os processos biológicos em avaliação.

O OD é um parâmetro limitante na piscicultura, pois está ligado de forma direta a respiração dos organismos e a eficiência dos processos biológicos, como a nitrificação. A análise não apresentou diferença significativa de variação no parâmetro OD, porém é importante ressaltar que os produtos de referência mantiveram os níveis mais elevados e estáveis de OD (variando entre 7,6 e 7,9 mg/L), já o EM exibiu uma queda neste parâmetro no período final (24h). Essa redução pode ser associada a uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO), devido a microbiota intensa ou decomposição de matéria orgânica. Segundo (BOYD, TUCKER, 2012) às concentrações de OD maiores que 5 mg/L são consideradas adequadas para a maioria das espécies de peixes em cultivo, e suficiente para manter a eficiência dos processos aeróbios, como a nitrificação. É importante frisar que no estudo optou-se por manter os níveis próximos à saturação, o que constitui uma estratégia fundamental, essas condições propiciam uma oxidação eficiente da matéria orgânica, e influenciam a dinâmica do ciclo do nitrogênio de forma positiva (GODOS, 2010).

Tabela 2 Valores médios (\pm desvio padrão) de parâmetros químicos da água nos tratamentos: Branco; Stability; MEE e BPNS. Letras diferentes indicam diferença significativa entre os tempo no mesmo tratamento, (*) indica diferença do tratamento em relação ao controle.

Parâmetro	Período	TRATAMENTO			
		Branco	STBY	MEE	BPNS
NH ₃	00:00	3,79A \pm 0,00	3,79A \pm 0,00	3,79B \pm 0,00	3,79A \pm 0,00
	8:00	3,15A \pm 0,02	3,10B \pm 0,02	2,24C* \pm 0,28	2,34B \pm 0,10
	16:00	3,12A \pm 0,02	2,24C* \pm 0,02	1,56D* \pm 0,01	1,22C* \pm 0,02
	24:00	3,01A \pm 0,01	0,57D* \pm 0,01	7,34A* \pm 0,10	0,38D* \pm 0,06
NO ₂	00:00	0,22A \pm 0,00	0,22A \pm 0,00	0,22A \pm 0,00	0,22A \pm 0,00
	8:00	0,25A \pm 0,01	0,25B \pm 0,01	0,26A \pm 0,00	0,21B* \pm 0,00
	16:00	0,23A \pm 0,03	0,25B \pm 0,00	0,21A \pm 0,00	0,18C* \pm 0,01
	24:00	0,23A \pm 0,03	0,25B \pm 0,00	0,10B* \pm 0,00	0,18C* \pm 0,02
CO ₂	00:00	7,95A \pm 0,00	7,95A \pm 0,00	7,95A \pm 0,00	7,95A \pm 0,00
	8:00	3,40D \pm 0,62	4,29D* \pm 0,15	6,46B* \pm 0,17	4,12D* \pm 0,39
	16:00	4,33C \pm 0,60	4,36C* \pm 0,00	6,27C* \pm 0,08	5,88C* \pm 0,14
	24:00	6,36B \pm 1,37	4,71B* \pm 0,12	5,99D* \pm 0,08	5,93B* \pm 0,45

A análise da amônia (NH₃) revelou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nos tratamentos com biorremediadores até as 16h de experimento.

Entretanto, após esse período aumentou atingindo 7,34 mg/L nas 24 horas. O acúmulo de produtos nitrogenados da fermentação microbiana, descrita por Avnimelech (1999) em sistemas com alta relação C/N, resulta na imobilização do nitrogênio incluindo amônia pelos microrganismos, após a morte celular ou sob condições de estresse (como limitação de oxigênio), ocorre lise celular, liberando nitrogênio de volta ao sistema na forma de amônia.

Quadro 1 Taxas de degradação de amônia (mg/L·h) nos diferentes tratamentos. (*) indica acúmulo.

Tratamento	0-8 horas	8-16 horas	16-24 horas	Taxa média
BRANCO	0,08	0,004	0,014	0,033
STABILITY	0,086	0,108	0,316	0,170
EM	0,194	0,085	-0,723*	-0,148*
BPNS	0,181	0,140	0,245	0,189

A variável nitrito (NO_2^-) apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) ao longo do experimento, partindo da concentração inicial de 0,22 mg/L para todos os tratamentos. No tratamento EM apresentou o menor valor final sendo de 0,10 mg/L.

O dióxido de carbono (CO_2) apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com padrões que diferem a atividade microbiana respiratória e processos metabólicos, o ME tiveram médias entre 5,50 e 6,46 mg/L, segundo (FORTES, SILVA, 2019) o manejo de CO_2 em sistemas aquícolas é fundamental para os processos microbianos, e também para a fisiologia dos peixes, e concentrações superiores a 10-20 mg/L podem ocasionar acidose respiratória. Mesmo que nem um tratamento tenha atingido tal valor, os valores de ME merecem atenção e monitoramento para aplicações em escala real.

6. CONCLUSÃO

Os biorremediadores BPNS e Stability® promoveram a redução da amônia tóxica (NH_3) de 3,12 mg/L para valores inferiores a 0,5 mg/L em 24 horas. O tratamento com MEE apresentou comportamento semelhante nas primeiras horas, sugerindo um potencial de aplicação para controle do excesso de amônia. Entretanto, apresentou um comportamento instável às 16 horas pós-tratamento, atingindo concentrações finais próximas de 8 mg/L, associado a uma maior produção de CO_2 , sugerindo cautela na sua aplicação, sendo necessário mais investigação para que se comprove o potencial de uso de ME como biorremediador aquícola.

7. REFERÊNCIAS

ALLOUL, A. et al. Purple bacteria as added-value protein ingredient in shrimp feed: *Penaeus vannamei* growth performance, and tolerance against *Vibrio* and ammonia stress. *Aquaculture*, [S.l.], v. 530, p. 735788, 2021.

ABU-BAKAR, N.-A. et al. Indigenous microorganisms production and the effect on composting process. In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, [S.l.], p. 283–286, 2013. Melville, NY: American Institute of Physics.

AVNIMELECH, Y. *Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems*. *Aquaculture*, Amsterdam, v. 176, n. 3-4, p. 227-235, 1999.

BERNARDI, F. Uso de quitina e quitosana como adsorventes de amônia de efluentes aquícolas: revisão de literatura. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar*, Umuarama, v. 25, n. 2cont., e6378, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2008-2009. Brasília, DF: MAPA, 2011. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/aquicultura-e-pesca/estatistica/arquivos-boletim-estatistico/boletim_estatistico_2008_2009.pdf. Acesso em: 20 mar. 2025.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. New York: Springer Science & Business Media, 2012.

BOYD, C. E. *Water quality: an introduction*. 3. ed. Cham: Springer, 2020. 357 p.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. *Pond aquaculture water quality management*. New York: Springer, 1998. 700 p.

CARGNELUTTI, D. et al. Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. In: GARCÍA, L. M. H. (org.). *Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável*. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 31–62.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W.. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, v. 270, p. 1-14, 2007.

COLT, J.. *Water quality requirements for reuse systems*. *Aquacultural Engineering*, Amsterdam, v. 34, n. 3, p. 143-156, 2006.

CHEN, Y. et al. *Ammonia removal performance and microbial community of a novel bioaugmentation system*. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 367, p. 128245, 2023.

DMS (DMS-firmenich Animal Nutrition & Health) 2023. Do you know aquaculture's environmental footprint? <https://www.dsm.com/anh/news/feed-talks/articles/do-you-know-aquaculture-s-environmental-footprint-.html>

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Fisheries and aquaculture: global production by production source quantity*

(1950–2021) (*Fishstat*). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.

FAN, Y. V. et al. Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of Environmental Management*, v. 216, p. 41–48, 2018.

FORTES-SILVA, R. et al. Carbon dioxide in aquaculture: sources, effects and management strategies. *Reviews in Aquaculture*, v. 11, n. 3, p. 647-663, 2019.

GODOS, I. et al. Nitrogen transformations in a two-stage sequencing batch reactor with double sludge system: nitrification through hydroxylamine and nitrite. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 19, p. 7483-7489, 2010.

GONDWE, M. J. et al. Tracing the flux of aquaculture-derived organic wastes in the southeast arm of Lake Malawi using carbon and nitrogen stable isotopes. *Aquaculture*, v. 350–353, p. 8–18, 2012.

HENZE, M.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; EKAMA, G. A.; BRDJANOVIC, D. *Biological wastewater treatment: principles, modelling and design*. London: IWA Publishing, 2008. 528 p.

KOGA, A. et al. Probiotic effects of a marine purple non-sulfur bacterium, *Rhodovulum sulfidophilum* KKMI01, on kuruma shrimp (*Marsupenaeus japonicus*). *Microorganisms*, v. 10, n. 2, p. 244, 2022.

LANANAN, F. et al. Symbiotic bioremediation of aquaculture wastewater in reducing ammonia and phosphorus utilizing Effective Microorganism (EM-1) and microalgae (*Chlorella* sp.). *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 95, p. 127-134, 2014.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

MOURA, M. A. M.; VIEIRA, M. S. Palestra: Poluição de ecossistemas aquáticos – I: Aquicultura. *Revista O Biológico*, São Paulo, v. 72, n.1, p. 71-74, 2010.

Oliveira, E. A. G. de et al. Compostos orgânicos fermentados tipo “bokashi” obtidos com diferentes materiais de origem vegetal e diferentes formas de inoculação visando sua utilização no cultivo de hortaliças. 23. ed. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2014. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 24 de fev. 2021.

OLMOS, J.; ACOSTA, M.; MENDOZA, G.; PITONES, V. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology*, v. 202, p. 427-435, 2020.

PARNELL, J. J. et al. From the lab to the farm: an industrial perspective of plant beneficial microorganisms. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, n. 1110, p. 1–12, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.3389/fpls.2016.01110>. Acesso em: 1 jul. 2025.

PEIXEBR. Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário PeixeBR da Piscicultura 2020. São Paulo (SP): Edição Texto Comunicação Corporativa; 2021. 138 p.

PROSSER, J. I.; NICOL, G. W. Archaeal and bacterial ammonia-oxidisers in soil: the quest for niche specialisation and differentiation. *Trends in Microbiology*, v. 20, n. 11, p. 523-531, 2012.

SÁ, M. Y. M. de et al. Contribuição para a melhoria da qualidade da água proveniente do cultivo de tilápias em pequenos tanques. 2021. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, set. 2021 .

SARKER, P. K. Microorganisms in fish feeds, technological innovations, and key strategies for sustainable aquaculture. *Microorganisms*, Basel, v. 11, n. 2, p. 439, 2023

Seachem, 2011. Stability - Safety Data Sheet. Disponível em: <https://customerportal.seachem.com/SDSResources/13/13.html>.

SILVA, L. C. F. et al. Ammonia production and recovery in aquaculture systems: a review. *Journal of Environmental Management*, v. 227, p. 451-462, 2018.

VEZZULLI, L. et al. Organic waste impact of capture-based Atlantic bluefin tuna aquaculture at an exposed site in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 78, p. 369–384, 2008.

WAHID, W.; AZMAN, S. Improvement of water quality using effective microorganisms. *Environmental Engineering and Hydrology*, v. 3, p. 57–66, 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Improvement-of-Water-Quality-using-Effective-Wahid-Azman/f7044d207541fd7698cfc37c9d68ab7633a3c837>. Acesso em: 24 fev. 2024.

WILKINSON, K. M. Beneficial microorganisms. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (ed.). *Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries – Volume 1: Nursery management*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2009. (Agriculture Handbook 730), p. 247–261.

WURTS, W. A.; DURBOROW, R. M. *Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds*. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), 1992. 4 p. (SRAC Publication, n. 464).

YALÇIN, Z. G.; DAĞ, M.; AYDOĞMUŞ, E. Wastewater treatment using active microorganisms and evaluation of results. *International Journal of Advanced Natural Science and Engineering Research*, v. 7, p. 55–61, 2023.