














Avaliação da sobrevivência do peixe-palhaço *Amphiprion biaculeatus* (Bloch 1790) durante o transporte utilizando óleos essenciais

Darlan Gonçalves Azevedo^{1*}  Tiago Queiroz de Morais¹  Esau Felipe Vial Laranjeira¹  Silvio Cesar Costa¹  Mileni da Silva Pereira Gonçalves¹  Kayllane Rodrigues Carneiro de Souza¹  André Batista de Souza¹  Douglas da Cruz Mattos¹  Paulo Henrique Rocha Aride²  Leonardo Demier Cardoso¹  & Henrique David Lavander¹ 

¹ Grupo de Pesquisa Maricultura e Recursos Pesqueiros, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Piúma-ES, Brasil.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus-AM, Brasil

Recebido 4 de Fevereiro de 2025 / Aceito 16 dezembro 2024

Resumo

O peixe-palhaço (*Amphiprion biaculeatus*) é valorizado no mercado de aquarismo por sua aparência e comportamento, porém o transporte dessa espécie causa estresse e alta mortalidade. Este estudo investigou o uso dos óleos essenciais de *Melaleuca alternifolia* e *Mentha piperita* como agentes calmantes durante o transporte, analisando seus efeitos na sobrevivência dos peixes e na qualidade da água. Juvenis de peixe-palhaço (0,213 g e 2,36 cm) foram divididos em três grupos: controle (sem óleo), *Mentha piperita* (20 µL/L) e *Melaleuca alternifolia* (500 µL/L). Os peixes foram transportados por 96 horas em embalagens plásticas com água marinha e oxigênio, e as variáveis de qualidade da água, como oxigênio dissolvido, amônia, nitrito e pH, foram monitorados apenas antes e após o transporte. O grupo controle apresentou a maior taxa de sobrevivência (86,67%), enquanto o grupo com *Mentha piperita* obteve 80% e o grupo com *Melaleuca alternifolia* apenas 16,67%, sugerindo toxicidade deste último óleo em longos períodos. Os tratamentos com óleos reduziram significativamente o oxigênio dissolvido, especialmente *Melaleuca alternifolia*, o que pode ter contribuído para a alta mortalidade. Além disso, os níveis de amônia e nitrito aumentaram nos grupos tratados, comprometendo ainda mais a qualidade da água. Em conclusão, o transporte sem aditivos foi menos prejudicial, embora *Mentha piperita* tenha mostrado potencial para reduzir o estresse em condições adequadas, enquanto *Melaleuca alternifolia* demonstrou toxicidade em altas concentrações. Estes resultados reforçam a necessidade de mais estudos para otimizar o uso de óleos essenciais no transporte de peixes.

Palavras-chave: transporte de juvenis, mortalidade, variáveis físico-químicas.

Abstract - Survival assessment of clownfish *Amphiprion biaculeatus* (Bloch 1790) during transport using essential oils

The clownfish (*Amphiprion biaculeatus*) is valued in the aquarium trade for its appearance and behavior, but transporting this species often results in stress and high mortality. This study investigated the use of *Melaleuca alternifolia* and *Mentha piperita* essential oils as calming agents during transport, analyzing their effects on fish survival and water quality. Juvenile clownfish (0.213 g and 2.36 cm) were divided into three groups: control (no oil), *Mentha piperita* (20 µL/L) and *Melaleuca alternifolia* (500 µL/L). The fish were transported for 96 h in plastic containers with seawater and oxygen, and water quality variables, such as dissolved oxygen, ammonia, nitrite and pH, were monitored only before and after transport. The control group showed the highest survival rate (86.67%), while the group with *Mentha piperita* obtained 80% and the group with *Melaleuca alternifolia* only 16.67%, suggesting toxicity of the latter oil over long periods. Treatments with oils significantly reduced dissolved oxygen, especially *Melaleuca alternifolia*, which may have contributed to the high mortality. In addition, ammonia and nitrite levels increased in the treated groups, further compromising water quality. In conclusion, transport without additives was less detrimental, although *Mentha piperita* showed potential to reduce stress under appropriate conditions, while *Melaleuca alternifolia* demonstrated toxicity at high concentrations. These results reinforce the need for further studies to optimize the use of essential oils in fish transport.

Key words: transport of juveniles, mortality, physicochemical variables.

*Autor Correspondente: D.G. Azevedo, e-mail: darlanazevedo@hotmail.com

Resumen - Evaluación de la supervivencia del pez payaso *Amphiprion biaculeatus* (bloch 1790) durante el transporte utilizando aceites esenciales

El pez payaso (*Amphiprion biaculeatus*) es valorado en el mercado de acuarios por su apariencia y comportamiento, pero el transporte de esta especie suele provocar estrés y una alta mortalidad. Este estudio investigó el uso de los aceites esenciales de *Melaleuca alternifolia* y *Mentha piperita* como agentes calmantes durante el transporte, analizando sus efectos sobre la supervivencia de los peces y la calidad del agua. Los juveniles de pez payaso (0,213 gy 2,36 cm) se dividieron en tres grupos: control (sin aceite), *Mentha piperita* (20 µL/L) y *Melaleuca alternifolia* (500 µL/L). Los peces fueron transportados durante 96 horas en envases de plástico con agua de mar y oxígeno, y las variables de calidad del agua, como oxígeno disuelto, amoníaco, nitrito y pH, se monitorearon solo antes y después del transporte. El grupo control presentó la mayor tasa de supervivencia (86,67%), mientras que el grupo con *Mentha piperita* obtuvo el 80% y el grupo con *Melaleuca alternifolia* sólo el 16,67%, sugiriendo toxicidad de este último aceite por largos períodos. Los tratamientos con aceite redujeron significativamente el oxígeno disuelto, especialmente *Melaleuca alternifolia*, lo que puede haber contribuido a la alta mortalidad. Además, los niveles de amoníaco y nitrito aumentaron en los grupos tratados, comprometiendo aún más la calidad del agua. En conclusión, el transporte sin aditivos fue menos dañino, aunque *Mentha piperita* mostró potencial para reducir el estrés en condiciones adecuadas, mientras que *Melaleuca alternifolia* demostró toxicidad en altas concentraciones. Estos resultados refuerzan la necesidad de realizar más estudios para optimizar el uso de aceites esenciales en el transporte de pescado.

Palabras clave: transporte de menores, mortalidad, variables fisicoquímicas.

Introdução

O peixe-palhaço Maroon *Amphiprion biaculeatus* (Bloch 1790) é uma espécie monofilética da família Pomacentridae, destacando-se por suas adaptações ecológicas e características reprodutivas. Apresenta uma coloração marrom-avermelhada com listras brancas e uma hierarquia social complexa, na qual a maior fêmea desempenha o papel de indivíduo reprodutor. Seu hermafroditismo permite a mudança de sexo conforme a estrutura social do grupo, ampliando as oportunidades de reprodução (McGrath, 2023; Elliott et al., 1999).

Muito popular no mercado de aquários, o peixe-palhaço Maroon atrai compradores por sua aparência vibrante e comportamento cativante (Ortega-García, 2014). O comércio global de peixes ornamentais marinhos movimentava anualmente mais de dois bilhões de peixes vivos, incluindo espécies capturadas na natureza, como o peixe-palhaço (Domínguez & Botella, 2014). Este mercado, avaliado em cerca de 2,15 bilhões de dólares no varejo, comercializa aproximadamente 55 milhões de organismos por ano (Watson et al., 2023).

Na Indonésia, o setor de peixes ornamentais marinhos tem mostrado alto potencial econômico, com um índice de lucratividade de 1,2 e uma taxa interna de retorno de 21,8% (Kasmi et al., 2023). Contudo, métodos destrutivos frequentemente utilizados para capturar essas espécies ameaçam os recifes de coral (Domínguez & Botella, 2014). A dependência de peixes capturados na natureza levanta preocupações sobre superexploração e perda de biodiversidade, ressaltando a importância de estudos sobre a diversidade de espécies e sua conservação no comércio (Usman et al., 2024; Nuryanto et al., 2021).

Adotar uma economia “verde” que respeite processos naturais de restauração é essencial para preservar a biodiversidade frente aos desafios ambientais (Slozhenkina et al., 2021). O transporte de peixes vivos, parte fundamental da aquicultura, pode causar intenso estresse, comprometendo sua saúde e produtividade. Durante o transporte, os peixes enfrentam respostas de estresse classificadas como primárias (imediatas), secundárias (fisiológicas) e terciárias (de longo prazo), sendo o aumento do cortisol um indicador de estresse persistente (Luz & Fávero, 2024; Bortoletti et al., 2023).

A qualidade da água é um elemento crítico nesse processo, pois condições adversas, como baixos níveis de oxigênio dissolvido e pH elevado, agravam o estresse (Luz & Fávero, 2024; Erikson et al., 2022). Sistemas fechados de transporte frequentemente deterioram a qualidade da água, afetando o comportamento e o bem-estar dos peixes (Erikson et al., 2022). Após o transporte, os peixes podem não se recuperar completamente, o que impacta suas funções metabólicas, respostas imunológicas e a microbiota intestinal, essencial para a imunidade (Zheng et al., 2022; Erikson et al., 2022). Portanto, estratégias adequadas de manejo, que preservem a qualidade da água e minimizem o estresse, são indispensáveis para o bem-estar dos peixes.

Anestésicos desempenham um papel importante na redução do estresse em peixes, ajudando a controlar a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-interrenal (HPI). Entre as alternativas naturais, óleos essenciais como *Melaleuca alternifolia* e *Mentha piperita* vêm se destacando por suas propriedades analgésicas e menores

efeitos adversos em comparação com anestésicos sintéticos (Félix et al., 2023). O óleo de *M. alternifolia* possui compostos como terpinen-4-ol, conhecidos por propriedades antifúngicas, anti-inflamatórias e anestésicas, embora estudos sobre sua aplicação em peixes ainda sejam limitados (Souza et al., 2019). Já o mentol presente em *M. piperita* atua nos receptores GABAA, contribuindo para seu efeito anestésico (Souza et al., 2019).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição e Produção de Organismos Aquáticos (Lanpoa), vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Piúma, com aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais, sob o protocolo nº 23185.000564/2023-21.

Os juvenis de peixe-palhaço utilizados no estudo foram criados no próprio Lanpoa, onde, durante o período de aclimatação, foram alimentados com ração comercial específica para peixes carnívoros, contendo 55% de proteína bruta. A alimentação foi realizada duas vezes ao dia, até a saciedade aparente. Os peixes apresentaram peso inicial médio de $0,213 \pm 0,024$ gramas e comprimento médio de $2,36 \pm 0,156$ cm.

As variáveis de qualidade da água foram avaliadas antes e após o transporte. A medição de oxigênio dissolvido e pH foi realizada utilizando um medidor portátil multiparâmetro (HI98194). Para os níveis de amônia e nitrito, foram aplicados testes colorimétricos (Labcon Test). As condições da água antes do transporte estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores iniciais da variáveis físico-químicas da água para transporte dos peixes, incluindo medidas de oxigênio dissolvido, pH, amônia e nitrito, registrados para garantir condições adequadas para os animais.

Variável	Valor
pH	8,8
Temperatura	25,7 °C
Salinidade	34 ppt
Oxigênio	8,62 mg/L
Amônia	0,25 ppm
Nitrito	0,25 ppm

As concentrações adotadas basearam-se na literatura: 20 µL/L para *M. piperita* e 500 µL/L para *M. alternifolia* (Brandão, 2020; Correia, 2015). Os óleos foram diluídos em etanol na proporção de 1:10.

Foram utilizadas nove unidades experimentais, constituídas por embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (14x40 cm, capacidade de 2,5L). Cada embalagem foi preenchida com 250 mL de água marinha e enriquecida com 2/3 de oxigênio puro, sendo fechada com elásticos e acondicionada em uma caixa de poliestireno expandido (EPS) de 13L.

Os tratamentos consistiram em três grupos, com três repetições cada: SOE (Sem óleo essencial, controle), OEM (Com óleo essencial de *M. piperita*) e OEMEL (Com óleo essencial de *M. alternifolia*) e a densidade experimental foi de 10 peixes por 250 mL de água, totalizando 90 peixes. Essa densidade foi definida com base em levantamentos realizados junto a produtores, considerando a prática comum no transporte de peixes ornamentais. (Figura 1).

Figura 1. Representação da unidade experimental utilizada no estudo, onde são observados os tratamentos aplicados aos organismos aquáticos, com as condições controladas e monitoradas para análise dos resultados.

SOE = Sem óleo essencial
 OEM = Com óleo essencial de
Mentha piperita
 OEMEL = Com óleo essencial de
Melaleuca alternifolia



Para o transporte dos peixes-palhaço, os animais passaram inicialmente por um período de depuração de 48 horas. Posteriormente, foram acondicionados em caixas de poliestireno expandido (EPS) e transportados por via rodoviária durante 96 horas. Após o transporte, as caixas foram abertas para avaliar as variáveis de qualidade da água e registrar o comportamento dos peixes.

A análise comportamental foi realizada conforme a metodologia descrita por Altmann (1974), com observações realizadas em três momentos: no início do experimento, ao final do transporte e duas horas após a aclimação no aquário. A mortalidade foi avaliada contabilizando os indivíduos mortos após o transporte e após a aclimação.

Os peixes foram aclimatados em três tanques-rede colocados dentro de uma caixa de 1000 litros contendo água marinha. Durante 24 horas, o comportamento e a mortalidade dos peixes foram monitorados.

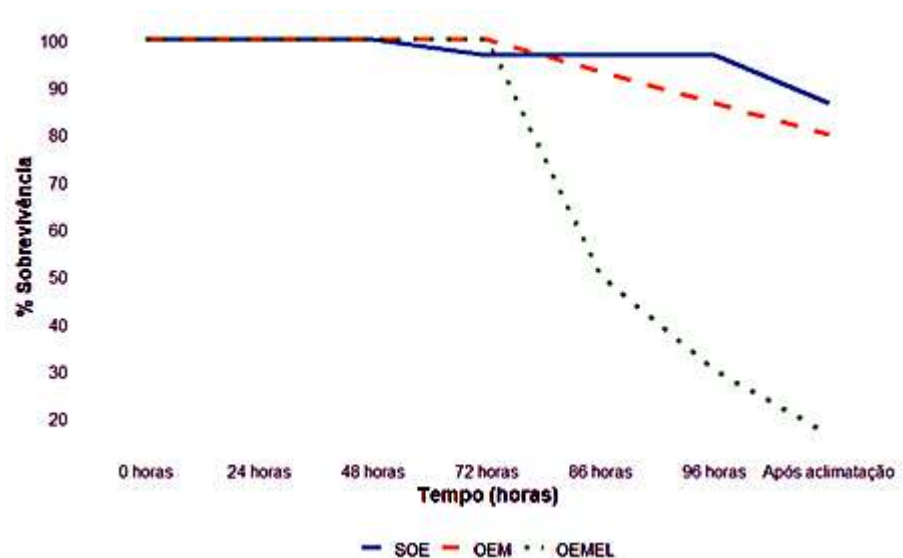
As análises estatísticas foram realizadas com os softwares RStudio e Statistica (versão 12.0). Os parâmetros analisados incluíram sobrevivência após o transporte, comportamento dos peixes durante e após o transporte, e variáveis de qualidade da água antes e depois do transporte. Os dados foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em seguida, uma análise de variância (Anova) foi aplicada para comparar os diferentes tratamentos com óleos essenciais e o grupo controle. Quando a Anova detectou diferenças significativas ($p < 0,05$), o teste de Tukey foi utilizado para comparações múltiplas. Os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando o valor de p foi inferior a 0,05 ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos indicaram que a taxa de sobrevivência dos peixes permaneceu em 100% durante as primeiras 24 horas do experimento, mantendo-se inalterada até as 48 horas para todos os grupos avaliados. Entretanto, a partir das 72 horas, foi observada uma redução na taxa de sobrevivência nos grupos tratados com óleos essenciais de *M. alternifolia* e *M. piperita* (Figura 2).

Figura 2. Sobrevivência nos tratamentos ao longo do tempo.

SOE = Sem óleo essencial
OEM = Com óleo essencial de *Mentha piperita*
OEMEL = Com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*



Inicialmente, o óleo essencial de *M. piperita* (OEM) manteve uma taxa de sobrevivência de 100% até 72 horas, devido às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, principalmente atribuídas aos compostos mentol e mentona (Altun, 2023; Sharafi et al., 2010). Contudo, a exposição prolongada resultou em queda nas taxas de sobrevivência, que atingiram 93,33% após 86 horas e 86,67% após 96 horas. Isso sugere que, o acúmulo do óleo no ambiente aquático pode causar estresse fisiológico nos peixes (Kovács et al., 2019). Estudos indicam que o mentol pode provocar alterações nos tecidos cardíacos dos peixes, além de induzir estresse oxidativo e mudanças temporárias na função cardíaca em concentrações superiores a 60 mg/L (Cantanhêde et al., 2021). Além disso, altas doses de mentol e mentona podem afetar as membranas celulares, sugerindo toxicidade potencial, que exige monitoramento em ambientes aquáticos (Bernson & Pettersson, 1983).

O óleo essencial de *M. alternifolia* (OEMEL) demonstrou significativa toxicidade para os peixes, com taxas de sobrevivência drasticamente reduzidas ao longo do tempo. Após 86 horas, a sobrevivência caiu para 50% e, em 96 horas, para 30%, indicando possíveis dificuldades respiratórias ou estresse metabólico devido a compostos como terpinen-4-ol e cineol, que podem irritar as brânquias dos peixes (Carson & Riley, 1995;

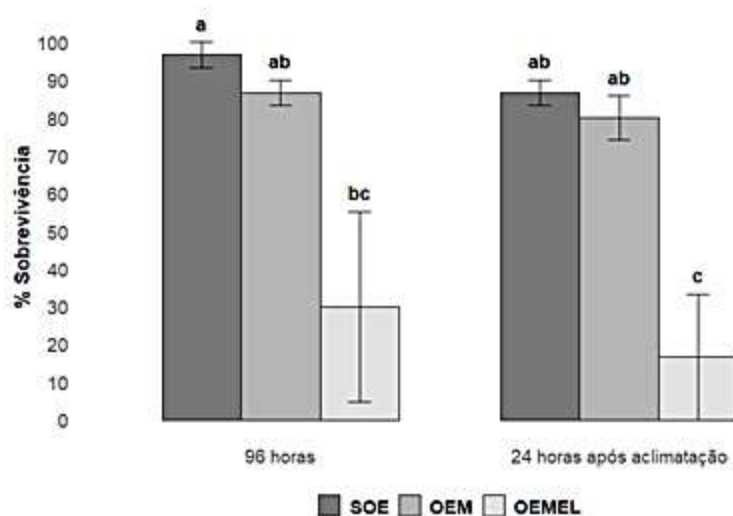
Hajek, 2011). Concentrações mais elevadas de OEMEL estão associadas ao aumento da mortalidade, com exposições prolongadas acima de 30 minutos em concentrações eficazes podendo ser fatais (Hajek, 2011).

O grupo controle (sem óleo essencial) teve uma taxa de sobrevivência de 86,67% após aclimação, o que sugere que, apesar do estresse durante o transporte, as condições gerais foram adequadas. O manejo e as variações ambientais provavelmente influenciaram o ligeiro declínio nas taxas de sobrevivência. O grupo controle manteve uma taxa de sobrevivência relativamente alta, o que sugere que as condições de transporte foram eficientes.

Após 24 horas da aclimação, o grupo sem óleo essencial (SOE) manteve uma taxa de sobrevivência de 86,67%, superior estatisticamente aos outros tratamentos (Figura 3). O grupo tratado com óleo essencial de *M. piperita* (OEM) teve 80% de sobrevivência, enquanto o grupo tratado com óleo essencial de *M. alternifolia* (OEMEL) apresentou uma taxa alarmante de apenas 16,67%, com essa diferença sendo estatisticamente significativa. Esses resultados indicam que os óleos essenciais podem induzir estresse adicional, dificultando a aclimação e aumentando a vulnerabilidade dos peixes aos estressores ambientais (Negm et al., 2022; Dawood et al., 2022).

Figura 3. Comparação das Taxas de Sobrevivência dos Peixes Submetidos a Diferentes Óleos Essenciais em Dois Intervalos de Tempo. Letras distintas indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

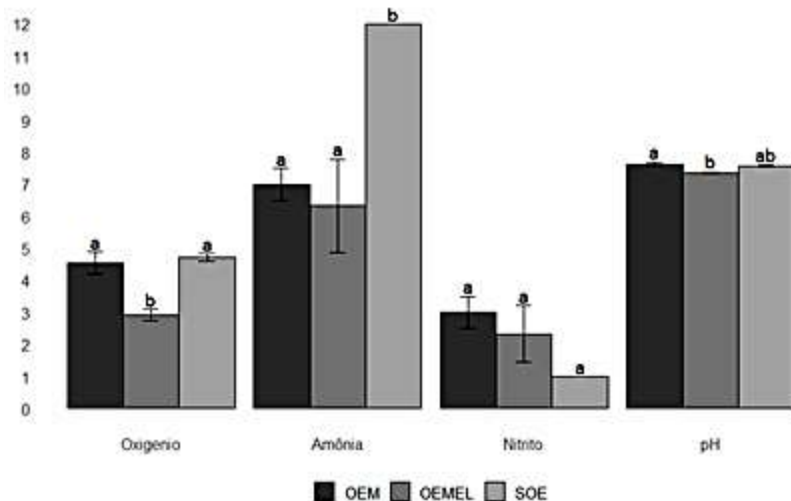
SOE = Sem óleo essencial
OEM = Com óleo essencial de *Mentha piperita*
OEMEL = Com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*



Ao final do experimento, foi observado um impacto negativo nas variáveis de qualidade da água, com variações significativas em relação aos valores iniciais (Figura 4).

Figura 4. Variáveis de qualidade da água avaliadas após 96 horas de experimento. Letras distintas indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

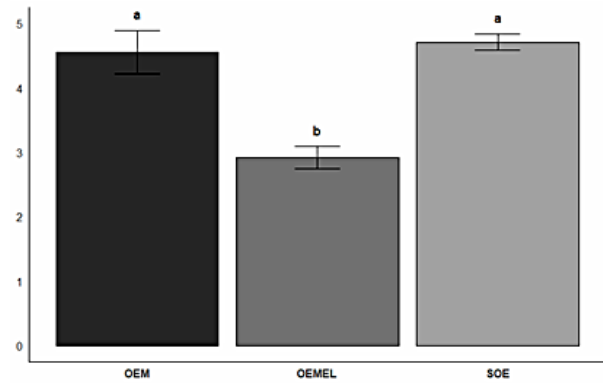
SOE = Sem óleo essencial
OEM = Com óleo essencial de *Mentha piperita*
OEMEL = Com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*



A análise dos efeitos dos óleos essenciais de *M. piperita* (OEM) e *M. alternifolia* (OEMEL) sobre os níveis de oxigênio dissolvido durante o transporte de *A. biaculeatus* revela diferenças substanciais que impactam diretamente a viabilidade do uso de cada óleo essencial nesse contexto. No experimento, o tratamento com OEM resultou em níveis de oxigênio dissolvido variando entre 3,94 e 5,11 mg/L, valores que se mostraram adequados para a manutenção das funções metabólicas e respiratórias dos peixes (Figura 5).

Figura 5. Comparação dos tratamentos com relação aos níveis de oxigênio dissolvido. Letras distintas indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

SOE = Sem óleo essencial
 OEM = Com óleo essencial de *Mentha piperita*
 OEMEL = Com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*



Em contraste, o tratamento com OEMEL apresentou uma queda significativa nos níveis de oxigênio, variando de 2,66 a 3,24 mg/L, níveis que podem ser prejudiciais em situações de transporte prolongado. Esses resultados sugerem que o óleo de *M. alternifolia* pode aumentar o consumo de oxigênio, possivelmente devido a reações de oxidação de seus compostos bioativos, especialmente em ambientes confinados (Baldissera et al., 2018). Esse efeito foi observado em estudos com *Oreochromis niloticus*, onde o uso do óleo de *M. alternifolia* ativou o sistema complemento e a resposta imune dos peixes, mas também resultou em aumento do consumo de oxigênio, tornando-o menos adequado para transportes de longa duração (Terto et al., 2024).

Em experimentos com juvenis de *Rhamdia quelen* (peixe-jundiá), o óleo de *M. piperita* promoveu uma resposta imune robusta, aumento da concentração de leucócitos e manutenção de parâmetros respiratórios adequados, sem causar uma demanda excessiva de oxigênio.

O aumento da mortalidade no grupo tratado com óleo essencial de *M. alternifolia* (OEMEL) pode ser atribuído ao consumo excessivo de oxigênio dissolvido induzido por este óleo. O óleo de *M. alternifolia*, rico em compostos como terpinen-4-ol, estimula respostas imunológicas e antioxidantes intensas nos peixes, gerando uma alta demanda metabólica por oxigênio (Terto et al., 2024). Em condições de transporte, onde o oxigênio dissolvido é limitado e os peixes enfrentam estresse físico e metabólico elevados, essa demanda exacerbada pode levar à hipóxia. Quando os níveis de oxigênio se reduzem drasticamente, o metabolismo celular dos peixes é comprometido, prejudicando a produção de ATP e resultando em acidose metabólica e desequilíbrio respiratório, o que, se prolongado, pode aumentar a mortalidade (Rezende et al., 2017). Estudos semelhantes indicam que óleos essenciais com alta demanda oxidativa, como o de *M. alternifolia*, podem induzir hipoxemia, especialmente em sistemas de transporte fechados, onde o oxigênio dissolvido é rapidamente consumido pela elevada atividade metabólica dos peixes (Spanghero et al., 2019).

A variação nos níveis de nitrito entre os tratamentos com óleo essencial de *M. piperita* (OEM), óleo essencial de *M. alternifolia* (OEMEL) e o grupo controle (SOE) mostra como esses óleos afetam a dinâmica dos compostos nitrogenados na água. Os dados indicam que, no tratamento com OEM, os níveis de nitrito variaram de 2,5 a 4,0 mg/L, enquanto o tratamento com OEMEL apresentou valores de 1,0 a 4,0 mg/L. O grupo controle manteve níveis de nitrito consistentemente mais baixos, ao redor de 1,0 mg/L. Essas diferenças podem estar relacionadas à atividade metabólica dos peixes e às interações químicas dos compostos bioativos presentes nos óleos essenciais, que influenciam a formação e remoção dos nitritos na água.

Quanto à análise dos níveis de amônia, tanto o óleo essencial de *M. piperita* quanto o de *M. alternifolia* apresentaram efeitos positivos na redução de amônia, embora com variações nos padrões observados. No tratamento com OEM, os níveis de amônia variaram de 6,0 a 7,5 mg/L, o que representa uma redução significativa em comparação ao grupo controle (SOE), onde os níveis permaneceram elevados, em torno de 12,0 mg/L. O óleo de *M. alternifolia* exibiu uma variação mais ampla, com níveis de amônia entre 4,0 e 9,0 mg/L, sugerindo um controle menos estável da amônia em relação ao tratamento com *M. piperita* (Brand et al., 2001).

A análise do pH nas condições experimentais revela que os diferentes tratamentos com óleos essenciais causaram variações sutis, mas todas mantiveram o pH próximo ao ideal para espécies marinhas como *A. biaculeatus*. O pH para o tratamento com OEM variou de 7,5 a 7,7, valores próximos ao do grupo controle (SOE), enquanto o tratamento com OEMEL apresentou um pH ligeiramente mais ácido, variando entre 7,3 e 7,4. Essas alterações no pH podem estar associadas aos compostos fenólicos presentes no óleo de *M. alternifolia*, que podem liberar íons hidrogênio e acidificar ligeiramente a água (Brand et al., 2001).

O comportamento alimentar dos peixes em tanques também sugere que os óleos essenciais impactaram negativamente a recuperação do estresse causado pelo transporte. O grupo SOE, que não foi exposto aos óleos essenciais, demonstrou melhores hábitos alimentares e maior vigor, indicadores de uma recuperação mais

favorável. Em contraste, os peixes dos grupos tratados com óleos essenciais apresentaram menor frequência de alimentação e menor vigor, sugerindo que o estresse induzido pelos óleos essenciais pode comprometer a recuperação do apetite e da atividade normal dos peixes. Esses efeitos adversos podem ocorrer porque os óleos essenciais, embora benéficos para o crescimento e a imunidade, também podem alterar os estados fisiológicos dos peixes, aumentando sua vulnerabilidade ao estresse ambiental e reduzindo o apetite (Hajirezaee et al., 2024; Pakhomov et al., 2022).

Estudos anteriores indicam que, embora os óleos essenciais possam promover o crescimento e a imunidade, eles também têm potencial para causar efeitos adversos sob certas condições, especialmente quando usados em concentrações elevadas ou quando os peixes são expostos a eles por períodos prolongados (Hajirezaee et al., 2024; Roldan-Juarez et al., 2023).

O grupo do tratamento SOE (sem óleo essencial) obteve a maior taxa de sobrevivência (86,67%), sugerindo que o transporte sem aditivos foi a opção menos prejudicial para os peixes. Por outro lado, o grupo tratado com o óleo essencial de *Mentha piperita* (OEM) obteve resultados próximos, com uma taxa de sobrevivência de 80%, o que indica que esse óleo tem um potencial promissor para reduzir o estresse dos peixes, desde que as condições de transporte sejam adequadas. Em contraste, o grupo tratado com o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (OEMEL) demonstrou efeitos prejudiciais, com uma taxa de sobrevivência significativamente baixa de apenas 16,67%, evidenciando a toxicidade do OEMEL em altas concentrações.

Esses resultados ressaltam a complexidade do uso de óleos essenciais no transporte de peixes e a necessidade de otimizar as concentrações e as condições de aplicação. Enquanto o *M. piperita* mostrou potencial como agente redutor de estresse, o *M. alternifolia* demonstrou ser prejudicial para os peixes, possivelmente devido à sua composição química e efeitos fisiológicos adversos. Assim, mais estudos são necessários para entender melhor os mecanismos de ação desses óleos essenciais e suas interações com o ambiente aquático, a fim de promover um transporte mais seguro e eficaz para os organismos aquáticos.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) Campus Piúma pela disponibilização de estruturas laboratoriais utilizados para a execução do experimento.

Referências

- Altman, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49(3-4), 227-266.
- Altun, M. (2023). In vitro evaluation of the antioxidant, antibacterial, antibiofilm, and cytotoxic activity of *Mentha piperita* essential oil. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 12(5), e6206-e6206.
- Baldissera, M.D., Souza, C.F., Doleski, P.H., Santos, R.C.V., Raffin, R.P. & Baldisserotto, B. (2018). Involvement of xanthine oxidase inhibition with the antioxidant property of nanoencapsulated *Melaleuca alternifolia* essential oil in fish experimentally infected with *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of fish diseases*, 41(5), 791-796.
- Bernson, V.S. & Pettersson, B (1983). The toxicity of menthol in short-term bioassays. *Chemico-biological interactions*, 46(2), 233-246.
- Bortoletti, M., Fonsatti, E., Leva, F., Maccatrozzo, L., Ballarin, C., Radaelli, G. & Bertotto, D. (2023). Influence of Transportation on Stress Response and Cellular Oxidative Stress Markers in Juvenile Meagre (*Argyrosomus regius*). *Animals*, 13(20), 3288.
- Brand, C., Ferrante, A., Prager, R.H., Riley, T.V., Carson, C.F., Finlay-Jones, J.J. & Hart, P.H. (2001). The water-soluble components of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil) suppress the production of superoxide by human monocytes, but not neutrophils, activated in vitro. *Inflammation Research*, 50, 213-219.
- Brandão, F.R., Duncan, W.P., Farias, C.F.S., de Melo Souza, D.C., de Oliveira, M.I.B., Rocha, M.J.S. ... &
- Carson, C.F. & Riley, T.V. (1995). Toxicity of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* or tea tree oil. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 33(2), 193-194.
- Cantanhêde, S.M., Amado, L.L., da Costa, B.M.P.A., Barbas, L.A.L., Torres, M.F., Hamoy, A.O. ... & Hamoy, M. (2021). Menthol exposure induces reversible cardiac depression and reduces lipid peroxidation in the heart tissue of tambaqui *Colossoma macropomum*. *Aquaculture*, 541, 736847.

- Correia, A.M. (2015). Uso dos óleos essenciais *Eugenia caryophyllata*, *Melaleuca alternifolia* e *Ocimum basilicum* como anestésicos e analgésicos em peixes-palhaços *Amphiprion clarkii*.
- Dawood, M.A., El Basuini, M.F., Yilmaz, S., Abdel-Latif, H.M., Alagawany, M., Kari, Z.A. ... & Van Doan, H. (2022). Exploring the roles of dietary herbal essential oils in aquaculture: A review. *Animals*, 12(7), 823.
- Domínguez, L.M. & Botella, A.S. (2014). An overview of marine ornamental fish breeding as a potential support to the aquarium trade and to the conservation of natural fish populations. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(4), 608-632.
- Elliott, J.K., Loughheed, S.C., Bateman, B., McPhee, L.K. & Boag, P.T. (1999). Molecular phylogenetic evidence for the evolution of specialization in anemonefishes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1420), 677-685.
- Erikson, U., Rosten, C., Klebert, P., Aspaas, S. & Rosten, T. (2022). Live transport of Atlantic salmon in open and closed systems: Water quality, stress and recovery. *Aquaculture Research*, 53(11), 3913-3926.
- Hajek, G.J. (2011). The anaesthetic-like effect of tea tree oil in common carp *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture Research*, 42(2), 296-300.
- Hajirezaee, S., Khanjani, M.H., Ahani, S. & Ghiasvand, Z. (2024). Tarragon (*Artemisia dracunculus*) Essential Oil at Optimized Dietary Levels Prompted Growth, Immunity, and Resistance to Enteric Red-Mouth Disease in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Research*, 2024(1), 3273850.
- Kasmi, M., Aman, A., Makkulawu, A.R., Amir, S.M., Abdullah, A. & Usman, A.F. (2023). Feasibility Analysis and Production Increase Strategy for Marine Ornamental Fish Agribusiness. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5689-5698.
- Kovács, J.K., Felső, P., Horváth, G., Schmidt, J., Dorn, Á., Ábrahám, H., ... & Schneider, G. (2019). Stress response and virulence potential modulating effect of peppermint essential oil in *Campylobacter jejuni*. *BioMed Research International*, 2019(1), 2971741.
- Luz, R.K. & Favero, G.C. (2024). Use of Salt, Anesthetics, and Stocking Density in Transport of Live Fish: A Review. *Fishes*, 9(7), 286.
- McGrath, C. (2023). Highlight: A Deep Dive into the Adaptive Radiation of Clownfish.
- Negm, S.S., Abd El Hack, M.E., Alagawany, M., Patra, A.K. & Naiel, M.A. (2022). The Beneficial Impacts of Essential Oils Application against Parasitic Infestation in Fish Farm. In *Antibiotic Alternatives in Poultry and Fish Feed* (pp. 194-214). Bentham Science Publishers.
- Nuryanto, A. & Bhagawati, D. (2021, April). Species diversity and conservation status of marine ornamental fish traded at three market spots in the southern coast of West Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 746, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
- Ortega-García, M.K. (2014). *Clownfish: comercial interest and culture* (Bachelor's thesis).
- Pakhomov, V.I., Braginets, S.V. & Bakhchevnikov, O.N. (2022). Essential oils as therapeutic and prophylactic agents and feed additives for aquaculture. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(2), 254-281.
- Rezende, F.P., Pascoal, L.M., Vianna, R.A. & Lanna, E.A.T. (2017). Sedation of Nile tilapia with essential oils: tea tree, clove, eucalyptus, and mint oils. *Revista Caatinga*, 30(2), 479-486.
- Roldan-Juarez, J., Pinares, R., Smith, C.E., Llerena, C.A., Machaca, V. & Pizarro, D.M. (2023). Microencapsulated essential oils influence the growth and foregut histomorphometry of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Veterinary and Animal Science*, 22, 100316.
- Sharafi, S.M., Rasooli, I., Owlia, P., Taghizadeh, M. & Astaneh, S.D.A. (2010). Protective effects of bioactive phytochemicals from *Mentha piperita* with multiple health potentials. *Pharmacognosy magazine*, 6(23), 147.
- Slozhenkina, M.I., Fedotova, A.M., Mosolova, E.A. & Larionova, I.S. (2021, September). Conservation of the Earth's biodiversity in the era of environmental challenges. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 848, No. 1, p. 012204). IOP Publishing.
- Souza, C.D.F., Baldissera, M.D., Baldisserotto, B., Heinzmann, B.M., Martos-Sitcha, J.A. & Mancera, J.M. (2019). Essential oils as stress-reducing agents for fish aquaculture: a review. *Frontiers in physiology*, 10, 785.

Spanghero, D.B.N., Spanghero, E.C.A.D.M., Pedron, J.D.S., Chagas, E.C., Chaves, F.C.M. & Zaniboni-Filho, E. (2019). Peppermint essential oil as an anesthetic for and toxicity to juvenile silver catfish. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54, e00367.

Terto, D.K., Barro, A.G., Rangel dos Santos, E., Ferreira, G.A., Vero, J.G., Ogawa, N.N., ... & Bridi, A.M. (2024). Clove essential oil decreases antemortem stress and acts as an antioxidant in Nile tilapia. *Journal of Applied Animal Research*, 52(1), 2360400.

Usman, Z., Hariyadi, D.R. & Serihollo, L.G. (2024). Species diversity and conservation status of ornamental fish traded in Kupang, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(3).

Watson, G.J., Kohler, S., Collins, J.J., Richir, J., Arduini, D., Calabrese, C. & Schaefer, M. (2023). Can the global marine aquarium trade (MAT) be a model for sustainable coral reef fisheries?. *Science Advances*, 9(49), eadh4942.

Zheng, T., Tao, Y., Lu, S., Qiang, J. & Xu, P. (2022). Integrated transcriptome and 16S rDNA analyses reveal that transport stress induces oxidative stress and immune and metabolic disorders in the intestine of hybrid yellow catfish (*Tachysurus fulvidraco*♀ × *Pseudobagrus vachellii*♂). *Antioxidants*, 11(9), 1737.