

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ÁCIDOS ORGÂNICOS NA AQUICULTURA: BILIOMETRIA E
REVISÃO SISTEMÁTICA

Autora: Gidelia Araujo Ferreira de Melo
Orientador: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa
Coorientadores (as): Prof. Dr. Marco Antônio Pereira da Silva
Profª. Dra. Mariana Buranelo Egea

Rio Verde – GO
março - 2025

ÁCIDOS ORGÂNICOS NA AQUICULTURA: BIBLIOMETRIA E REVISÃO SISTEMÁTICA

Autora: Gidelia Araujo Ferreira de Melo
Orientador: Adriano Carvalho Costa

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde.

Rio Verde – GO
Março – 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M528a Melo, Gidelia Araujo Ferreira de
 Ácidos orgânicos na aquicultura: biliometria e revisão
 sistemática / Gidelia Araujo Ferreira de Melo. Rio Verde 2025.

 166f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Adriano Carvalho Costa.
 Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Pereira da Silva.
 Monografia (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0231024 - Mestrado em Zootecnia - Rio Verde (Campus Rio
Verde).
 1. Análise cienciométrica. 2. Antimicrobianos. 3. Desempenho
zootécnico. 4. Microbiota intestinal. 5. Sustentabilidade. I.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☒ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☐ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: **Gidelia Araujo Ferreira de Melo**

Matrícula: **2023102310240005**

Título do Trabalho: **Ácidos orgânicos na aquicultura: bibliometria e revisão sistemática**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 14/03/2025.

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documentos assinado digitalmente
gov.br
GIDELIA ARAUJO FERREIRA DE MELO
Data: 09/05/2025 18:55:49 -0300
Verifique em <https://validar.ifgoiano.gov.br>

Rio Verde, _____ 09/ 05/ 2025
Local Data

Assinatura
do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 29/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação :	Zootecnia	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 163
Data: 14/03/2025	Hora de início: 15:00h	Hora de encerramento: 17:30h
Matrícula do discente:	2023102310240005	
Nome do discente:	Gidelia Araujo Ferreira de Melo	
Título do trabalho:	Ácidos orgânicos na aquicultura	
Orientador:	Adriano Carvalho Costa	
Área de concentração:	Zootecnia/Recursos Pesqueiros	
Linha de Pesquisa:	Produção sustentável de não ruminantes	
Projeto de pesquisa de vinculação	Nebulização de ácidos orgânicos em filés de tilápias	
Titulação:	Mestre em Zootecnia	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Dr. Adriano Carvalho Costa (Orientador), Dr. Rodrigo Fortunato de Oliveira (Avaliador interno), Dra. Cibele Silva Minafra (Avaliadora interna), Dr. Renan Rosa Paulino (Avaliador externo) e Dr. Joel Jorge Nuvunga (Avaliador externo) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada no Auditório da Diretoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de

GIDELIA ARAUJO FERREIRA DE MELO, discente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, **Adriano Carvalho Costa**, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ZOOTECNIA**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGZ da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IF Goiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Adriano Carvalho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/03/2025 10:04:35.
- Renan Rosa Paulino, Renan Rosa Paulino - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Lavras (22078679000174), em 20/03/2025 13:26:50.
- Cibele Silva Minafra, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/03/2025 07:52:19.
- Joel Jorge Nuvunga, Joel Jorge Nuvunga - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 21/03/2025 08:56:01.
- Rodrigo Fortunato de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/03/2025 09:04:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 684985

Código de Autenticação: 6454594162



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

ÁCIDOS ORGÂNICOS NA AQUICULTURA

Autora: Gidelia Araujo Ferreira de Melo
Orientador: Adriano Carvalho Costa

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração em Zootecnia/Recursos Pesqueiros.

APROVADA em 14 de março de 2025.

Dra. Cibele Silva Minafra
Avaliadora interna
IF Goiano/RV

Dr. Rodrigo Fortunato de Oliveira
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Dr. Renan Rosa Paulino
Avaliador externo

Dr. Joel Jorge Nuvunga
Avaliador externo

(UFLA)

(UJC)

Dr. Adriano Carvalho Costa
Presidente da banca
IF Goiano/RV

Documento assinado eletronicamente por:

- Adriano Carvalho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/03/2025 10:06:12.
- Cibele Silva Minafra, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/03/2025 13:00:47.
- Joel Jorge Nuvunga, Joel Jorge Nuvunga - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 20/03/2025 13:06:46.
- Renan Rosa Paulino, Renan Rosa Paulino - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Lavras (22078679000174), em 21/03/2025 06:43:30.
- Rodrigo Fortunato de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/03/2025 09:03:33.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 684986

Código de Autenticação: ab76902165



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e fé, que me acompanharam ao longo de toda a jornada acadêmica, proporcionando a perseverança necessária para enfrentar os desafios.

À minha filha Isabella Araujo de Melo, pelo amor incondicional, encorajamento, paciência e por ser minha maior fonte de inspiração e apoio nesse período de muitos desafios. Cada sorriso seu foi uma motivação para continuar.

Ao meu orientador, Adriano Carvalho Costa, pela orientação, dedicação e generosidade no compartilhamento de conhecimento. Sua orientação foi fundamental para a realização deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico.

Ao meu esposo, Roberto Gevair de Melo, pelo apoio constante, compreensão e por sempre estar ao meu lado em todas as fases deste percurso. Sua presença foi essencial para minha estabilidade emocional e motivação.

À minha mãe, Maria Nazaré Araujo Ferreira, pela vida, amor e ensinamentos. Suas palavras de encorajamento e confiança sempre foram fundamentais para que eu seguisse em frente com determinação.

Ao meu pai, Divino Ozil Ferreira, que já não está mais entre nós, mas cujos conselhos e ensinamentos continuam a me orientar. Sua sabedoria, amor e exemplos de lealdade aos sonhos foram fundamentais na minha formação, e sua memória é uma inspiração constante em minha vida.

Ao meu Coorientador Marco Antonio Pereira da Silva, que muito me auxiliou no início dessa minha trajetória, e sempre se prontificou em me ajudar e colaborar com o meu crescimento.

À minha Coorientadora, Mariana Buranelo Egea, pelo apoio, conselhos valiosos e pela disponibilidade em me orientar ao longo dessa trajetória.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade e infraestrutura que permitiram o desenvolvimento deste projeto.

Aos meus amigos, pela amizade, apoio e incentivo.

À CEAGRE, pelo apoio institucional e concessão de bolsa a nível de mestrado, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Vocês tornaram os momentos difíceis mais leves e foram essenciais para a manutenção do equilíbrio durante toda a trajetória.

A todos, meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Gidelia Araujo Ferreira de Melo, filha de Maria Nazaré Araujo Ferreira e do já saudoso Divino Ozil Ferreira, natural de Goiânia – GO, mas criada no interior de Goiás, em uma cidadela por nome Mossâmedes, desde 2002 residente na cidade de Rio Verde, onde construí minha trajetória acadêmica e profissional. Formada em Licenciatura em Química pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, instituição que sempre valorizou meu desenvolvimento acadêmico e me acolheu novamente em 2023, quando retornei ao campus aspirando ao título de Mestre em Zootecnia.

Minha vida pessoal é marcada por fortes laços familiares. Casada com Roberto Gevair de Melo desde 2003, mãe pela primeira vez aos 20 anos da linda Isabella Araujo Ferreira de Melo e do lindo Robert Daniel Araujo de Melo aos 32 anos. Irmã de Rodrigo Araujo Ferreira e Ricardo Araujo Ferreira. A perda de meu pai de forma tão prematura foi um marco importante, mas sempre mantive o apoio e a força da minha mãe e da minha família, principalmente da minha filha, que são essenciais para o equilíbrio da minha vida. Acredito que minha formação cristã e a minha fé em Deus têm sido fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional, pois sempre busco conduzir minhas ações com honestidade, respeito e fé.

Após longa jornada trabalhando no comércio local, realizei o sonho e propósito de atuar como professora regente. Após aprovação em concurso público, tomei posse do meu cargo de Professora - III, no Colégio Estadual Miltes Furquim de Oliveira em 2023. Como professora de Química, minha maior paixão está em transformar o aprendizado em algo significativo, sempre com foco na educação e no impacto positivo que ela pode gerar. Busco não apenas transmitir conhecimento, mas também formar cidadãos críticos, preparados para os desafios do futuro. Ao longo da minha trajetória acadêmica e profissional, sempre procurei conciliar meus estudos com as necessidades da minha família e comunidade, com grande esforço e dedicação, mantendo equilíbrio entre a vida pessoal e o compromisso com meu crescimento e o desenvolvimento da educação.

ÍNDICE GERAL

	Página
Sumário	
ÍNDICE DE TABELAS.....	14xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	17xvii
RESUMO GERAL.....	xix
ABSTRACT.....	xxi
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	23
INTRODUÇÃO GERAL	23
1. Introdução	23
2. Revisão bibliográfica	26
2.1 Patógenos em Peixes.....	26
2.2 Ácidos Orgânicos como antimicrobianos	29
2.3 Ácidos Orgânicos na Aquicultura: Evidências de testes <i>in vivo</i>	31
2.4 Interações entre ácidos orgânicos e outros aditivos alimentares	33
2.5 Principais regulamentações para o uso de ácidos orgânicos na produção animal.....	36
2.6 Ácidos orgânicos na aquicultura e sua relação com os princípios da Química Verde no Ensino Médio	40
Referências bibliográficas.....	44
OBJETIVOS.....	53
Geral	53
Específicos.....	53
CAPÍTULO I– Artigo I - Organic acids in aquaculture: a bibliometric analysis ..	54
Abstract.....	54
1. Introduction.....	55
2. Methodology	58
3. Results and discussion	60

3.1. General analysis 60

3.2. Most relevant sources	62
3.3. Most relevant authors.....	66
3.4. Most relevant articles.....	69
3.5. Words.....	72
3.6. Most relevant countries.....	75
3.7. Most relevant institutions.....	78
3.8. Research trends	80

4. Conclusion 86

References..... 88

CAPÍTULO II – Artigo II - Utilização de ácidos orgânicos na nutrição de organismos aquáticos: uma revisão sistemática..... 97

Resumo 97

Abstract..... 97

1. Introdução 98

2. Metodologia 101

3. Resultados..... 103

3.1. Ácidos orgânicos mais utilizados na aquicultura 103

3.2. Impactos dos ácidos orgânicos no desempenho zootécnico e taxa de sobrevivência 103

3.3. Impactos dos ácidos orgânicos na saúde geral, desenvolvimento intestinal e imunidade dos organismos aquáticos 113

3.4. Efeitos dos ácidos orgânicos na qualidade da água e mitigação de resíduos em sistema de aquicultura 123

3.5. Aumento da resistência a desafio patogênico 125

3.6. Efeitos dos ácidos orgânicos em diferentes espécies aquáticas 127

3.7. Estudos que utilizaram método de microencapsulamento: Benefícios na Aquicultura..... 135

3.8. Principais lacunas na literatura sobre o uso de ácidos orgânicos como aditivos alimentares 137

4. Discussão..... 139

5. Consideração Final 142

Referências bibliográficas 143

CAPÍTULO III – Práticas sustentáveis no ensino de química: ácidos orgânicos, produção animal e educação para o futuro 149

Resumo 150

Abstract..... 150

1. Introdução 151

2. Metodologia 153

3. Resultados..... 154

3.1 Desempenho Inicial dos Estudantes – Aplicação do Questionário (Q1).....	154
3.2 Aplicação da Palestra Educacional: Contextualizando o Ensino de Química na Produção Animal ..	155
3.3 Desempenho Final dos Estudantes: Reaplicação do Questionário (Q2)	158
4. Discussão	159
5. Conclusão.....	162
Referências bibliográficas	163
CONCLUSÃO GERAL.....	165

ÍNDICE DE TABELAS

Página

CAPÍTULO I– Artigo I - Organic acids in aquaculture: a bibliometric analysis	
..... Erro! Indicador não definido.	
Table 1.Overview of key information from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture	60
Table 2.The 10 main sources of local impact by H-index of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.	65
Table 3. The 10 authors with the highest impact factor by H index of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture	67
Table 4. Number of articles published by authors and frequency according to Lotka's Law of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture	68
Table 5. The top 10 most globally cited documents of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.....	72
Table 6. Scientific production of the top 10 countries of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.....	75
Table 7. Main organic acids used with their respective treatments and aquatic species of analyzed data from bibliometric analysis of organic acids in aquaculture (O A: organic acids).	81
CAPÍTULO II – Artigo II - Utilização de ácidos orgânicos na nutrição de organismos aquáticos: uma revisão sistemática.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 1: AO: ácidos orgânicos TS: taxa de sobrevivência *: efeito significativo comparado ao controle (p<0,05) Ref: referência.	126
CAPÍTULO III – Práticas sustentáveis no ensino de química: ácidos orgânicos, produção animal e educação para o futuro	Erro! Indicador não definido.
Tabela 1: Resultado em (%) das alternativas escolhidas pelos estudantes antes da palestra sobre sustentabilidade na produção animal.	155

Tabela 2: Resultado em (%) das alternativas escolhidas pelos estudantes após a reflexão sobre sustentabilidade na produção animal. XV

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
INTRODUÇÃO GERAL	22
Figura 1. Uma ampla classificação de agentes zoonóticos de peixes, incluindo bactérias, parasitas, vírus e fungos (Fonte: ZIARATI et al., 2022. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01652176.2022.2080298).	26
Figura 2. Os 12 princípios da Química Verde. Adaptado de: PRADO, A. G. S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. Química Nova, v. 26, p. 738-744, 2003. (https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500018)	43
CAPÍTULO I – Artigo I - Organic acids in aquaculture: a bibliometric analysis.....	53
Figure 1. Flowchart of document selection for bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture	59
Figure 2. Annual scientific production on the use of organic acids in aquaculture from 1995-2024.	61
Figure 3. The 10 most relevant sources in the production of articles (A) and the 10 most cited authors (B) of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.....	63
Figure 4. Author productivity using Lotka's Law of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.....	69
Figure 5. Average citations per article and year of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture. N: number of articles published and TC: total number of citations.	70
Figure 6. The 10 most globally cited documents of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.....	70

Figure 7. The 10 most cited words in the documents (A), topics of trending w	xvi
appear most frequently in the title (B), and trending topics of plus words (C) of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.....	74
Figure 8. Production by countries of the corresponding author (A) and the 10 most cited countries from 1995-2024 (B) of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture	76
Figure 9. The 10 most relevant affiliations for publishing articles of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture from 1995-2024	79
Figure 10. Frequency of treatment types (A), organic acids (B), and fish types (C) of analyzed data from bibliometric analysis of organic acids in aquaculture	82
CAPÍTULO II – Artigo II - Utilização de ácidos orgânicos na nutrição de organismos aquáticos: uma revisão sistemática.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 1: Fluxograma de seleção e exclusão de documentos para análise bibliométrica nas bases de dados (A), seleção e exclusão de artigos no Biblioshiny (B) e seleção de artigos para a revisão sistemática com foco na utilização e ácidos orgânicos como aditivos alimentares	102
CAPÍTULO III – Práticas sustentáveis no ensino de química: ácidos orgânicos, produção animal e educação para o futuro	Erro! Indicador não definido.
Figura 1: Momento da palestra em que foi dado início à discussão sobre importância da pesquisa para o ensino de química (A), trazendo para os alunos os 12 princípios da Química Verde (B, C, D), seguido da apresentação dos ácidos orgânicos de cadeia curta e média (E e F).....	157

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

%	Porcentagem
AGPs	Antibiotic Growth Promoters
AKP	Fosfatase Alcalina
ALT	Alanine Aminotransferase
AOCC	Ácidos Orgânicos de Cadeia Curta
AOCM	Ácidos Orgânicos de Cadeia Média
ARGs	Antibiotic Resistance Genes
AST	Aspartate Aminotransferase
BTL	Biotronic® Top Liquid
EFSA	European Food Safety Authority
GMCF	Granulocyte-Macrophage Colony-Stimulating Factor
GP	Ganho de Peso
GPx	Glutathione Peroxidase (peroxidase de glutathione)
HTS	High-Throughput Sequencing
IL-10	Interleukin-10
IL-8	Interleucina 8
LDH	Lactato Desidrogenase
MALDI-TOF	Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization - Time of Flight
MDA	Malondialdeído
PAA	Peracetic Acid
PAW	Plasma-Activated Water
PF	Peso Final
PPAR γ	Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma
REL	Razão de Eficiência Lipídica
REP	Razão de Eficiência Proteica
SOD	Superóxido Dismutase
TCA	Taxa de Conversão Alimentar
TCE	Taxa de Crescimento Específico
TGF β	Transforming Growth Factor Beta
TNF- α	Tumor Necrosis Factor-alpha
T-NOS	Total Nitric Oxide Synthase
WOAH	World Organization for Animal Health

cm	centímetros
g	gramas
g/Kg	gramas por quilograma
mg/Kg	miligramas por quilograma
mg/L	miligramas por litro
pH	potencial hidrogeniônico
ppm	parte por milhão

RESUMO GERAL

xx

A aquicultura está entre as atividades agropecuárias que mais cresce nos últimos anos, abrangendo diversas espécies de interesse comercial. Seu crescimento é impulsionado pela rápida obtenção de resultados produtivos, uma vez que diversas espécies são cultivadas em curtos períodos e apresentam alta eficiência na conversão alimentar. Desse modo, a segurança alimentar em relação às variáveis microbiológicas é de suma importância, visto que é um alimento de fácil deterioração, necessitando de adequado controle de qualidade. Dentre os parâmetros de avaliação da qualidade dos alimentos, destaca-se como mais importantes aqueles relacionados à qualidade microbiológica, pois fornecem relevantes informações que permitem avaliá-lo quanto à aquisição da matéria-prima, seu processamento, armazenamento e a distribuição para consumo, considerando a vida útil e o risco que causam à saúde da população. Os antimicrobianos são indispensáveis à manutenção da saúde humana e animal, no entanto, a resistência microbiana aos antibióticos representa um desafio à eficácia desses fármacos. Diante disso, algumas alternativas vêm sendo exploradas, como o uso de ácidos orgânicos. Esses compostos já são realidade em algumas espécies animais, com objetivo de reduzir/eliminar microrganismos patogênicos. Na aquicultura, o uso vem ganhando cada vez mais espaço como aditivo alimentar pela eficácia na melhoria do desempenho zootécnico, na modulação da microbiota e no aumento da taxa de sobrevivência dos animais. Entretanto, diante da variabilidade dos resultados encontrados na literatura quanto à eficácia dos ácidos orgânicos na aquicultura, seja na melhoria do desempenho zootécnico ou no aumento da resistência aos desafios patogênicos, este trabalho busca aprofundar a compreensão sobre o efeito e impacto, realizando uma análise bibliométrica e uma

revisão sistemática, que permite identificar tendências e desafios científicos no conhecimento sobre o tema. Para além do contexto acadêmico, a sustentabilidade no uso de ácidos orgânicos contribui para o ensino de Química Verde, proporcionando aos alunos uma visão mais ampla sobre o papel da química na redução de impactos ambientais na produção animal. O uso desses compostos como alternativa ao emprego de antibióticos na aquicultura é uma estratégia para minimizar a resistência antimicrobiana e reduzir resíduos químicos nos ecossistemas aquáticos. Dessa forma, a abordagem desse tema em sala de aula pode estimular reflexões sobre práticas sustentáveis e a aplicação dos princípios da Química Verde na aquicultura, preparando os estudantes para uma visão crítica e inovadora sobre o futuro da produção aquícola.

Palavras-chave: Análise cienciométrica; Antimicrobianos; Desempenho zootécnico; Microbiota intestinal; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Aquaculture is one of the fastest-growing agricultural activities in recent years, encompassing a lot of commercially important species. Its growth is driven by the rapid achievement of productive results, as many species are cultivated in short cycles and exhibit high feed conversion efficiency. In this context, food safety concerning microbiological variables is of utmost importance, as it is a highly perishable food that requires adequate quality control. Among the food quality assessment parameters, those related to microbiological quality stand out as the most significant, as they provide crucial information that allows for evaluation at various stages, including raw material acquisition, processing, storage, and distribution for consumption, considering shelf life and the associated health risks. Antimicrobials are essential for maintaining human and animal health; however, microbial resistance to antibiotics is a challenge to their effectiveness. In light of this, some alternatives have been explored, such as the use of organic acids. These compounds are already in use in some animal species, aiming to reduce or eliminate pathogenic microorganisms. In aquaculture, their use has been gaining increasing traction as a feed additive due to their effectiveness in improving zootechnical performance, modulating microbiota, and increasing animal survival rates. However, given the variability of results found in the literature regarding the effectiveness of organic acids in aquaculture whether in improving zootechnical performance or enhancing resistance to pathogenic challenges, this work aims to deepen the understanding of their use and impact, conducting a bibliometric analysis and systematic review that identifies scientific trends and challenges surrounding the topic. Beyond the

academic context, the sustainability of organic acid use contributes to the teaching of Green Chemistry, providing students with a broader perspective on the role of chemistry in reducing environmental impacts in animal production. Using these compounds as an alternative to antibiotics in aquaculture is a strategy to minimize antimicrobial resistance and reduce chemical residues in aquatic ecosystems. Therefore, addressing this topic in the classroom can stimulate reflections on sustainable practices and the application of Green Chemistry principles in aquaculture, preparing students for a critical and innovative view of the future of aquaculture production.

Keywords: Antimicrobials; Bibliometric analysis; Intestinal microbiota; Sustainability; Zootechnical performance.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

INTRODUÇÃO GERAL

1. Introdução

A produção total de pesca e aquicultura atingiu recorde histórico de 223,2 milhões de toneladas em 2022, sendo 185,4 milhões de toneladas (equivalente ao peso vivo) de animais aquáticos e 37,8 milhões de toneladas (peso úmido) de algas, representando aumento de 4,4% em relação a 2020. Desse total, 62% dos animais aquáticos foram capturados em águas marinhas (69% provenientes da pesca e 31% da aquicultura) e 38% foram produzidos em águas interiores (84% da aquicultura e 16% da pesca extrativa). Estima-se que o consumo per capita em 2030 de pescado aumente 15%, atingindo 21,4 Kg, impulsionado principalmente pelo aumento da renda, urbanização, mudanças nas práticas de pós-colheita e novas tendências alimentares focadas na saúde e nutrição. (FAO, 2022).

Com a crescente demanda por produtos provenientes da aquicultura, garantir a segurança microbiológica é de suma importância, visto que é um alimento de rápida deterioração. Valores de microrganismos acima dos limites recomendados estão relacionados às más condições no processamento do pescado, falta de higiene de utensílios e locais para manipulação e má qualidade da matéria-prima utilizada, bem com o armazenamento. Para minimizar problemas relacionados à qualidade físico-química e microbiológica na piscicultura é necessário padronização e controle nas boas práticas de produção (PONTUSCHKA *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis e eficazes no controle microbiológico de alimentos torna a utilização de ácidos orgânicos uma estratégia promissora para garantir a segurança e a qualidade alimentar, além de desempenhar papel fundamental na promoção do crescimento e na saúde dos peixes. No entanto, os efeitos desses compostos ainda apresentam resultados contraditórios, variando conforme a espécie cultivada, o tipo e a concentração dos ácidos utilizados, bem como as condições de cultivo adotadas (NG & KOH, 2017).

Uma análise do avanço científico nessa área é fundamental para compreender as estratégias empregadas na mitigação desses desafios. Entretanto, o crescimento exponencial da produção científica tem gerado volume significativo de publicações, o que pode dificultar o acesso e a síntese eficiente do conhecimento. Métodos analíticos avançados, como a cienciometria, bibliometria e mineração de texto, auxiliam na identificação de tendências e na extração de informações relevantes para o avanço científico. Bancos de dados como Scopus e Web of Science são escolhidos usualmente devido à cobertura abrangente, indexação de alta qualidade e recursos robustos de análise de citações. Além disso, estudos bibliométricos são essenciais para sintetizar informações e orientar pesquisas futuras (AMAECCHI *et al.*, 2015).

Dessa forma, a análise bibliométrica configura-se como importante mecanismo para identificar o avanço das pesquisas sobre a aplicação de ácidos orgânicos na aquicultura. A bibliometria e a cienciometria são ferramentas essenciais para compreender a estrutura social e intelectual da ciência. Apesar do uso de estatística, a construção de indicadores robustos é acessível e pode ser facilitada por softwares específicos. Essas técnicas permitem mapear competências acadêmicas, identificar temas emergentes e fortalecer a conexão entre universidades e o mercado. Para maximizar o potencial, é fundamental que pesquisadores aprimorem a habilidade de transformar dados em informações estratégicas, incentivando novos estudos que desmistifiquem e ampliem o uso dessas metodologias no avanço científico (CAMARGO & BARBOSA, 2018).

A produção de uma revisão sistemática também possibilita reunir, avaliar e sintetizar evidências científicas sobre o tema, favorecendo a compreensão dos resultados obtidos. Um exemplo disso é o estudo realizado por meio de testes *in vitro* sobre a eficácia dos ácidos orgânicos de cadeia média (AOCM), como os ácidos hexanoico, octanoico e decanoico, popularmente conhecidos como caproico, caprílico e cáprico, respectivamente, foi avaliada em testes *in vitro*, demonstrando capacidade de inibir o crescimento e exercer efeito bactericida sobre *Vibrio harveyi* e *Vibrio anguillarum* (ROSSI *et al.*, 2021). Espécies como truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) também foram beneficiadas com o efeito bactericida de uma combinação de ácidos fórmico, propiônico e láctico, vendido comercialmente. Os achados do teste *in vivo* indicaram aumento na resistência dos animais submetidos ao desafio por *Aeromonas salmonicida*, evidenciados pelo aumento na taxa de sobrevivência dos peixes (MENANTEAU-LEDOUBLE *et al.*, 2017).

Além do efeito bactericida e da maior resistência conferida aos peixes, os ácidos orgânicos, em combinação ou de forma isolada, também promoveram parâmetros hematobioquímicos, resposta imune, atividade de enzimas hepáticas e atividade de enzimas digestivas em reprodutores de tilápia vermelha (EL-SAYED *et al.*, 2025), além de influenciarem positivamente os parâmetros zootécnicos, sanitários e de sobrevivência de tilápias-do-Nilo (LIBANORI *et al.*, 2021). A aplicação desses compostos no processamento de filés de tilápia, também se confirmou como tecnologia de grande potencial, tanto por meio da nebulização quanto pela imersão, impactando minimamente a aparência e melhorando a qualidade dos filés (PIEROZAN, 2024).

Espécies monogástricas como a carpa comum e a tilápia, podem ser beneficiadas com a acidificação da dieta, uma vez que ela promove a produção de enzimas digestivas ou facilita a ativação de enzimas já existentes, melhorando a utilização dos nutrientes. Esse mecanismo favorece a digestão, a absorção de minerais e o crescimento. O pH dietético tem maior influência sobre a digestão do que o tipo de ácido utilizado. A acidificação contínua da dieta pode estabilizar o pH gástrico, otimizando a utilização dos nutrientes e reduzindo infecções bacterianas. Em alevinos de tilápias, por exemplo, um pH dietético ótimo de 4,6 melhora a atratividade da ração e a eficiência alimentar, contribuindo para maior sobrevivência e melhor desempenho produtivo (FABAY *et al.*, 2022).

A aquicultura, sendo um potencial causador de poluição ambiental, tem atraído a atenção de agências reguladoras, que estabeleceram padrões para os efluentes liberados durante a criação de peixes, crustáceos e moluscos. É essencial que esses efluentes sejam devidamente tratados para minimizar os impactos ambientais adversos. Destaca-se que atualmente existem tratamentos eficazes e economicamente viáveis, baseados em princípios da biotecnologia, tecnologia de membranas, química verde e disciplinas correlatas (VENUGOPAL *et al.*, 2021).

Já está consolidado que os ácidos orgânicos podem como ser utilizados como alternativa aos antibióticos (NEVES *et al.*, 2021), podem ainda contribuir para a mitigação de resíduos na água circundante (JAMIS *et al.*, 2018) e possibilitar o reaproveitamento de resíduos e subprodutos da indústria pesqueira (DAVIES *et al.*, 2020). Ao identificar tendências científicas, lacunas no conhecimento e abordagens inovadoras, essa metodologia contribui para embasar decisões estratégicas na formulação de dietas, no desenvolvimento de tecnologias sanitizantes e na adoção de práticas

sustentáveis na piscicultura. Dessa forma, este estudo se justifica pela necessidade de consolidar o conhecimento existente e destacar a importância dos ácidos orgânicos tanto no âmbito produtivo quanto no ensino de Química Verde, promovendo uma abordagem multidisciplinar para o desenvolvimento sustentável da aquicultura.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Patógenos em Peixes

A demanda por pescado cresce mundialmente, entretanto, a aquicultura global enfrenta sérios problemas econômicos e declínio da produtividade, frequentemente associado a infecções por patógenos, parasitas e pragas (Figura 01), resultantes da violação de normas de biossegurança e falta de conhecimento em imunologia de peixes. São observados prejuízos econômicos aos produtores, pescadores, comerciantes, peixeiros e eventuais riscos aos consumidores. É necessário o conhecimento desses riscos por parte dos profissionais que atuam na cadeia do pescado para produzir alimento de qualidade e livre de organismos indesejáveis (CAVALINE *et al.*, 2022).

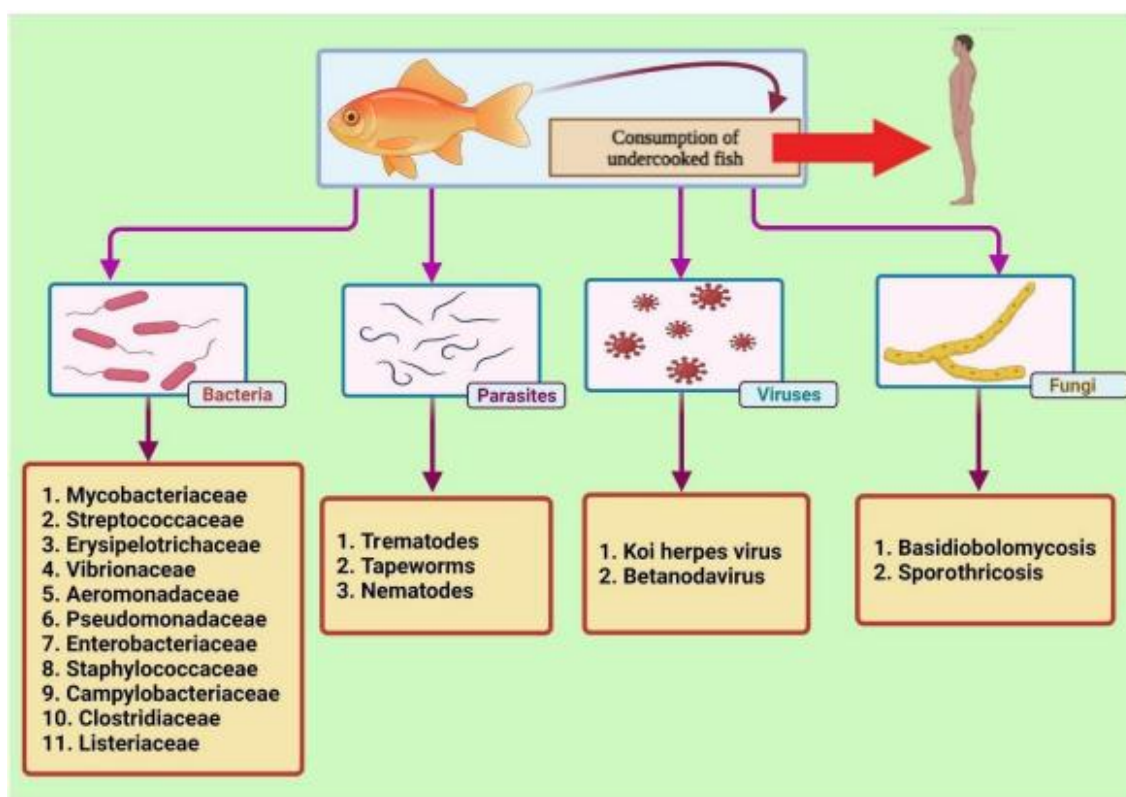


Figura 1. Uma ampla classificação de agentes zoonóticos de peixes, incluindo bactérias, parasitas, vírus e fungos (Fonte: ZIARATI *et al.*, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01652176.2022.2080298>).

São conhecidas variadas bactérias infecciosas para peixes, classificadas em Gram-positivos (famílias *Mycobacteriaceae*, *Streptococcaceae*, *Erysipelothricaceae*) e Gram-negativos (famílias *Aeromonadaceae*, *Vibrionaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae* e *Hafniaceae*) classificação pela cor que adquirem após aplicação de um processo químico denominado coloração de Gram (ZIARATI *et al.*, 2022).

Os peixes são frequentemente contaminados com patógenos transmissíveis pela alimentação, sendo o manejo e o processamento de espécies infectadas meios de contaminação às instalações, equipamentos e produtos. Os riscos à saúde humana pelo consumo de alimentos contaminados aumentam ainda mais com a popularização do consumo de pescados crus, já que o tratamento térmico antes do consumo é excluído. Nesse contexto, a observância aos padrões de segurança e boas práticas de higiene são formas eficientes para inibir contaminação de peixes e produtos cárneos à base de peixe (NOVOSLAVSKIJ *et al.*, 2016).

A contaminação de peixes em ambientes aquáticos é acentuada por altas temperaturas da água, elevado nível de material orgânico, baixo oxigênio e estresse, favorecendo a infecção de peixes vulneráveis que apresentam baixo estado imunológico, densidades de estocagem muito altas e variação de tamanhos. A exemplo da tilápia, observou-se ser uma espécie sensível a diversas bactérias comuns, divididas em quatro gêneros (*Vibrio*, *Aeromonas*, *Pseudomonas* e *Streptococcus*): *S. agalactiae*, *S. disgalactias* e *S. iniae*, espécies móveis de *Aeromonas*, *F. Ribeiro*, *F. columnare* e *V. vulnificus* pv. *piscis* e algumas outras espécies de *Vibrio*. Acrescenta-se doenças emergentes de tilápia como *edwardsiellosis* através de *E. ictaluri* e *E. tarda*, bem como doenças por *A. Schubertii* (HAENEN *et al.*, 2023).

A transmissão de um patógeno dentro de uma população pode ser afetada por coinfeções, que representam infecções de um hospedeiro por dois ou mais patógenos geneticamente distintos. As respostas imunes do hospedeiro, o desfecho clínico, as chances de sobrevivência do hospedeiro e a eficácia do controle da doença podem ser impactados pela coinfeção, o que tem sido associado a efeitos imunológicos. Estes incluem idade do peixe, canal de infecção, tipos celulares, dose do vírus e intervalo de tempo entre vírus coinfectantes, taxa de replicação viral e efeito citopático (OKON *et al.*, 2023).

Cestoides são tipos de platelmintos parasitários larvais da ordem *Trypanorhyncha*, causadores de prejuízos econômicos na piscicultura e riscos à saúde de peixes e

consumidores, frequentemente encontrados em músculos de espécies marinhas. A identificação desses patógenos pode ser realizada pela análise molecular e caracterização morfológica, auxiliando no tratamento e prevenção das infecções. Para garantir boa higiene alimentar, os cestóides de tripanorríquio devem ser removidos, uma vez que os peixes parasitados são geralmente rejeitados pelos consumidores pela aparência repulsiva, risco de infecção acidental e reações alérgicas pela ingestão de carne de peixe crua infectada (MORSY *et al.*, 2022).

A *Klebsiella pneumoniae* não é normalmente considerada um patógeno humano grave, mas é responsável por surtos de doenças e mortalidade em massa em tilápia-do-Nilo. Por ser uma bactéria amplamente distribuída na natureza, sendo encontrada em diferentes ambientes, incluindo solo e corpos d'água naturais, são fundamentais análises microbiológicas e um diagnóstico adequado em peixes, considerando que pode portar genes resistentes a antibióticos, oriundos de outras bactérias ambientais (SILVA *et al.*, 2022).

A infecção por bactérias da família *Enterobacteriaceae*, como a *Salmonella*, pode não apresentar riscos para o animal hospedeiro, mas causa grave gastroenterite em humanos. Em análise de tilápias cultivadas em gaiolas, observou-se altos níveis de coliformes fecais, de *Escherichia coli* e de *Salmonella* em tilápia-vermelha e na água de cultivo. A contaminação por *Salmonella* foi associada a patos criados próximos ao campo de cultivo. Boas práticas na criação de animais, biossegurança agrícola eficaz e intervenções de tratamento de água podem ser úteis para reduzir os níveis ambientais de contaminação bacteriana (THAOTUMPITAK *et al.*, 2022).

Outra bactéria responsável por perdas na criação de tilápia-do-Nilo é a *Francisella orientalis*, causadora da franciselose, doença granulomatosa endêmica de início agudo a crônico, causando perda do apetite, palidez, comportamento letárgico e natação irregular. Um estudo analisou a inativação desse patógeno pela suplementação alimentar composta por uma mistura de ácidos orgânicos (Bacti-nil®Aqua) e foi relatada a comprovação dos efeitos inibitórios bacterianos do composto, sem prejuízos à conversão alimentar e parâmetros imunológicos (SILVA *et al.*, 2023).

Vacinas são métodos eficazes para a inoculação de patógenos, mas pode ser um processo demorado e caro, tornando a atividade produtora menos lucrativa. As vacinas comerciais atuais apresentam variação quanto ao efeito protetor desejado e pesquisadores têm se empenhado no progresso e desenvolvimento de formas seguras, eficientes e

econômicas, sem prejuízos ao produtor e à segurança alimentar do consumidor, obtendo bons resultados com utilização de imunoestimulantes, adjuvantes e transportadores de vacinas (MONDAL & THOMAS, 2022).

Antibióticos são utilizados na piscicultura, mas há um obstáculo devido ao surgimento de genes de resistência a antibióticos (ARGs) relacionados a peixes. Análise realizada em quatro sistemas de maricultura, avaliou três espécies aquícolas quanto aos genes de resistência a antibióticos: garoupa híbrida, camarão-branco-do-pacífico e algas e nenhum antibiótico foi usado durante o período de incubação e cultura. Dez garoupas híbridas foram coletadas aleatoriamente de cada sistema e foram detectados treze ARGs, dos quais nove no intestino e pele mucosa e seis nos filamentos branquiais. Hospedeiros potenciais desses genes são patógenos como *Photobacterium* e *Anoxybacillus* (ZHANG *et al.*, 2022a).

A busca por alternativas mais econômicas e naturais para inoculação de patógenos apresenta-se como uma constante na piscicultura e estudos demonstraram a eficácia de óleos essenciais como antibacterianos. Com foco em desenvolver produtos antibacterianos, utilizou-se óleo de louro (*Laurus nobilis*) e nanoemulsão de óleo de louro. Os resultados confirmam a eficiência sanitizante desse óleo essencial e indicam a utilização da emulsão como conservante antimicrobiano alimentar natural (ÖZOGUL *et al.*, 2022).

Os avanços biotecnológicos permitiram a redução de riscos e surtos de doenças, atenuando prejuízos financeiros e doenças veiculadas por alimentos (DVAs), entretanto, necessita-se investir avultadamente em educação de segurança alimentar para consumidores, rigor na fiscalização e rigor na legislação atuante, bem como treinamento e práticas de boa higiene a fornecedores, funcionários e proprietários que atuam na indústria alimentícia (KISSMANN *et al.*, 2022).

2.2 Ácidos Orgânicos como antimicrobianos

Os ácidos são compostos capazes de fornecer íons de hidrogênio (H^+) em solução aquosa, sendo ácidos fracos aqueles que não estão completamente dissociados e ácidos fortes aqueles que sofrem completa dissociação. Os ácidos orgânicos, na maioria fracos, têm histórico de serem utilizados como aditivos alimentares e conservantes para prevenir a deterioração dos alimentos, caracterizados por diminuir o pH do meio (RICKE, 2003).

Ácidos orgânicos são compostos por um ácido carboxílico orgânico, como aminoácidos e ácidos graxos, com estrutura $R-COOH$. Cientificamente reconhecidos

como fonte preventiva de doenças infecciosas, os ácidos orgânicos podem ser boa alternativa aos antibióticos. O potencial dos ácidos orgânicos poderá ser avançado com o uso da ciência e tecnologias modernas em nível molecular, biotecnológico e nanotecnológico, investigando dose, duração, concentração e mecanismo exato de ação para autenticar e ampliar os usos benéficos (KHAN *et al.*, 2022).

A resistência antimicrobiana apresenta-se como ameaça à saúde pública mundial, sendo que antibióticos e outros agentes tornaram-se ineficazes, dificultando o tratamento de infecções bacterianas. A atividade antimicrobiana de líquidos iônicos e sais orgânicos são alvos de pesquisas, pois inibem o crescimento de várias espécies bacterianas e fúngicas por causa das propriedades ajustáveis como mudanças de cátion-ânion na estrutura. Nesse contexto, os ácidos orgânicos são grupos de compostos que podem ser explorados como potenciais aplicações contra a resistência antimicrobiana (COSTA *et al.*, 2022).

O ácido peracético tem forte capacidade de oxidação, boa capacidade bactericida e causa pouca poluição secundária ao meio ambiente. No entanto, é facilmente decomposto, sendo necessária atenção especial ao armazenamento. Em aplicações práticas, deve ser considerado tempo e dosagem de aplicação para que seja eficaz na desinfecção (ZHANG *et al.*, 2022b).

A inibição da perda de qualidade em verdelho resfriado (*Micromesistius poutassou*), capturados perto da costa atlântica galega, também foi observada. Foi utilizada uma mistura de ácidos orgânicos naturais contendo ácido ascórbico, cítrico e láctico, distribuídos em duas etapas. A primeira foi a aplicação em meio aquoso, por imersão, a segunda foi incluída no gelo empregado como sistema de refrigeração. Foi obtida uma inibição parcial relacionada à atividade microbiológica e danos à hidrólise e oxidação, levando ao aumento do tempo de vida de prateleira quando comparado aos peixes controle (SANJUÁS-REY *et al.*, 2011).

A propriedade antimicrobiana dos ácidos orgânicos foi avaliada em dourada, durante evisceração. A análise foi realizada com adição de ácido láctico, ácido málico, ácido cítrico e ácido acético em água ativada por plasma (PAW), retardando o crescimento de microrganismo deteriorante e aumentando a validade de cinco a oito dias. Esse resultado é de grande importância para o mercado, pois fornece soluções tecnológicas para o manejo do pescado a fim de melhorar a qualidade, a vida de prateleira

e reduzir as perdas de alimento desde a colheita até o nível do consumidor (NTZIMANI *et al.*, 2022).

A descontaminação da espécie *Pangasius* (*Pangasius hypophthalmus*) pela lavagem de água com ácido peracético (PAA) foi relatada em 2015 em pesquisa que investigou o efeito sanitizante da água clorada e água de PAA. O resultado foi a redução de *Escherichia coli*, com melhor desempenho para a água de PAA, e foi explicado pela aplicação inadequada do cloro como a concentração de cloro, pH e matéria orgânica da água clorada. A água de PAA pode ser usada por mais tempo (ou em mais lotes), pois a eficácia é menos influenciada pelo acúmulo de matéria orgânica durante o tratamento (THI *et al.*, 2015).

O ácido citado acima apresenta forte potencial de inativação para bactérias, vírus, fungos e esporos bacterianos, como observado em experimento com noventa juvenis de dourada (*Sparus aurata*), desenvolvido no município espanhol de Las Palmas de Gran Canaria, foi avaliado a resposta sistêmica da dourada após exposição ao ácido peracético. A espécie apresentou adaptação de defesa da mucosa, resposta sistêmica e recuperação rápida (24 horas) no nível de estresse, ao ser exposta ao ácido de concentração 0,001% (ACOSTA *et al.*, 2022).

A eficácia antimicrobiana dos ácidos láctico e peracético, também foi relatada em estudo realizado recentemente, com foco na redução microbiana de *S. Typhimurium*, *E. coli* e *S. aureus*. Os resultados demonstraram uma aplicação dos ácidos peracético e láctico, tanto por meio da nebulização quanto pela imersão, como uma tecnologia de grande potencial para o processamento de filés de tilápia, impactando minimamente na aparência e melhorando a qualidade dos filés (PIEROZAN, 2024).

2.3 Ácidos Orgânicos na Aquicultura: Evidências de testes *in vivo*

A eficácia de uma mistura de ácidos orgânicos de cadeia curta (AOCC) e média (AOCM) na resistência à franciselose foi avaliada em tilápia-do-Nilo. Os resultados indicaram que a combinação de ácido caprílico e cáprico (10%), ácido propiônico, sórbico e fórmico (27%) e ácido silícico (63%), demonstrou efeito bacteriostático e bactericida, além de melhorar a utilização de nutrientes, fortalecer parâmetros imunológicos e aumentar a resistência dos peixes à infecção por *Francisella orientalis*. A microbiota intestinal dos grupos tratados manteve a diversidade e composição, sugerindo efeito protetor do produto, mesmo após o desafio infeccioso (SILVA *et al.*, 2023).

Espécies como o camarão-branco-do-Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) também apresentaram benefícios com a suplementação de ácidos orgânicos. A inclusão desses compostos microencapsulados na dieta resultou em melhor conversão alimentar, maior retenção de proteína e resposta imunológica aprimorada. A sobrevivência também foi significativamente maior, e os animais alimentados com a dieta suplementada apresentaram menor mortalidade quando desafiados com *Vibrio parahaemolyticus* patogênico, em comparação com o grupo controle (CHOWDHURY *et al.*, 2021).

A suplementação com ácidos orgânicos em alevinos de carpa rohu (*Labeo rohita*), uma espécie amplamente cultivada na Ásia, promoveu melhorias significativas no crescimento e no estado nutricional. Os resultados indicaram aumento no crescimento, na digestibilidade de nutrientes e na absorção de minerais, superiores aos observados com a suplementação do fosfato bicálcico. A dieta contendo a combinação de ácidos orgânicos resultou em maiores teores de gordura bruta e proteína bruta, além de promover melhoria na composição muscular dos animais (JAVID *et al.*, 2021).

A ação do suplemento alimentar Biotronic® Top3 na dieta de barramundi (*Lates calcarifer*), em doses de 0,05% a 0,2%, mostrou melhorias significativas na taxa de crescimento e conversão alimentar, especialmente com a dose de 0,2%. Os peixes alimentados com essa dose apresentaram maior atividade de enzimas digestivas (protease, lipase e lisozima), além de aumento na atividade do complemento alternativo e melhorias nos parâmetros antioxidantes, como catalase e glutathione peroxidase. A maior atividade enzimática foi apontada pelos autores como principal responsável pelo aumento no crescimento (SOTOUDEH & ESMAEILI, 2022).

Resultados semelhantes foram observados em juvenis de robalo japonês (*Lateolabrax japonicus*) alimentados com dieta suplementada com mistura acidificante (ácido cítrico, láctico e fosfórico) nas concentrações entre 1 e 5 g/Kg de ração. Melhorias foram evidentes em crescimento, enzimas digestivas, capacidade antioxidante e imunidade não específica. A análise de regressão indicou que melhores resultados foram obtidos com suplementação entre 2 e 4 g/Kg. Com base nesses achados, os autores recomendam adição de mistura acidificante à dieta do robalo japonês em concentração aproximada de 3 g/Kg (HUANG *et al.*, 2025).

Os efeitos do ácido málico dietético em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) foram examinados por meio da formulação de dietas contendo 0,25%, 0,5% e 1% de ácido. Foram avaliados desempenho de crescimento, parâmetros antioxidantes,

imunológicos e expressão gênica intestinal. Os resultados corroboram estudos anteriores, indicando que a inclusão de 0,25% de ácido málico na dieta melhora o estado antioxidante e a resposta imune dos peixes, sem comprometer o crescimento. As concentrações mais elevadas não demonstraram benefícios adicionais significativos, sugerindo que a dose ideal para trutas arco-íris é de 0,25% (YOUSEFI *et al.*, 2023).

A combinação de acidificantes, incluindo ácido fórmico, formato de amônio, ácido acético, ácido propiônico, ácido sórbico, ácido láctico, ácido cítrico foi avaliada na alimentação de juvenis de enguias americanas (*Anguilla rostrata*) em doses de 2 a 5 g/Kg de ração. A suplementação excessiva mostrou efeitos negativos no crescimento, bioquímica sérica e utilização de minerais. O nível ideal foi estimado entre 3,5–3,7 g/Kg, maximizando o ganho de peso (GP) e a conversão alimentar (ZHANG *et al.*, 2022c).

Em síntese, a aplicação desses compostos pode contribuir para a redução do uso de antibióticos, promovendo uma aquicultura mais sustentável e eficiente (KATYA *et al.*, 2018). A incorporação estratégica de ácidos orgânicos na nutrição aquícola representa uma abordagem inovadora com benefícios produtivos e ambientais, consolidando-se como uma alternativa viável para a melhoria do desempenho zootécnico e da sanidade dos organismos cultivados (LIBANORI *et al.*, 2021).

A crescente utilização de ácidos orgânicos na aquicultura evidencia seu potencial como aditivos promissores para otimizar crescimento, digestibilidade de nutrientes, imunidade e resistência a patógenos em diferentes espécies aquícolas (MATANI BOUR *et al.*, 2018). Entretanto, a eficácia dos ácidos orgânicos depende de diversos fatores, como espécie cultivada (POURMOZAFFAR *et al.*, 2019; DAVIES *et al.*, 2020), genótipo da espécie (NAYA-CATALÀ *et al.*, 2024), duração do teste de alimentação (OHTANI *et al.*, 2020; MENANTEAU-LEDOUBLE *et al.*, 2017), concentração do ácido (OMOSOWONE *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2021) e condições ambientais (BUSTI *et al.*, 2018). Dessa forma, ainda que existam estudos na literatura demonstrando a eficácia em determinadas espécies, isso não é aplicável a todas as demais espécies. Tornam-se necessários novos estudos que determinem níveis ideais de inclusão e avaliem diferentes produtos em distintas espécies, com o objetivo de maximizar a produção (REIS *et al.*, 2024; CAVALHEIRO *et al.*, 2014).

2.4 Interações entre ácidos orgânicos e outros aditivos alimentares

O Biotronic® Top3 é uma formulação composta por ácidos fórmico, propiônico e láctico, combinados com cinamaldeído e o Biomin® Permeabilizing Complex, um

complexo patenteado com efeito sinérgico. Esse complexo atua rompendo e permeabilizando a membrana externa de bactérias Gram-negativas, aumentando a suscetibilidade aos compostos presentes na mistura suplementar. Segundo Menanteau-Ledouble *et al.* (2017), o suplemento pode exercer efeito prebiótico, favorecendo a colonização do trato digestivo por bactérias do ácido lático e inibindo o crescimento de bactérias competitivas.

Os ácidos orgânicos e seus sais têm sido amplamente utilizados como aditivos em dietas animais, atuando como acidificantes nas rações. Kumar *et al.* (2017) relataram que a suplementação com uma mistura de ácido fórmico e propionato de cálcio, na proporção de 1:1 e dosagem de 1,5%, melhorou o desempenho zootécnico e os índices de saúde de peixes. Essa abordagem se apresenta como uma alternativa viável aos antibióticos promotores de crescimento (AGPs) ou ao uso profilático de antibióticos na aquicultura, promovendo práticas econômicas e sustentáveis para o cultivo de algumas espécies de carpas, como a mrigal.

Os efeitos das interações entre ácidos orgânicos (transcinâmico) e probióticos (*Bacillus subtilis*), demonstraram ser altamente benéficos para a saúde de trutas-arco-íris. A combinação desses componentes na dieta promoveu melhoria significativa na resposta imune inata, com aumento na atividade fagocítica, na atividade respiratória explosiva, na porcentagem de granulócitos e na atividade de enzimas como a mieloperoxidase e a antiprotease. Além disso, a suplementação conjunta aumentou a resistência dos peixes ao desafio patogênico com *Yersinia ruckeri*, resultando em maiores taxas de sobrevivência e elevação nos títulos de anticorpos (YILMAZ *et al.*, 2019).

As interações entre ácidos orgânicos e óleos essenciais, podem potencializar benefícios fisiológicos e imunológicos em peixes. No estudo com tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), a suplementação dietética com ácidos orgânicos, isoladamente ou em combinação com o óleo essencial *Lippia origanoides*, não afetou o crescimento e a conversão alimentar, mas melhorou a saúde intestinal, taxa de sobrevivência, absorção de nutrientes e a microbiota intestinal. Esses resultados indicam que a combinação de ácidos orgânicos com outros aditivos, como óleos essenciais, pode otimizar a resposta imune e a saúde intestinal, favorecendo a resistência dos peixes em sistemas de cultivo (ADDAM *et al.*, 2019).

A suplementação combinada do polissacarídeo β -glucano e ácidos orgânicos resultou em melhorias significativas na conversão alimentar e na eficiência lipídica da

truta arco-íris, além de reduzir a mortalidade frente à infecção por *Yersinia ruckeri* (VILLUMSEN *et al.*, 2020). No entanto, como o desenho experimental não incluiu um grupo suplementado exclusivamente com ácidos orgânicos, não foi possível determinar se os efeitos benéficos observados foram devidos exclusivamente à ação desses compostos ou a interação sinérgica com o β -glucano.

O efeito sinérgico da combinação de ácidos orgânicos e compostos idênticos aos naturais, quando microencapsulados, pode ser uma estratégia eficaz para melhorar o crescimento e a utilização da ração em trutas arco-íris em condições normais de temperatura (PELUSIO *et al.*, 2020). Essa combinação demonstrou ainda benefícios para espécies como o robalo, promovendo a modulação da microbiota intestinal e o aumento das funções anti-inflamatórias (BUSTI *et al.*, 2020).

A suplementação de protexina associada ao ácido acético também demonstrou benefícios significativos para o crescimento. Um experimento *in vitro* foi conduzido para avaliar o efeito do ácido acético sobre o número de probióticos presentes na protexina. Os resultados indicaram que a quantidade de probióticos em meio ácido aumentou significativamente em comparação ao controle. A administração combinada de ácido acético e protexina teve efeito sinérgico, promovendo melhorias tanto nas bactérias intestinais quanto nas enzimas digestivas do esturjão siberiano (ZARE *et al.*, 2021).

A combinação de ácidos orgânicos e óleos essenciais resultaram em aumento do comprimento das vilosidades e a redução de patógenos específicos, melhorando a saúde intestinal de trutas-arco-íris (HUYBEN *et al.*, 2021). Semelhantemente, Cao *et al.* (2022) observaram melhora significativa no desempenho de crescimento, disponibilidade de nutrientes e função imunológica dessa espécie. No entanto, não está claro se tais resultados positivos vieram do efeito sinérgico ou não, devido à ausência de suplementação individual de ácido orgânico e óleo essencial projetada no estudo.

O produto Biotronic® Top Liquid (BTL) é uma combinação de ácidos fórmico, propiônico e acético com a mistura Permeabilizing Complex™. A adição do permeabilizante tem a finalidade de potencializar a ação antimicrobiana dos ácidos e melhorar o GP, resultados encontrados com a adição desse produto na alimentação de tilápias-do-Nilo, que apresentou maior sobrevivência a desafio patogênico e melhor desempenho zootécnico para os grupos com doses crescentes do aditivo (BHUJEL *et al.* (2022).

NAYA-CATALÀ *et al.* (2024) avaliaram a sinergia entre ácidos orgânicos e seus sais e a combinação de fitogênicos compostos de alho e AOCM. O fitogênico moldou principalmente o transcriptoma dos peixes melhorados geneticamente enquanto os ácidos/sal orgânico alterou a microbiota intestinal dos peixes referência. Essas evidências demonstraram que o modo de ação específico dos aditivos sobre a transcriptômica do hospedeiro e a microbiota intestinal foi altamente dependente do fundo genético.

A suplementação dietética de ácido láctico combinado com ácido succínico teve impactos positivos e apresentaram melhoras quando comparados ao controle, entretanto, a combinação do ácido succínico em sinergia com as bactérias lácticas do ácido láctico, foi mais eficaz em melhorar a microbiota intestinal e a atividade das enzimas digestivas, o que levou a melhor desempenho no crescimento. Os resultados da pesquisa mostraram claramente os efeitos sinérgicos de ácidos orgânicos e probióticos nas características zootécnicas, parâmetros imunológicos e resistência a doenças (FARSANI *et al.*, 2024).

2.5 Principais regulamentações para o uso de ácidos orgânicos na produção animal

A saúde dos animais aquáticos é prioridade para a Organização Mundial de Saúde Animal (WOAH), que realiza monitoramentos constantes para detectar surtos e atualizar normas e diretrizes. Essa ação é de extrema importância, considerando que os animais aquáticos representam 9% da biomassa animal global estimada. Em 2024, a lista de doenças incluiu 31 enfermidades relacionadas a animais aquáticos e, duas outras doenças de crustáceos, consideradas emergentes, enquadram-se na obrigação legal de notificação. Membros da organização que desejam declarar seu país livre de doenças, devem apresentar evidências documentais conforme o Código Aquático. Assim, a WOAH garante a segurança no comércio internacional de produtos de origem animal, protegendo a saúde pública e a sanidade animal (WOAH, 2024).

Alguns processos tecnológicos contribuem para a segurança alimentar de produtos à base de peixes. Métodos como fermentação, defumação, salga e acidificação, podem inibir o crescimento de **bactérias** produtoras de histamina, que **podem** causar reações alérgicas em pessoas sensíveis, mas as interações são complexas e variáveis. A acidez e o teor de sal, por exemplo, podem tanto reduzir quanto aumentar a produção de histamina, dependendo das condições. Para garantir a segurança alimentar, é essencial validar cientificamente os parâmetros de controle para cada processo e produto. Além disso, a

eficácia desses tratamentos depende do resfriamento rápido e da manutenção da temperatura refrigerada do peixe desde a captura até o consumo (FAO, 2003).

De acordo com o Regulamento (CE) nº 429/2008 da Comissão Europeia, que estabelece as regras de execução do Regulamento (CE) nº 1831/2003 no que se refere à preparação, apresentação de pedidos e avaliação de aditivos alimentares, o uso de ácidos orgânicos como suplementos dietéticos na dieta animal deve garantir segurança na aplicação tanto para os animais quanto para os consumidores humanos. Os aditivos alimentares, incluindo os ácidos orgânicos, devem passar por estudos rigorosos de segurança antes de serem autorizados para uso. O Anexo II, Seção IV (4.2.3.1) do regulamento aborda especificamente os estudos relacionados à segurança de aditivos em animais-alvo, indicando que, quando possível, os testes devem ser realizados com doses até 100 vezes superiores às doses normais, a fim de verificar a segurança em condições extremas. A concentração do aditivo deve ser ajustada, mantendo a proporção de substâncias ativas em relação aos excipientes (EUR-Lex, 2021).

No contexto da produção animal, a União Europeia tem promovido medidas para reduzir a utilização de agentes antimicrobianos, visando mitigar riscos associados à resistência microbiana. Uma das alternativas mais promissoras é o uso de ácidos orgânicos como agentes antimicrobianos naturais. Estudos demonstram que a suplementação desses compostos na dieta de animais produtores de alimentos pode reduzir a prevalência e a disseminação de bactérias zoonóticas transmitidas por alimentos, como *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. e *Escherichia coli*. Estudos limitados indicam benefícios adicionais, como a prevenção da enterite necrótica em frangos, a redução da diarreia em porcos e a diminuição da mortalidade em peixes, reforçando o potencial dos ácidos orgânicos como agentes de controle microbiológico na produção animal (EMA, 2014, citado por EFSA, 2014).

O Regulamento (UE) n.º 231/2012 da Comissão, de 9 de março de 2012, estabelece as especificações para aditivos alimentares, incluindo os ácidos orgânicos frequentemente utilizados na indústria de alimentos e na aquicultura, como o ácido málico (E 296), o ácido fumárico (E 297), ácido ascórbico (E 300), ácido benzoico (E 210), ácido acético (E 260) e ácido láctico (E 270). Esse documento apresenta especificações regulamentadas para o uso de aditivos alimentares, abrangendo a definição, composição química, pureza e limites de contaminantes.

De acordo com as regulamentações e práticas recomendadas, o ácido fórmico por exemplo, pode ser utilizado como conservante em silagem de forragem de feno em quantidade que não exceda 2,25% da silagem em base de peso seco, ou 0,45% quando cortada diretamente. Conforme critérios o ácido fórmico pode ser utilizado em rações de suínos e aves em concentrações de até 1,2% da ração completa. Esta dose máxima foi estabelecida para garantir que a adição do ácido não prejudique a saúde dos animais e a qualidade da ração. O ácido fórmico utilizado deve ter pureza mínima de 85%, e a aplicação deve ser realizada de forma uniforme e bem misturada na ração. A observância dessas concentrações assegura o uso seguro e eficaz do ácido fórmico em aquicultura (U.S. FDA, 2024).

O ácido cítrico, em condições de 15.000 mg/Kg de alimento completo e 5.000 mg/L de água para beber, foi considerada segura para as espécies-alvo e para o consumidor, sem risco ambiental associado ao seu uso na nutrição animal. No entanto, a qualidade dos dados disponíveis não permite determinar uma margem de segurança, e o ácido cítrico deve ser considerado perigoso para os trabalhadores pela exposição cutânea, ocular, mucosa ou por inalação. Embora amplamente reconhecido como conservante alimentar, sua eficácia como conservante em alimentos para animais e água não foi suficientemente comprovada, especialmente em materiais com umidade $\leq 12\%$ (EFSA, 2014).

As Autoridades Europeias para Segurança dos Alimentos (EFSA) avaliaram a utilização de ácido láctico e acético através do Painel de Riscos Biológicos da EFSA (Painel BIOHAZ), que emitem parecer científico de aditivos alimentares em termos de segurança toxicológica, eficácia e impacto ambiental. Ambos compostos, quando utilizados conforme as especificações do Regulamento (UE) n.º 231/2012, não levantam preocupações de segurança toxicológica. O regulamento estabelece critérios rigorosos para pureza e limites de contaminantes em aditivos alimentares, incluindo cloreto, sulfato, ferro, arsênico, chumbo e mercúrio, os quais devem ser mantidos nos níveis extremamente baixos para garantir a segurança do produto. Por exemplo, o cloreto não pode ultrapassar 0,2% e o mercúrio deve ser inferior a 1 mg/Kg. Para o ácido acético, os limites incluem resíduo não volátil não superior a 100 mg/Kg e presença de substâncias oxidáveis, como ácido fórmico e formatos, que devem ser inferiores a 1.000 mg/Kg, expressos como ácido fórmico. Outros parâmetros, como arsênico, mercúrio e chumbo,

têm limites rigorosos que não podem exceder, respectivamente, 1, 1 e 0,5 mg/Kg, respectivamente.

Em termos de eficácia no controle de patógenos, a pulverização de ácido láctico em carcaças de porco pré-resfriadas mostrou-se eficaz em comparação ao controle, embora não tenha sido possível determinar se é mais eficaz do que a água. A imersão de cortes de carne pós-resfriamento em ácido láctico foi significativamente mais eficaz do que a água. Por outro lado, a eficácia do ácido acético não foi conclusivamente estabelecida, mas os tratamentos com ácido acético (2-4%) também não apresentaram preocupações de segurança. Não há evidências de resistência cruzada com antimicrobianos terapêuticos, desde que boas práticas de higiene sejam seguidas, e a liberação dos ácidos no ambiente não apresenta riscos significativos, desde que as águas residuais sejam tratadas conforme as normas locais (EFSA, 2018).

De acordo com o Código de Regulamentos Federais (CFR), publicado pelo Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos (FDA), a concentração máxima de ácido benzoico em rações completas para suínos é de 0,5%, enquanto o ácido fórmico pode ser utilizado em rações para suínos e aves em até 1,2%. Já os ácidos acético, cítrico, láctico, málico e fosfórico são reconhecidos como aditivos alimentares sem limite de concentração, desde que sigam as boas práticas de fabricação e alimentação. Esses compostos desempenham funções como acidulantes, reguladores de pH, tamponantes e conservantes, sendo o uso permitido sem restrições específicas, desde que observadas as diretrizes de segurança (FDA, 2024).

O uso de ácidos orgânicos como aditivos alimentares na produção de animais aquáticos e terrestres, seja como promotores de desempenho zootécnico, antimicrobianos ou conservantes, deve obedecer às normas estabelecidas pelos principais órgãos internacionais, a fim de garantir a eficácia no controle de patógenos e a segurança alimentar. Ao garantir que os aditivos atendam a padrões de segurança e eficácia, as regulamentações promovem a confiança no comércio internacional de produtos de origem animal. Assim, a utilização desses compostos de forma controlada contribui para a sustentabilidade, segurança da produção animal e saúde pública, ao mesmo tempo que minimiza prejuízos na produção.

2.6 Ácidos orgânicos na aquicultura e sua relação com os princípios da Química Verde no Ensino Médio

A elaboração da matriz curricular nas escolas baseia-se na BNCC (Base Nacional Comum Curricular), documento que define as aprendizagens essenciais que todos os estudantes da Educação Básica no Brasil devem desenvolver ao longo da sua trajetória escolar. Uma das habilidades das Ciências Naturais dentro da BNCC é analisar os benefícios e riscos à saúde e ao meio ambiente, considerando a composição, toxicidade e reatividade de materiais e produtos, além do nível de exposição, propondo soluções para o uso e descarte responsáveis (BRASIL, 2018).

Essa habilidade é amplamente explorada no ensino da Química, ciência que desempenha importante papel na formação dos estudantes do Ensino Médio, indo além da teoria e promovendo experiências práticas conectadas ao mundo real. Estratégias como a aprendizagem baseada em laboratório, resolução de problemas reais e projetos colaborativos permitem a aplicação dos conceitos químicos em contextos relevantes, enquanto simulações virtuais e abordagem de sala de aula invertida potencializam o engajamento e a compreensão. Essas metodologias não apenas fortalecem o aprendizado, mas também preparam os alunos para desafios científicos e tecnológicos, desenvolvendo habilidades críticas e inovadoras (QI *et al.*, 2024).

A matriz curricular de Química da terceira série do Ensino Médio estabelece o ensino de compostos orgânicos, como os ácidos fórmico, acético, butírico, hexanoico, octanoico e decanoico, usados na aquicultura como suplementos dietéticos. A integração de resultados científicos no contexto educacional permite aos alunos entender a aplicação prática desses compostos, promovendo a reflexão sobre soluções sustentáveis e a conscientização sobre práticas que minimizam impactos ambientais e favorecem a saúde animal. Como exemplo, estudos apontando que a suplementação desses ácidos melhora a saúde gastrointestinal, possui ação antimicrobiana e aumenta a resistência dos peixes a patógenos (MUSTAFA & AL-FARAGI, 2021).

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 4 da Agenda 2030 da ONU visa garantir educação inclusiva, equitativa e de qualidade, promovendo oportunidades de aprendizado ao longo da vida (ONU, 2015). Em consonância com essa meta, uma análise qualitativa de livros didáticos de Química do ensino médio investigou a incorporação dos princípios da Química Verde e sustentabilidade. Os resultados indicaram que esses conceitos estão presentes, tanto implicitamente (1ª e 2ª séries) quanto

explicitamente (3ª série), nas unidades de todos os livros analisados, em todas as inferências realizadas, mediante a triangulação das categorias de análise, unidades de registro e unidades de contexto (SOUSA *et al.*, 2020).

Essa área da Química (Química Verde) busca desenvolver processos menos agressivos ao meio ambiente e promover soluções sustentáveis para a sociedade tem ganhado destaque na comunidade científica, evidenciado pelo aumento expressivo de publicações entre 1990 e 2013, segundo análise quantitativa da produção científica, conduzida por Sousa-Aguiar *et al.* (2014). Periódicos de alto impacto, como *Science*, abordam o tema, além da existência de revistas especializadas, como *Green Chemistry*.

Dentre as aplicações da Química Verde, destacam-se os compostos químicos utilizados na aquicultura, um setor que enfrenta desafios sanitários e ambientais. No contexto da sustentabilidade, investiga-se o uso de substitutos para os promotores de crescimento antibióticos em rações aquáticas, sendo os ácidos orgânicos e seus respectivos sais alternativas promissoras. Nesse sentido, Ng *et al.* (2017) revisaram estratégias para tornar a aquicultura mais sustentável, atendendo à demanda por frutos do mar livres de antibióticos.

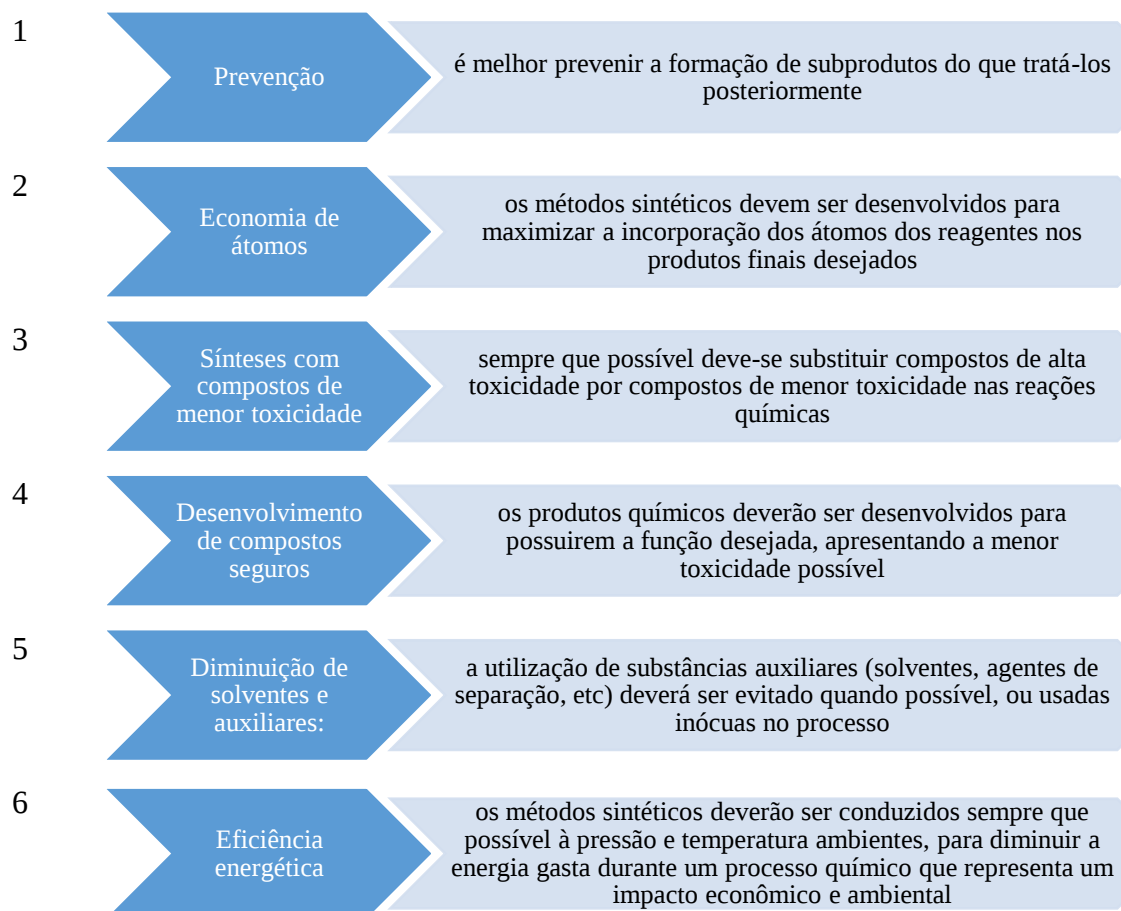
Em 1998, foi proposto pelos pesquisadores Paul T. Anastas e John C. (2000) 12 princípios para a Química Verde (Figura 1), publicados no livro “Química Verde: Teoria e Prática”. Nessa obra, os autores enfatizaram o desenvolvimento de processos e produtos menos agressivos ao meio ambiente.

A integração dos princípios da Química Verde tem otimizado o trabalho experimental, promovendo uma abordagem mais sustentável e alinhada ao desenvolvimento científico responsável. Uma revisão sistemática relatou que desde 2011, houve aumento crescente na publicação de estudos sobre sua aplicação em laboratório, especialmente por meio de relatos de boas práticas. No entanto, há uma lacuna na integração da Química Verde no ensino básico e médio, destacando a necessidade de maior atenção a esses níveis educacionais (FERK SAVEC & MLINAREC).

Estudo realizado na Grécia, conduzido no ensino médio, investigou a conscientização dos alunos sobre os princípios da Química Verde em dois projetos baseados em contextualização, abordando mudanças climáticas e reciclagem de materiais. A análise das atividades revelou a presença de quatro desses princípios, que também foram identificados nos relatórios escritos dos alunos, embora com frequência variável. Foram determinados temas específicos que refletem essa conscientização, os

quais podem orientar o desenvolvimento de materiais educacionais mais eficazes. Os resultados sugerem que a integração dos princípios da Química Verde no ensino de química contribui para a consciência ambiental dos estudantes e para a formação de cidadãos socialmente responsáveis (KOULOUGLIOTIS *et al.*, 2021).

Estudo realizado na Grécia, conduzido no ensino médio, investigou a conscientização dos alunos sobre os princípios da Química Verde em dois projetos baseados em contextualização, abordando mudanças climáticas e reciclagem de materiais. A análise das atividades revelou a presença de quatro desses princípios, que também foram identificados nos relatórios escritos dos alunos, embora com frequência variável. Foram determinados temas específicos que refletem essa conscientização, os quais podem orientar o desenvolvimento de materiais educacionais mais eficazes. Os resultados sugerem que a integração dos princípios da Química Verde no ensino de química contribui para a consciência ambiental dos estudantes e para a formação de cidadãos socialmente responsáveis (KOULOUGLIOTIS *et al.*, 2021).



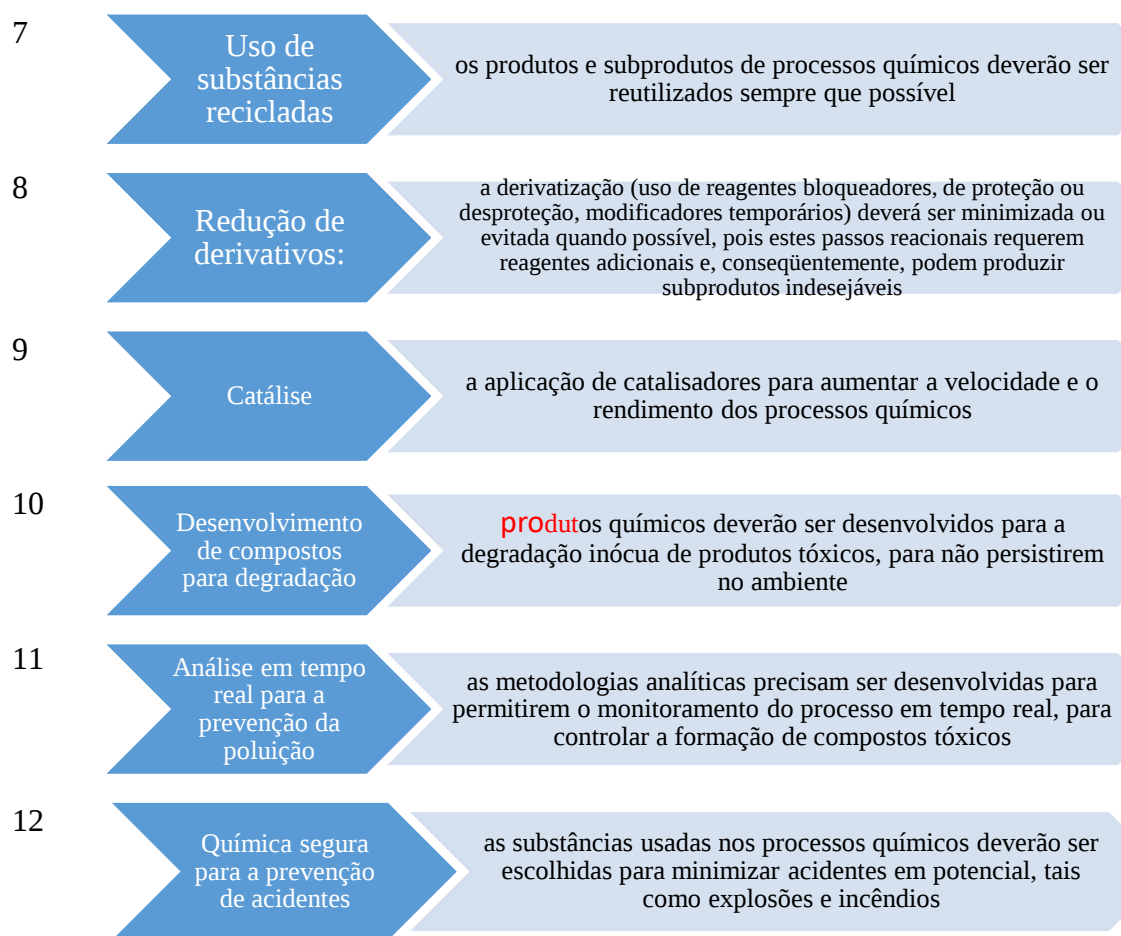


Figura 2. Os 12 princípios da Química Verde. Adaptado de: PRADO, A. G. S. Química Verde, os desafios da química do novo milênio. Química Nova, v. 26, p. 738-744, 2003. (<https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500018>)

A incorporação de temas transversais no ensino de química tem se mostrado uma estratégia eficaz para ampliar a compreensão dos estudantes sobre a relação entre ciência e sociedade. No entanto, a ética animal ainda é pouco abordada ou aparece de maneira velada nas publicações da área, indicando uma lacuna a ser preenchida. Diante da crescente abertura para a inserção de diferentes temáticas que favorecem o entendimento da química, a inclusão da ética animal no contexto educacional surge como uma abordagem pertinente e alinhada aos princípios da Química Verde, contribuindo para a formação de uma consciência científica mais crítica e sustentável (FERNANDES *et al.*, 2023).

A aquicultura moderna busca alternativas aos antimicrobianos sintéticos e os ácidos orgânicos surgem como uma alternativa promissora, desempenhando funções antimicrobianas, moduladoras da microbiota intestinal e promotoras da eficiência alimentar (RASIDI *et al.*, 2024). A discussão sobre a utilização desses compostos na aquicultura permite uma abordagem interdisciplinar no Ensino Médio, relacionando a

Química com a Biologia, a Zootecnia e a Biotecnologia. A inclusão do tema no ensino médio pode ocorrer por meio da contextualização da Química dos ácidos orgânicos, explorando estratégias sustentáveis da Química Verde e reforçando a importância da educação científica na formação de cidadãos mais conscientes.

Ao conectar o ensino de Química à aquicultura sustentável, é possível demonstrar a relevância dos conhecimentos químicos para solução de problemas reais, ampliando o interesse dos alunos e favorecendo uma aprendizagem significativa. Essa abordagem também permite que os estudantes compreendam a relação entre a ciência e o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente responsáveis, contribuindo para a formação de futuros profissionais e pesquisadores comprometidos com a sustentabilidade.

Referências bibliográficas

1. ACOSTA, F.; BRAVO, J.; MONZÓN-ATIENZA, L.; GALINDO-VILLEGAS, J.; TORRECILLAS, S.; MONTERO, D. Peracetic acid can be used as a disinfectant for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles without affecting fish welfare. *Aquaculture Reports*, v. 24, p. 101107, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101107>> Acesso em 18 fev 2025.
2. **ADDAM, K. G. S.; PEREIRA, S. A.; JESUS, G. F. A.; CARDOSO, L.; SYRACUSE, N.; LOPES, G. R.; MOURIÑO, J. L. P. Dietary organic acids blend alone or in combination with an essential oil on the survival, growth, gut/liver structure and de hemato-immunological in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*.** *Aquaculture research*, v. 50, n. 10, p. 2960-2971, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.14250>> Acesso em 04 fev. 2025.
3. Anastas, Paul T, and John C Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice* (Oxford, 2000; online edn, Oxford Academic, 31 Oct. 2023), Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/oso/9780198506980.001.0001>> Acesso 20 fev 2025.
4. Amaechi, C.V.; Reda, A.; Beddu, S.B.; Ja'e, I.A.; Huang, B.; Cassavela, J.; Oyetunji, A.K. Bibliometric review and meta-analysis for research trends on composite marine risers. In: *Structures*. Elsevier, 2025. p. 108208. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108208>> Acesso em 15 mar. 2025.
5. BARCENILLA, C.; DUCIC, M.; LÓPEZ, M.; PRIETO, M.; ÁLVAREZ-ORDÓÑEZ, A. Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*, v. 183, p. 108661, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>> Acesso em 18 fev 2025.
6. **BHUJEL, R. C.; PERERA, A. D.; TACCONI, A.; GONÇALVES, R. A. Effect of Biotronic® Top Liquid Supplementation on the Growth Performance and Disease Resistance of Nile Tilapia (*Oreochromis***

- niloticus* L.). Aquaculture Studies, v. 23, n. 1, 2022. Disponível em: <<https://www.aquast.org/abstract.php?id=549>> Acesso em 24 fev. 2025.
7. BRASIL. Ministério da Educação. Base nacional comum curricular. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.basenacionalcomum.mec.gov.br>> Acesso em 19 fev 2025.
 8. BUSTI, S.; ROSSI, B.; VOLPE, E.; CIULLI, S.; PIVA, A.; D'AMICO, F.; PARMA, L. Efeitos de ácidos orgânicos dietéticos e compostos idênticos à natureza no crescimento, parâmetros imunológicos e microbiota intestinal do robalo europeu. Relatórios científicos, v. 10, n. 1, p. 21321, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-78441-9>> Acesso em 09 fev. 2025.
 9. CAMARGO, L. S.; BARBOSA, R. R. BIBLIOMETRIA, CIENCIOMETRIA E UM POSSÍVEL CAMINHO PARA A CONSTRUÇÃO DE INDICADORES E MAPAS DA PRODUÇÃO científica. PontodeAcesso, v. 12, n. 3, p. 109-125, 2018. Disponível em: <<https://www.academia.edu/download/89205827/18030.pdf>> Acesso em 18 fev 2025.
 10. Aquaculture Nutrition, v. 2022, n. 1, p. 1068537, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2022/1068537>> Acesso em 22 fev. 2025.
 11. CAVALHEIRO, A. C. M.; CASTRO, M. L. S.; EINHARDT, M.D. S.; POUEY, J. L. O. F.; PIEDRAS, S. N.; XAVIER, E. G. Microingredientes utilizados em alimentação de peixes em cati-veiro. Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias, v. 109, n. 589-590, p. 11-20, 2014. Disponível em: <<https://spcv.pt/wp-content/uploads/2023/05/Vol109-n589-590.pdf>> Acesso 19 fev 2025.
 12. CAVALINE, R. B., AZEVEDO, P. Z., CARVALHO, G. D. Percepção de pescadores e peixeiros sobre a ocorrência de parasitos em peixes marinho em Piúma, Espírito Santo, Brasil. 2022. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/71570>> Acesso em 18 fev 2025.
 13. CHOWDHURY, M. A. K.; SONG, H.; LIU, Y.; BUNOD, J. D.; DONG, X. H. Effects of microencapsulated organic acid and their salts on growth performance, immunity, and disease resistance of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. Sustainability, v. 13, n. 14, p. 7791, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su13147791>> Acesso em 18 fev. 2021.
 14. COSTA, F. M. S.; SARAIVA, M. L. M. F. S.; PASSOS, M. L. C. Ionic liquids and organic salts with antimicrobial activity as a strategy against resistant microorganisms. Journal of Molecular Liquids, v. 368, part. B, p. 120750, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120750>> Acesso 18 fev 2025.
 15. DAVIES, S. J.; GUROY, D.; HASSAAN, M. S.; EL-AJNAF, S. M.; EL-HAROUN, E. Evaluation of co-fermented apple-pomace, molasses and formic acid generated sardine based fish silages as fishmeal substitutes in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) production. Aquaculture, v. 521, p. 735087, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735087>> Acesso em 06 fev 2025.
 16. **European Food Safety Authority (EFSA) PANEL ON ADDITIVES AND PRODUCTS OR SUBSTANCES USED IN ANIMAL FEED (FEEDAP). Scientific Opinion on the safety and efficacy of formic acid when used as a technological additive for all animal species.** EFSA Journal, v. 12, n. 10, p. 3827, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4009>> Acesso em 01 mar. 2025.
 17. **European Food Safety Authority (EFSA) PANEL ON FOOD CONTACT MATERIALS, ENZYMES AND PROCESSING AIDS (CEP) et al. Evaluation of the safety and efficacy of the organic acids**

- lactic and acetic acids to reduce microbiological surface contamination on pork carcasses and pork cuts.** Efsa Journal, v. 16, n. 12, p. e05482, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5482>> Acesso em 01 mar. 2025.
18. EL-SAYED, A. F. M.; EISSA, E. S. H.; HENDAM, B. M.; DIGHIESH, H. S.; ABD ELNABI, H. E.; ABD EL-AZIZ, Y. M.; GHANEM, S. F. Dietary organic acid blend modulates hemato-immunological parameters, digestive and reproductive performances in red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) broodstock. Fish Physiology and Biochemistry, v. 51, n. 1, p. 1-16, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10695-025-01459-1>> Acesso em 19 mar. 2025.
 19. EUR-LEX. Regulamento (CE) nº 429/2008 da Comissão, de 25 de abril de 2008, relativo às regras de execução do Regulamento (CE) nº 1831/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho no que se refere à preparação e apresentação de pedidos e à avaliação e autorização de aditivos destinados à alimentação animal. Jornal Oficial da União Europeia (JO L 133 de 22.05.2008, p. 1). Alterado por: [27 mar. 2021]. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/reg/2008/429/2021-03-27>>. Acesso em: 1 mar. 2025.
 20. FABAY, R. V.; SERRANO JR, A. E.; ALEJOS, M. S.; FABAY, J. V. Effects of dietary acidification and acid source on fish growth and feed efficiency. World Academy of Sciences Journal, v. 4, n. 3, p. 1-15, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3892/wasj.2022.156>> Acesso em 17 fev. 2025.
 21. FAO. CODEX ALIMENTARIUS: Code of practice for fish and fishery products (CXC 52-2003). Rome: FAO, 2003. Disponível em: < <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/all-standards/en/>>. Acesso em: 01 mar. 2025.
 22. **FARSANI, M. N.; AHANI, S.; AHANI, S.; GHAFARIFARSANI, H. Interactive effects of dietary probiotic and succinic acid on the growth performance, digestive enzyme activities, immunomodulation, antioxidative capacity, and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles.** Annals of Animal Science, v. 24, n. 4, p. 1237-1249, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0036>> Acesso em 28 fev. 2025.
 23. FDA – U.S. Food and Drug Administration (2024). Code of Federal Regulations, Title 21, Part 573 – Food Additives Permitted in Feed and Drinking Water of Animals. Disponível em: <<https://www.govinfo.gov/app/collection/cfr/2024/title21/chapterI/subchapterE/part573/subpartB>> Acesso em 02 mar. 2025.
 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/items/06690fd0-d133-424c-9673-1849e414543d>> Acesso em 07 mar. 2025.
 25. FERK SAVEC, V.; MLINAREC, K. Experimental work in science education from green chemistry perspectives: A systematic literature review using PRISMA. Sustainability, v. 13, n. 23, p. 12977, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su132312977>> Acesso em 19 fev 2025.
 26. FERNANDES, K. G.; DIAS-SILVA, G.; FREITAS-REIS, I.; SOUSA, R. A. Studies in chemistry education under the perspective of the animal issue: a review on the international literature. Research, Society and Development, v. 12, n. 4, p. e11512440995-e11512440995, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40995>> Acesso em 19 fev 2025.
 27. HAENEN, O. L.; DONG, H. T.; HOAI, T. D. CRUMLISH, M.; KARUNASAGAR, I.; BARKHAM, T.; BONDAD-REANTASO, M. G. Bacterial diseases of tilapia, their

- zoonotic potential and risk of antimicrobial resistance. *Reviews in Aquaculture*, v. 15, p. 154-185, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/raq.12743>> Acesso em 18 fev. 2025.
28. **HUYBEN, D.; CHIASSON, M.; LUMSDEN, J. S.; PHAM, P. H.; CHOWDHURY, M. A. K. Dietary microencapsulated blend of organic acids and plant essential oils affects intestinal morphology and microbiome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).** *Microorganisms*, v. 9, n. 10, p. 2063, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/microorganisms9102063>> Acesso em 22 fev. 2025.
 29. HUANG, Z.; YE, Y.; XU, A.; LI, Z.; WANG, Z. Dietary supplementation with an acidifier blend (citric, lactic, and phosphoric acids) influences growth, digestive enzymes, and blood chemistry of juvenile Japanese sea-bass (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture international*, p. 1-14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00703-8>> Acesso em 18 fev 2025.
 30. JAMIS, J.O.; TUMBOKON, B.L.M.; CAIGOY, J.C.C.; BUNDA, M.G.B.; SERRANO, A.J. Efeitos de vinagres e acetato de sódio no desempenho de crescimento do camarão branco do Pacífico, *Penaeus vannamei*. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, v. 70, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.46989/001c.20929>> Acesso em 25 de jan. 2025.
 31. JAVID, I.; FATIMA, M.; SHAH, S. Z. H.; AFZAL, M. A comparison of the effect of organic acids and dicalcium phosphate supplementation on phosphorus bioavailability, growth performance and digestive enzyme activities of Labeo rohita fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, v. 27, n. 1, p. 217-224, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/anu.13179>> Acesso em 18 fev 2025.
 32. KATYA, K.; PARK, G.; BHARADWAJ, A. S.; BROWDY, C. L.; VAZQUEZ-ANON, M.; BAI, S. C. Organic acids blend as dietary antibiotic replacer in marine fish olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Research*, v. 49, n. 8, p. 2861-2868, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.13749>> Acesso em 12 fev 2025
 33. KHAN, R. U.; NAZ, S.; RAZIQ, F.; QUDRATULLAH, Q.; KHAN, N. A.; LAUDADIO, V.; RAGNI, M. Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 22, p. 32594-32604, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-022-19241-8>> Acesso em 18 fev 2025.
 34. KISSMANN, K. E.; GOTTARDO, F. M.; SILVA, R.; DAROIT, L.; SANTOS, L. R. D.; RODRIGUES, L. B. Percepção de consumidores sobre doenças veiculadas por alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 25, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/19816723.12321>> Acesso em 18 fev 2025.
 35. KOULOGLIOTIS, D.; ANTONOGLIOU, L.; SALTA, K. Probing Greek secondary school students' awareness of green chemistry principles infused in context-based projects related to socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, v. 43, n. 2, p. 298-313, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1867327>> Acesso em 19 fev 2025.
 36. **KUMAR, P.; JAIN, K. K.; SARDAR, P.; SAHU, N. P.; GUPTA, S. Dietary supplementation of acidifier: effect on growth performance and haemato-biochemical parameters in the diet of *Cirrhinus mrigala* juvenile.** *Aquaculture international*, v. 25, p. 2101-2116, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-017-0176-4>> Acesso em 25 jan. 2025.
 37. LIBANORI, M. C. M.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S. A.; LOPES, G. R.; OWATARI, M. S.; SOLIGO, T. A.; MOURIÑO, J. L. P. Dietary supplementation with benzoic

- organic acid improves the growth performance and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after challenge with *Streptococcus agalactiae* (Group B). *Aquaculture*, v. 545, p. 737204, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737204>> Acesso em 11 fev. 2025.
38. MATANI BOUR, H.A.; ESMAEILI, N.; ABEDIAN KENARI, A. Desempenho de crescimento, composição muscular e hepática, características sanguíneas, digestibilidade e bactérias intestinais de juvenis de beluga (*Huso huso*) alimentados com diferentes níveis de farelo de soja e ácido láctico. *Aquaculture nutrition*, v. 24, n. 4, p. 1361-1368, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/anu.12673>> Acesso em 27 jan. 2025.
 39. MENANTEAU-LEDOUBLE, S.; KRAUSS, I.; GONCALVES, R. A.; WEBER, B.; SANTOS, G. A.; EL-MATBOULI, M. Antimicrobial effect of the Biotronic® Top3 supplement and efficacy in protecting rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from infection by *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*. *Research in Veterinary Science*, v. 114, p. 95-100, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.03.010>> Acesso em 17 fev. 2025.
 40. MONDAL, H.; THOMAS, J. A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquaculture International*, v. 30, n. 4, p. 1971-2000, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-022-00884-w>> Acesso 18 fev 2025.
 41. MORSY, K.; DAJEM, S. B.; AL-KAHTANI, M.; EL-KOTT, A.; IBRAHIM, E.; HAMDI, H.; EL-KAREEM, S. A. Larval cestodes infecting commercial fish of Alexandria coast along the Mediterranean Sea: morphology and phylogeny. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, v. 31, p. e003022, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1984-29612022030>> Acesso em 18 fev 2025.
 42. MUSTAFA, S. A.; AL-FARAGI, J. K. Supplementation of feed additives on aquaculture feeds: a review. *International Journal of Pharmaceutical Research*, v. 13, n. 1, p. 561-567, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.01.097>> Acesso 19 fev 2025.
 43. NAYA-CATALÀ, F.; TORRECILLAS, S.; PIAZZON, M. C.; SARIH, S.; CALDUCHGINER, J.; FONTANILLAS, R.; MONTERO, D. Can the genetic background modulate the effects of feed additives? Answers from gut microbiome and transcriptome interactions in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed with a mix of phytogenics, organic acids or probiotics. *Aquaculture*, v. 586, p. 740770, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740770>> Acesso em 27 fev. 2025.
 44. NEVES, S. C.; SILVA, S. M.; COSTA, G. K.; CORREIA, E. S.; SANTOS, A. L.; SILVA, L. C.; BICUDO, Á. J. Dietary supplementation with fumaric acid improves growth performance in nile tilapia juveniles. *Animals*, v. 12, n. 1, p. 8, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ani12010008>> Acesso em 03 jan. 2025.
 45. NG, W. K.; KOH, C. B. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, v. 9, n. 4, p. 342-368, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/raq.12141>> Acesso em 18 fev. 2025.
 46. NOVOSLAVSKIJ, A.; TEREJTJEVA, M.; EIZENBERGA, I.; VALCIŃA, O.; BARTKEVIČS, V.; BĒRZIŅŠ, A. Major foodborne pathogens in fish and fish products: a review. *Annals of microbiology*, v. 66, n. 1, p. 1-15, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13213-015-1102-5>> Acesso 18 fev 2025.
 47. NTZIMANI, A.; SEMENOGLU, I.; DERMESONLOUOGLU, E.; TSIRONI, T.; TAOUKIS, P. Surface Decontamination and Shelf-Life Extension of Gilthead Sea Bream by Alternative Washing Treatments. *Sustainability*, v. 14, n. 10, p. 5887, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su14105887>> Acesso em 18 fev 2025.

48. OKON, E. M.; OKOCHA, R. C.; TAIWO, A. B.; MICHAEL, F. B.; BOLANLE, A. M.; Dynamics of co-infection in fish: A review of pathogen-host interaction and clinical outcome, *Fish and Shellfish Immunology Reports*, v. 4, p. 100096, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2023.100096>> Acesso 18 fev. 2025.
49. **OMOSOWONE, O.; DADA, A.; ADEPARUSI, E. Effects of dietary supplementation of fumaric acid on growth performance of African catfish *Clarias gariepinus* and *Aeromonas sobria* challenge.** *Croatian Journal of Fisheries*, v. 73, n. 1, p. 13-19, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.14798/73.1.782>> Acesso em 20 jan. 2025.
50. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> Acesso em 19 fev 2025.
51. ÖZOGUL, Y.; EL ABED, N.; & ÖZOGUL, F. Antimicrobial effect of laurel essential oil nanoemulsion on food-borne pathogens and fish spoilage bacteria. *Food Chemistry*, v. 368, p. 130831, 2022 Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130831>> Acesso 18 fev 2025.
52. PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura BR 2022. Associação Brasileira da Piscicultura, 2022. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>> Acesso em 18 fev. 2025.
53. **PELUSIO, N. F.; ROSSI, B.; PARMA, L.; VOLPE, E.; CIULLI, S.; PIVA, A.; GRILLI, E. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature.** *Fish & shellfish immunology*, v. 107, p. 324-335, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.10.021>> Acesso em fev. 2025.
54. PIEROZAN, M. B.; ALVES, J. D. S.; HORN, L. D.; SANTOS, P. A. D.; SILVA, M. A. P. D.; EGEA, M. B.; COSTA, A. C. Inactivation of Salmonella Typhimurium, Escherichia coli, and Staphylococcus aureus in Tilapia Fillets (*Oreochromis niloticus*) with Lactic and Peracetic Acid through Fogging and Immersion. *Foods*, v. 13, n. 10, p. 1520, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods13101520>> Acesso em 12 dez. 2024.
55. PONTUSCHKA, R. B.; ARAUJO, A. T.; SILVA, M. A. C.; FILHO, J. V. D.; MARMENTINI, R. P.; SCHONS, S. V. AD1 & CAVALI, J. Características higiênic-sanitárias do pescado salgado seco comercializado na cidade de Porto Velho, Rondônia–Brasil. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 16 n° 3, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.21708/avb.2022.16.3.10747>> Acesso 18 fev. 2025.
56. POURMOZAFFAR, S.; HAJIMORADLOO, A.; PAKNEJAD, H.; RAMESHI, H. Efeito da suplementação dietética com vinagre de maçã e ácido propiônico na química da hemolinfa, microbiota intestinal e estrutura histológica do hepatopâncreas em camarão branco, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & crustfish immunology*, v. 86, p. 900-905, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.019>> Acesso em 30 jan. 2025.
57. PRADO, A. G.S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. *Química Nova*, v. 26, p. 738-744, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500018>> Acesso em 02 mar. 2025.
58. QI, Y.; AN, C.; HUANG, C.; LV, H.; ZHANG, H. Enhancing Critical Thinking in Vocational Chemistry Education: Active Learning Strategies in Vocational Training.

- Journal of Chemical Education, v. 101, n. 11, p. 4892-4903, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00887>> Acesso em 19 fev 2025.
59. RASIDI, R.; PAMUNGKAS, W.; HANDAJANI, H.; PUSPANINGSIH, D.; TAQWA, F.H.; HARTAMI, P. Sustaining Aquaculture: Organic Acid as Feed Additives in Aquaculture. In Sustainable Feed Ingredients and Additives for Aquaculture Farming: Perspectives from Africa and Asia, Springer: 2024; pp. 481-500. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-981-97-4279-0_21> Acesso em 02 mar. 2025.
 60. REIS, A. P. A. W.; GODOY, A. C.; DA SILVA, C. A. H.; SCARDUA, M. P.; FERREIRA, D. D.; OLIVEIRA, D. F. R.; NEU, D. H. Aditivos na dieta de peixes com capacidade de modular o sistema digestivo: prebióticos probióticos e ácidos orgânicos-uma revisão. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 22, n. 5, p. e4927-e4927, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.55905/oelv22n5-202>> Acesso 19 fev 2025
 61. RICKE, S. C. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. Poultry Science, v. 82, n. 4, p. 632-639, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ps/82.4.632>> Acesso 18 fev 2025.
 62. ROSSI, B.; ESTEBAN, M. A.; GARCÍA-BELTRAN, J. M.; GIOVAGNONI, G.; CUESTA, A.; PIVA, A.; GRILLI, E. Antimicrobial power of organic acids and nature-identical compounds against two *Vibrio spp.*: an in vitro study. Microorganisms, v. 9, n. 5, p. 966, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/microorganisms9050966>> Acesso em 17 fev. 2025.
 63. SANJUÁS-REY, M.; GARCÍA-SOTO, B.; BARROS-VELÁZQUEZ, J.; FUERTES-GAMUNDI, J. R.; AUBOURG, S. P. Effect of a two-step natural organic acid treatment on microbial activity and lipid damage during blue whiting (*Micromesistius poutassou*) chilling. International Journal of Food Science & Technology, v. 46, n. 5, p. 1021-1030, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02565.x>> Acesso 18 fev 2025.
 64. SILVA, D. V.; ASSANE, I. M.; ALVES, L. O.; GOMES, F. C.; MORO, E. B.; KOTZENT, S.; PILARSKI, F. *Klebsiella pneumoniae* causing mass mortality in juvenile Nile tilapia in Brazil: Isolation, characterization, pathogenicity and phylogenetic relationship with other environmental and pathogenic strains from livestock and human sources. Aquaculture, v. 546, p. 737376, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737376>> Acesso 18 fev 2025.
 65. SILVA, V. G.; FAVERO, L. M.; MAINARDI, R. M.; FERRARI, N. A.; CHIDEROLI, R. T.; DI SANTIS, G. W.; PEREIRA, U. P. Effect of an organic acid blend in Nile tilapia growth performance, immunity, gut microbiota, and resistance to challenge against francisellosis. Research in Veterinary Science, v. 159, p. 214-224, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.04.019>> Acesso 18 fev 2025.
 66. SOTOUDEH, E.; ESMAEILI, N. Effects of Biotronic® Top3, a feed additive containing organic acids, cinnamaldehyde and a permeabilizing complex on growth, digestive enzyme activities, immunity, antioxidant system and gene expression of barramundi (*Lates calcarifer*). Aquaculture Reports, v. 24, p. 101152, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101152>> Acesso em 18 fev 2025.
 67. SOUSA, A. C.; SILVA, C. E.; COSTA, T. T. A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 19, n. 3, p. 593-616, 2020. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen19/REEC_19_3_5_ex1745_449.pdf> Acesso 19 fev. 2025.
 68. SOUSA-AGUIAR, E. F., ALMEIDA, J. M., ROMANO, P. N., FERNANDES, R. P., & CARVALHO, Y. Química verde: a evolução de um conceito. Química Nova, v. 37, p.

- 1257-1261, 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140212>> Acesso 19 fev 2025.
69. THAOTUMPITAK, V.; SRIPRADITE, J.; ATWILL, E. R.; TEPAAMORNDECH, S.; JEAMSRIPONG, S. Bacterial pathogens and factors associated with *Salmonella* contamination in hybrid red tilapia (*Oreochromis spp.*) cultivated in a cage culture system. Food Quality and Safety, v. 6, fyac036, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac036>> Acesso em 18 fev. 2025.
 70. THI, A. N. T.; SAMPERS, I.; VAN HAUTE, S.; SAMAPUNDO, S.; NGUYEN, B. L. HEYNDRICKX, M.; DEVLIEGHERE, F. Decontamination of Pangasius fish (*Pangasius hypophthalmus*) with chlorine or peracetic acid in the laboratory and in a Vietnamese processing company. International journal of food microbiology, v. 208, p. 93-101, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.05.017>> Acesso em 18 fev 2025.
 71. União Europeia. Regulamento (UE) N.º 231/2012 da Comissão, de 9 de março de 2012, que estabelece especificações para aditivos alimentares enumerados nos anexos II e III do Regulamento (CE) N.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia (JO L 83), 22.3.2012, pp. 1-284. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/reg/2012/231/2024-10-27>> Acesso em 01 mar. 2025.
 72. VALERIEVNA, D. N.; DMITRIEVICH, B. V.; VALENTENOVNA, S. O.; VLADIMIROVNA, F. E. Melhorar a tecnologia de produtos semiacabados refrigerados de cavala japonesa com uma vida útil prolongada. Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos, v. 24, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1981-6723.26318>> Acesso em 18 fev 2025.
 73. VENUGOPAL, V.; SASIDHARAN, A. Seafood industry effluents: Environmental hazards, treatment and resource recovery. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 9, n. 2, p. 104758, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104758>> Acesso 18 fev. 2025.
 74. **VILLUMSEN, K. R.; OHTANI, M.; FORBERG, T.; TINSLEY, J.; BOYE, M.; BOJESSEN, A. M. Citrus flavonoids, β -Glucan and organic acid feed additives decrease relative risk during *Yersinia ruckeri* O1 biotype 2 infection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). PeerJ, v. 8, p. e8706, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.7717/peerj.8706>> Acesso 07 fev. 2025.**
 75. **World Organisation for Animal Health (WOAH). (2024). Quarterly situation report on aquatic animal health, 2nd quarter 2024: Fish.** Disponível em: <<https://www.woah.org/en/document/quarterly-situation-report-on-aquatic-animal-health-2nd-quarter-2024-fish/>> Acesso em: 1 mar. 2025.
 76. YILMAZ, S.; ERGUN, S.; YIGIT, M.; ÇELIK, E. Ş. Efeito da combinação de *Bacillus subtilis* dietético e ácido transcinâmico nas respostas imunes inatas e resistência da truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss*, à *Yersinia ruckeri*. Aquaculture Research, v. 51, n. 2, p. 441-454, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.14379>> Acesso em 28 jan. 2025.
 77. YOUSEFI, M.; GHAFARIFARSANI, H.; RAISSY, M.; YILMAZ, S.; VATNIKOV, Y. A.; KULIKOV, E. Effects of dietary malic acid supplementation on growth performance, antioxidant and immunological parameters, and intestinal gene expressions in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, v. 563, p. 738864, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738864>> Acesso 19 fev 2025.
 78. ZARE, R.; ABEDIAN KENARI, A.; YAZDANI SADATI, M. Influência do ácido acético dietético, protexina (probiótico) e sua combinação no desempenho do crescimento, microbiota intestinal, enzimas digestivas, parâmetros imunológicos e

- composição de ácidos graxos no esturjão siberiano (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). *Aquaculture International*, v. 29, n. 3, p. 891-910, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00652-2>> Acesso em fev. 2025.
79. ZHANG, M.; HOU, L.; ZHU, Y.; ZHANG, C.; LI, W.; LAI, X.; YANG, J.; LI, S.; SHU, H. Composition and distribution of bacterial communities and antibiotic resistance genes in fish of four mariculture systems. *Environmental Pollution*, v. 311, p. 119934, 2022a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119934>> Acesso 18 fev 2025.
 80. ZHANG, M.; WU, X.; ZHAI, S. Effect of dietary compound acidifiers supplementation on growth performance, serum biochemical parameters, and body composition of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*). *Fishes*, v. 7, n. 4, p. 203, 2022c. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/fishes7040203>> Acesso em 18 fev 2025.
 81. ZHANG, S.; JIANG, L.; LI, H.; ZHANG, J.; SUN, T.; DONG, Y.; DING, N. Disinfection kinetics of peracetic acid inactivation of pathogenic bacteria in water. *Water Cycle*, v. 3, p. 79-85, 2022b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2022.05.002>> Acesso em 18 fev 2025.
 82. ZIARATI, M.; ZORRIEHZAHRA, M. J.; HASSANTABAR, F.; MEHRABI, Z.; DHAWAN, M.; SHARUN, K.; SHAMSI, S. Doenças zoonóticas de peixes e sua prevenção e controle. *Veterinária Trimestral*, v. 42, n. 1, p. 95-118, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01652176.2022.2080298>> Acesso em 18 fev 2025.

OBJETIVOS

Geral

Objetivou-se analisar a utilização de ácidos orgânicos na aquicultura por meio de uma análise bibliométrica e uma revisão sistemática e integrar os conhecimentos adquiridos na revisão sistemática ao ensino de Química.

Específicos

- Realizar uma análise bibliométrica para identificar a evolução da produção científica sobre a utilização de ácidos orgânicos na aquicultura, mapeando tendências, principais autores, fontes veiculadoras, instituições, países e colaborações institucionais, até 2024.
- Escrever uma revisão sistemática sintetizando as evidências sobre a eficácia dos ácidos orgânicos como aditivos alimentares em organismos aquáticos, selecionando apenas os artigos da análise bibliométrica que incluíram esses compostos na dieta de animais cultivados.
- Compreender a ação dos ácidos orgânicos sobre o desempenho zootécnico e otimização dos índices de saúde, como microbiota intestinal, resposta imunológica e resistência, através da revisão sistemática.
- Relacionar os conhecimentos adquiridos sobre a utilização de ácidos orgânicos na aquicultura com a abordagem da Química Verde e Química Orgânica no Ensino

Médio, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias didáticas contextualizadas e alinhadas aos princípios da sustentabilidade.

CAPÍTULO I– Artigo I - Organic acids in aquaculture: a bibliometric analysis

Abstract

Fish production faces various challenges throughout its cycle, from rearing to human consumption. In this scenario, organic acids have emerged as an effective fish feed and meat treatment solution. They promote health and well-being, control pathogens, improve digestion, and contribute to food preservation. This study was therefore carried out to evaluate the evolution of publications about the use of organic acids in aquaculture over time, identifying the main journals, authors, countries, and relevant organizations associated with the publications and determining the keywords most used in publications and research trends on this type of accommodation using bibliometric analysis. For this analysis, the Web of Science (WoS) and Scopus databases were used, with the keywords and Boolean operators ‘organic acid*’ AND (‘pathogens’ OR ‘microorganism*’ OR ‘bacteria’ OR ‘fungi’) AND (‘fish “OR ”fry’ OR ‘pisciculture’). Ninety-six articles were found in 44 journals, with the participation of 426 authors and 188 institutions, from 1995 to 2024. The most crucial publication source with the highest impact factor was the journal *Aquaculture*, with 14 articles, two of which were written by the most relevant author, Koh C., who received the highest number of citations and had the highest impact factor among the 426 authors. China had the most scientific production, with 26 publications on organic acids in aquaculture. However, Malaysia was the country that published the most cited documents, a total of 386. The most relevant affiliation was the University of Sains Malaysia, which participated in the publication of 8 articles. The ten most frequent keywords were fish, organic acids, citric acid, article, bacteria, growth, microorganisms, *Oncorhynchus Mykiss*, animals, and digestibility. The results indicate increased publications about the benefits of using organic acids in aquaculture, highlighting their effectiveness as antibacterial agents and promoters of zootechnical development. However, gaps still require more in-depth research into the ideal dosages, mechanisms of action, and long-term impacts of these compounds.

Keywords: pathogens, microorganisms, inactivators, antimicrobials, fish farming.

1. Introduction

Aquaculture, a method used to produce food and other commercial products, has seen significant growth in recent decades, with its products increasingly appearing on consumers' tables due to its meat's nutritional and sensory qualities. It is estimated that per capita fish consumption will increase by 15 percent in 2030, reaching 21.4 kg, driven mainly by new dietary trends [1].

In aquaculture, several challenges emerge during production. One of the most pressing concerns is disease prevention and control, as outbreaks can severely impact fish survival and well-being [2]. The use of antibiotics in aquaculture can lead to adverse effects, including risks to human health due to potential antibiotic residues in fish or the emergence of resistant bacteria [3]. Consequently, the excessive use of antibiotics drives antimicrobial resistance (AMR) [4].

The use of antibiotics has been a widely adopted strategy to prevent diseases and enhance production performance in aquaculture, contributing to fish health and farming efficiency [5]. However, their extensive use presents limitations due to the rise of bacterial resistance and potential risks to human health, which led to the establishment of regulations about their use in the European Union [6-8].

In addition to challenges related to fish health, aquaculture requires continuous improvement in production performance, which is often affected by nutritional and health imbalances [9]. At the same time, reducing environmental impacts is essential, particularly in systems that depend on intensive input use and require proper waste management [10].

Another key challenge in aquaculture is product contamination by pathogens, a problem intensified by the increasing consumption of raw aquaculture products, partly driven by the global spread of oriental cuisine. This consumption trend continues rising, with various species used in dish preparation. Since these products are typically consumed fresh without heat treatment, infected fish can act as hosts and sources of pathogenic microorganism contamination [11].

Aquaculture growth drives resistance mechanisms like those in agriculture, as antibiotics exert selective pressure, accelerating the development and spread of resistance genes (ARGs). Co-resistance in zoonotic pathogens, effective against multiple antibiotics, has become a significant concern. The lack of consistent data on antibiotic usage hinders a precise assessment of the impact of aquaculture and agriculture on resistance. Furthermore, water serves as a medium for the dispersion of drug residues, pathogens, and resistance genes, making aquaculture an increasing threat, especially with the rising demand for seafood [12].

Contamination in aquaculture primarily occurs through the direct use of antibiotics to prevent diseases and enhance fish production and through indirect transmission due to the improper use of veterinary and human antibiotics. Emerging contaminants, such as pharmaceuticals from human activities near aquaculture sites, also impact the environment. Water from rivers, coastal areas, or underground sources, commonly used in aquaculture, facilitates cross-contamination. However, global data on this issue remain scarce [13].

Studies about different zoonotic microorganisms in fish have been carried out since contamination of species can come from the natural microbiota or be transmitted during the handling process, both by microorganisms that cause spoilage and by significant pathogens such as *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and *Staphylococcus aureus*, which are often associated with food outbreaks [14,15].

Adding organic acids, either in combination—such as acetic and ascorbic acids—or individually, like lactobionic acid, during storage can compromise the integrity of the bacterial cell membrane, leading to intracellular protein leakage and increased conductivity [16]. Additionally, these compounds lower the pH of the fish, creating an unfavorable environment for bacterial growth (Monirul et al., 2019), thereby extending its shelf life. Nebulization or immersion treatments with lactic and peracetic acids have also shown great potential in fillet processing, preserving appearance, and enhancing meat quality [15]. Several feed additives, such as organic acids and essential oils [17], probiotics [18], prebiotics [19], and amino acids [20], are being used as alternatives to antibiotics in fish diets, with organic acids standing out among them. Including organic acids in fish diets has also been shown to improve digestibility, mineral absorption, and the activation of digestive enzymes, leading to better growth and feed efficiency [21].

Organic acids, widely used for their preservative, acidifying, and flavoring properties, have demonstrated great potential in aquaculture. Their antimicrobial efficacy not only enhances food safety for consumers but also serves as an effective strategy for disease prevention in production systems. A notable example is the use of fumaric acid as a feed supplement for juvenile Nile tilapia, which has been shown to improve growth performance, feed efficiency, and protein conversion rate while also inhibiting the growth of enterobacteria in the intestine and promoting a healthier microbiota [22]. Other organic acids considered postbiotics, especially short-chain fatty acids (SCFAs) such as propionic, butyric, and acetic acids, play an important role in enhancing antimicrobial activity and gut health in aquaculture, a rapidly expanding industry closely connected to ecosystem health. These SCFAs significantly influence intestinal physiological and digestive functions, supporting overall fish health [23,24].

Replacing antibiotics in fish feed with acidifiers helps control harmful bacteria, promotes a healthy intestinal microbiome, and strengthens the immune system. Additionally, acidifiers enhance nutrient utilization by improving mineral absorption and supporting digestive tract development, leading to more efficient and sustainable aquaculture production. In addition to enhancing feed digestibility, acidifiers improve mineral absorption and optimize feed efficiency by supporting the development of the digestive tract, contributing to more efficient and sustainable aquaculture production [25].

The main objective of using these compounds is to reduce pH, a favorable condition for activating pepsin, an essential enzyme for protein digestion [26]. Dietary supplementation of organic acids also stimulates the bactericidal activities of lysozyme and serum [27]. Furthermore, acidifiers promote an increase in the length of intestinal villi, which is related to a greater capacity for nutrient absorption in the intestinal lumen [28]. Incorporating these additives into the diet improves the ability of fish to absorb nutrients and maximizes feed intake efficiency [25].

The efficacy of organic acid mixtures as substitutes for antibiotics in the diet of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) was evaluated by Katya et al. [29]. The fish were fed with either antibiotics (oxytetracycline) or mixtures of organic acids. The results showed that the group fed with organic acids had intestinal bacterial counts and *Vibrio* sp. levels like those of the antibiotic-fed group. Additionally, these groups exhibited lower cumulative mortality after being challenged with *Edwardsiella tarda*. These findings support the idea that organic acid mixtures are an effective alternative to

antibiotics, promoting intestinal health and disease resistance in marine fish and reinforcing their potential for sustainable and preventive management in aquaculture.

Among other applications that the literature has reported for organic acids is their application to sanitizing utensils and fish flesh, using peracetic, citric, and lactic acid compounds. Studies indicate that these acids can significantly reduce the load of deteriorating microorganisms in gutted fish, prolonging the product's shelf life and guaranteeing its quality [30,31]. Organic acids also contribute to pollutant removal and bioremediation of contaminated sediments. In studies using sediment microbial fuel cells (SMFCs), the degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) was enhanced by producing organic acids from starch deposited in aquaculture sediments. Analysis of the accumulation of these compounds revealed a significant positive correlation between electricity generation and PAH removal, suggesting that microbial metabolism driven by organic acids can optimize the decontamination process. However, an excess of these acids lowered the anode pH, compromising microbial activity and inhibiting the efficient utilization of the co-substrate [32].

A bibliometric analysis of using organic acids in food preservation and fish meat sanitation is essential for mapping scientific progress and identifying trends and strategic opportunities in knowledge. It makes it possible to understand the evolution of publications, highlight the prominent journals, authors, institutions, and countries involved, and identify the most used keywords and emerging themes [33]. With a broad view of the scientific landscape through bibliometric analysis, it is possible to direct future research, contribute to the interaction between academia and the market, and promote more effective solutions. Therefore, this study aims to carry out a bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture, evaluating the evolution of publications, identifying the prominent journals, authors, countries, and relevant institutions, and determining the keywords most used in publications and research trends.

2. Methodology

This study used two databases to consult articles published on using organic acids in aquaculture. Despite the significant growth in bibliographic data sources and metrics over the last decade, the Web of Science (WoS) and Scopus databases remain the two main and most comprehensive sources of publication metadata and impact indicators.

They are essential tools for journal and literature selection, monitoring individual careers, large-scale bibliometric analyses, and research evaluations at all levels [34].

The simplified methodology for selecting articles can be seen in the flowchart below (Figure 1).

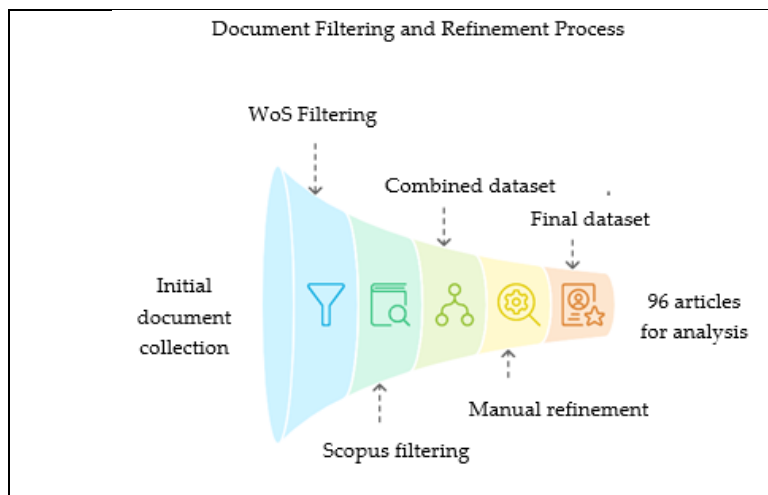


Figure 1. Flowchart of document selection for bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

Through the CAPES platform, documents were retrieved from the Web of Science (WoS) and Scopus (DBs) using the keywords “organic acid*,” “pathogens,” “microorganism*,” “bacteria,” “fungi,” “fish,” “fry,” and “pisciculture,” along with the Boolean operators “AND” and “OR.” In the first database, WoS, 280 documents were found and subsequently filtered to ensure that only scientific articles were selected. After applying the ‘articles’ and ‘search in all fields’ filters, 248 documents remained. Subsequently, 11 procedural articles, 3 early access articles, and 18 review articles were excluded. In Scopus, 299 documents were identified using the same keywords. The filters used in this database were “articles” and “search within article title, abstract, and keywords” to select only works evaluated by the most rigorous scientific screening. After filtering, 23 analyses, 14 conference papers, 11 book chapters and 1 book were excluded, leaving 250 articles for review.

The data from 498 articles were exported in BibTeX format and then processed in R to generate a unique dataset. Using Biblioshiny within the Bibliometrix package in R, the dataset was analyzed, followed by an additional manual filtering step, in which the methodologies of all articles were reviewed to exclude those that, although applied in aquaculture, were not related to the use of organic acids.

Among the articles excluded were those that focused on organic salts rather than organic acids, studies carried out on chickens, pigs, or other animals not related to

aquaculture, and those that involved probiotic bacteria derived from acids rather than the direct application of the acids themselves. After this filtering process, 55 articles remained from Scopus and 59 from WoS. These documents were selected again based on their titles and exported in BibTeX format for further analysis. The R program was used to identify and remove duplicate documents, excluding seven duplicates and creating a new database with 107 articles. As some duplicates were not automatically recognized by the program, a manual review was carried out in R to exclude articles with the same DOI (Digital Object Identifier), leaving a final set of 96 articles for bibliometric analysis.

3. Results and discussion

3.1. General analysis

In all, 96 documents were analyzed based on the parameters described in the methodology. These articles were produced in collaboration with 426 authors and published in 44 sources. The annual growth rate over 29 years was 8.26% from 1995 to 2024, with an average of 22.43 citations per document. This growth followed the average growth rate of 6.7% per year from 1990 to 2020, totaling a growth of 609% expansion [35].

Table 1 shows the information about the obtained data. Of the 96 analyzed documents, 1 article was published with early access, and 2 are procedural documents.

Table 1. Overview of key information from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

Main information about the data	Results
Timespan	1995:2024
Sources (Journals, Books, etc)	44
Documents	96
Annual Growth Rate %	8.26
Document Average Age	6.45
Average citations per doc	22.47
References	2285
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	737
Author's Keywords (DE)	317
AUTHORS	
Authors	426
Authors of single-authored docs	1
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	1
Co-Authors per Doc	5.79

International co-authorships %	14.58
DOCUMENT TYPES	
Article	93
article; early access	1
article; proceedings paper	2

Scientific production using organic acids in aquaculture has increased significantly since 2017, as seen in Figure 2. The expansion of scientific production using organic acids in aquaculture can be attributed to two main factors. The first factor is related to the increasing restriction on the use of antibiotics in fish feed, a highly relevant issue due to concerns about antimicrobial resistance, environmental impacts, and food safety. This concern has driven a significant increase in research about safer and more sustainable alternatives. Various countries and regulatory boards have established strict guidelines for using antibiotics in aquaculture, encouraging the adoption of innovative strategies such as using organic acids, probiotics, and other functional additives [7,8,36]. The second factor is the growing global demand for fish and other aquatic foods, leading to rapid changes in the fishing and aquaculture sectors. Projections indicate a 15% increase in consumption, reaching 21.4 kg per capita by 2030. This growth is driven by rising incomes, urbanization, post-harvest improvements, distribution practices focused on sustainability, and new dietary trends prioritizing health and nutrition [1].

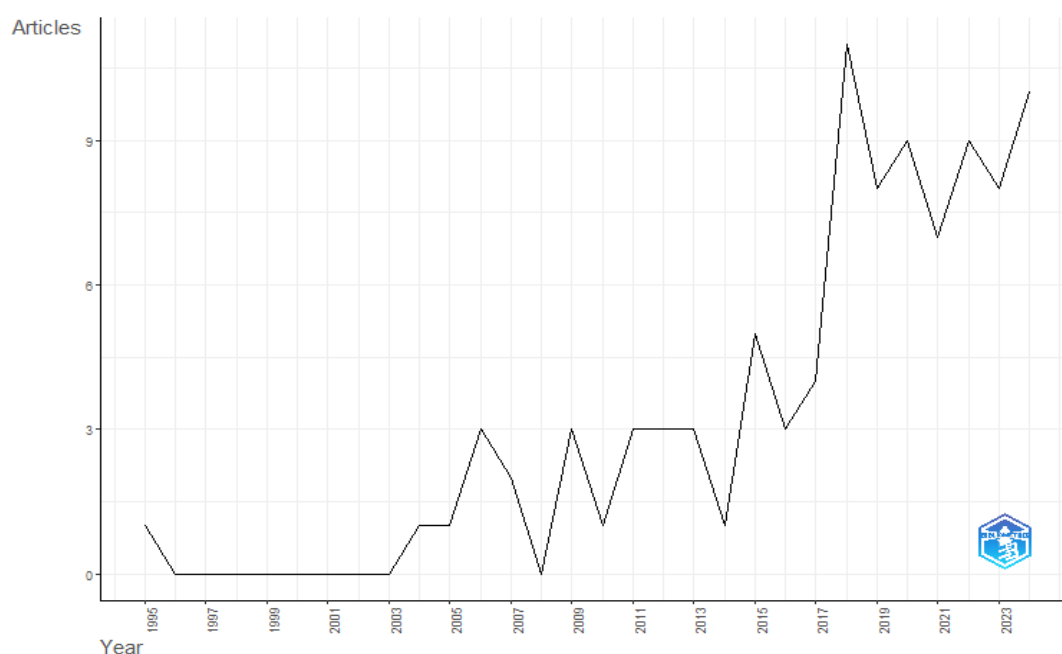


Figure 2. Annual scientific production on the use of organic acids in aquaculture from 1995-2024.

The average of 22.43 citations per document over the analyzed period reflects the scientific relevance and academic impact of studies about using organic acids in aquaculture. This number indicates that the topic has been widely discussed within the

scientific community, reinforcing its importance for the aquaculture sector and its contribution to advancing knowledge.

Additionally, the average document age of 6.45 years suggests that the studies are relatively recent but already demonstrate a consolidated citation cycle, indicating a balance between established research and discoveries. This data highlights that research about organic acids in aquaculture is continuously evolving, keeping pace with the growing demand for sustainable alternatives in fish nutrition and regulatory changes in the sector.

The 14.58% percentage of international co-authorships indicates that research about the use of organic acids in aquaculture has a relatively low level of global collaboration, suggesting that national or regional research groups conduct most publications.

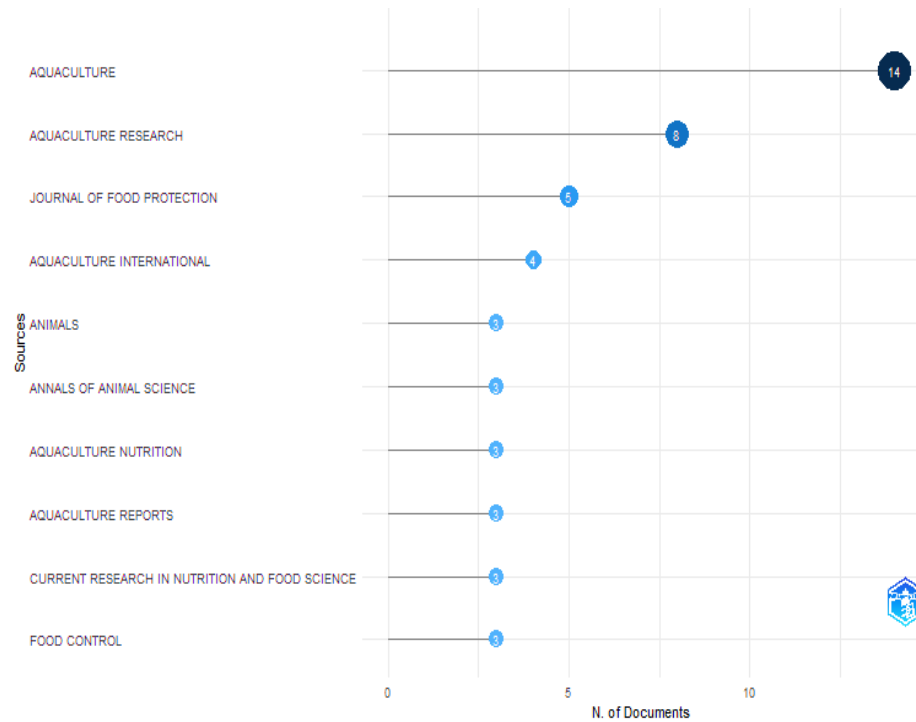
The co-authors per document metric (5.79) show that, on average, each article about the use of organic acids in aquaculture was produced by approximately six authors. This number suggests that even if the level of global collaboration is low, there is a moderate to high level of scientific collaboration, reflecting the complexity of the topic and the need for multidisciplinary expertise.

3.2. Most relevant sources

Publications related to the use of organic acids in aquaculture were 96 documents from 44 different sources. The main source of these publications was the *Aquaculture* journal, with 14 published articles representing approximately 14.58% of the documents analyzed. This result was expected, as it is a specialized journal in aquaculture science, widely recognized as one of the leading scientific references with the highest impact in the field. Additionally, its open-access publishing policy facilitates article submissions by researchers from various institutions, contributing to more publications on the topic.

Aquaculture Research (8.33%) and *Journal of Food Protection* (5.20%) journals were in second (publishing 8 manuscripts) and third (publishing 5 manuscripts) place, respectively (Figure 3A). *Aquaculture International* was in fourth place with 4 publications (4.16%). The fifth most relevant journal was *Animals*, followed by *Annals of Animal Science*, *Aquaculture Nutrition*, *Aquaculture Reports*, *Current Research in Nutrition and Food Science* and *Food Control*, each with 3 published articles and a percentage of approximately 3.12 each.

A



B

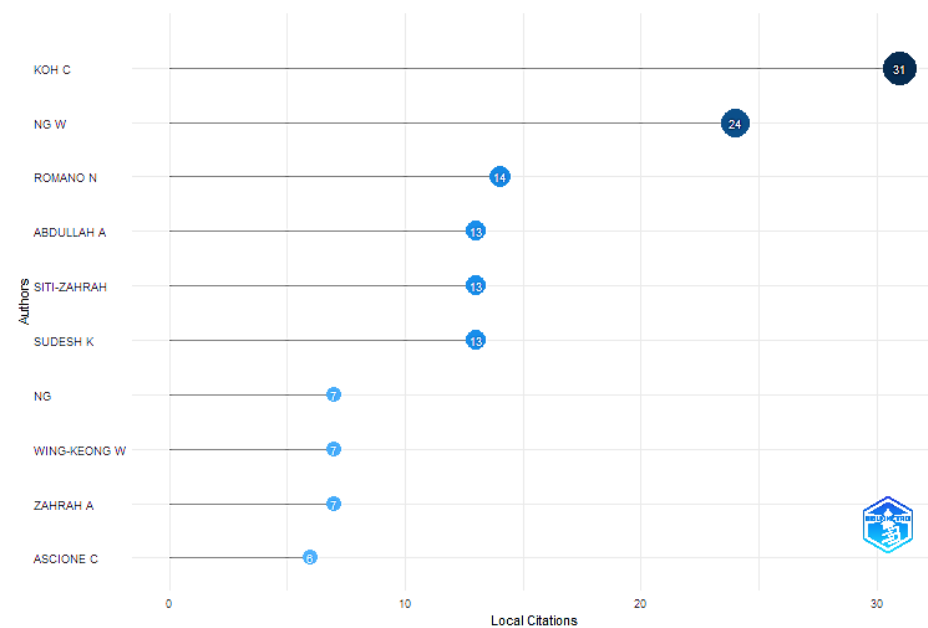


Figure 3. The 10 most relevant sources in the production of articles (A) and the 10 most cited authors (B) of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

Analyzing the impact factor using the H index showed a similarity between the most relevant sources of publications and the most impactful sources. However, some journals lost positions compared to their previous ranking as the most relevant sources. This reduction in the H index of journals is explained by this indicator considering the total number of publications and the number of submissions received for each article. Thus, the H-index drops when a journal has many publications but few citations to each

article. Another explanation is that when a journal receives many citations, they are distributed unevenly among articles. That is, some articles are highly cited, while others receive few or no citations [37].

For example, Aquaculture has 14 articles published about organic acids in aquaculture over 30 years, the largest number of publications among the journals, a high total citation rate, but distributed unevenly. The most cited article was that of Romano, et al. [38] with 116 citations, followed by Ng, et al. [39] with 55, Davies, et al. [40] with 34, Liu, et al. [41] with 25, Libanori, et al. [42] with 15, dos Santos, et al. [43] with 12, Ohtani, et al. [44] with 10 and Suehs, et al. [45] with 4 citations, thus confirming a reduction in the number of citations of the other documents until Naya-Català, et al. [46] with 2 citations. There is a decreasing trend in citations as the publication date approaches the present, reflecting the shorter exposure time of more recent articles.

On the other hand, Aquaculture Research had only 8 articles published over 30 years on the use of organic acids in fish. Its main article, published by Ng, et al. [42] was cited 146 times, followed by Koh, et al. [43] with 69 citations, Marchand et al. (2012) with 38, Chen, et al. [44] with 36, Katya, Park, Bharadwaj, Browdy, Vazquez-Anon and Bai [29] with 23, Yilmaz, et al. [45] with 21, also confirming that the most recent documents were less cited. Still, among the 8 articles all had more than 8 citations, while in Aquaculture not all 14 articles had 14 citations. The results of the H-index impact factor of the 10 most impactful sources among the 44 journals published about organic acids in aquaculture can be seen in Table 2.

The H index is defined as the largest number “h” of published scientific articles that have at least the same number “h” of requests each [47]. For example, Aquaculture Research has an H-index of 8 because at least 8 articles published in that journal received 8 requests each. In comparison, Aquaculture has an H-index of 7 because 7 articles published in that journal received at least 7 citations each. The h-index is the number of articles (h) by an author that have received at least h citations and, therefore, depends on the number of publications of a researcher and their impact. It was proposed to provide a simple way to objectively compare the scientific production of researchers and has become one of the most widely used metrics for this purpose [48,49]. One of the questions regarding the h-index is its robustness against self-citations, but concerns have been reduced due to a better understanding of this metric, which cannot increase due to self-citation [48].

Table 2. The 10 main sources of local impact by H-index of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture.

ELEMENT	H_INDEX	TC	NP	PY_START
Aquaculture Research	8	373	8	2009
Aquaculture	7	291	14	2015
Journal Of Ood Protection	5	90	5	1995
Aquaculture International	4	57	4	2011
Aquaculture Reports	3	15	3	2023
International Journal Of Food Microbiology	3	136	3	2009
Journal Of Food Science	3	53	3	2010
Peerj	3	146	3	2018
Animals	2	16	3	2022
Aquaculture Nutrition	2	74	3	2018

TC: total citations; NP: number of publications; and TY Start: initial year of publication analysis.

Among the sources analyzed, the journal Aquaculture ($h=7$) published more papers. However, its h-index was lower than Aquaculture Research's ($h=8$), placing it second in the impact factor. This behavior can be explained by the fact that it received fewer citations than the first-placed journal in the ranking and that less time had elapsed since its first publication in the database searched. PY Start identifies the year in which the first article about organic acids in aquaculture was published in the databases researched. Therefore, journals that began publishing about the topic more recently may have a lower impact factor due to less time that has elapsed since the first publication and consequently fewer years for this document to be cited.

The highest impact factor was found for Aquaculture Research, which had 373 citations from 8 published documents. The third and fourth positions were occupied by the Journal of Food Protection and the Journal Aquaculture International, respectively, with the former having an impact factor and number of publications of 5 and the latter with an index of 4 and several publications of 4. While the Journal of Food Protection was cited 90 times, Aquaculture International received 57 citations.

In fifth place is Aquaculture Reports, followed by International Journal of Food Microbiology, Journal of Food Science, and PeerJ, with 3 publications each and an impact factor $h = 3$, distinguished by the initial year of publication and number of citations (Table 2). After calculating the impact factor H, the journal Animals occupied the tenth position, previously occupied by Food Control.

Another distinction observed relates to the Annals of Animal Science, Food Control, Current Research in Nutrition and Food Science and Aquaculture Nutrition,

which, despite being among the top 10 sources, did not stand out among the 10 most impactful sources when the number of citations was considered (Table 2).

All journals described in Table 2 are peer-reviewed. Still, Aquaculture Research, Journal Of Food Protection, Aquaculture Reports, PeerJ, Animals, and Aquaculture Nutrition only publish open access, and Aquaculture, Aquaculture International, International Journal Of Food Microbiology, and Journal Of Food Science are hybrid and support open access. Open access allows other researchers and universities to access the manuscript free of charge, popularizing the information contained in them and science in general [50].

3.3. Most relevant authors

Over the last 29 years, 426 authors have published 96 articles on the use of organic acids. These researchers have received 275 local citations and have been cited 11,427 times. Of the 426 authors, 31 were not cited; the most cited, Koh C., received 386 global and 31 local citations. Data on the 10 most cited local authors is shown in Figure 4, and the 10 authors with the highest global impact index are shown in Table 3.

Local requests can be understood as those made by documents within the specific dataset, such as the community of authors and documents appearing in the bibliometric analysis. In comparison, global citations refer to the number of times a document was cited across the entire database, in the case of this WoS and Scopus article, regardless of the published topic. Within the community, the author Koh C. received the highest number of citations (31) and was also the most cited author overall, with 386 citations and the highest impact index ($h=4$) from 4 articles (Figure 3B). Aubourg S. was the author with the second most relevant impact index ($h=3$), receiving 81 citations from published documents; however, within the community, he dropped to 44th position, with only 1 citation.

In respective order from 3rd to 9th place are Martins M., Meinelt T., Ng W., Pereira S., Sahu N., Santos G., and Yilmaz S., all with 3 publications each and an impact factor h equal to 3. Among the seven authors, the one in fifth place by impact factor index received 317 citations, and the one in ninth place received 130. Abedian K. A. had the tenth highest impact factor, $h=2$, 2 publications, and 57 citations.

The 10 most relevant authors have published between 3 and 4 articles each and add up to 1,053 citations, approximately 9.21% of the total global citations, represented

by only 2.35% of the authors. The timeline showed that the first article on using organic acids in aquaculture was published in 1995, while the most relevant authors published the article in 2006 (Table 3).

Some events that occurred during this period may have affected this growth, such as (i) the growth of the sector that was accentuated during this period (as discussed previously); (ii) the 1990s saw a global increase in interest in alternatives to antibiotics in animal feed, including aquaculture, due to concerns about antimicrobial resistance [51]; (iii); the ban on the use of antibiotics as growth promoters in Europe in 1995 and their complete ban in 2006 [52]; (iv) the occurrence of scientific events and environmental policies related to food security, such as the United Nations Conference on Environment and Development (ECO-92) in 1992, which highlighted sustainable development and responsible management of natural resources [53], and the Mercosur Aquaculture Symposium (AQUIMERCO) in 2004, which brought to light a large amount of scientific work using organic acids [54]; and (v) the adoption of practices such as the FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries in 1995, which established international guidelines for sustainable fisheries and aquaculture [55].

Table 3. The 10 authors with the highest impact factor by H index of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

ELEMENT	H_INDEX	TC	NP	PY_START
Koh C	4	386	4	2009
Aubourg S	3	81	3	2012
Martins M	3	37	3	2019
Meinelt T	3	67	3	2012
Ng W	3	317	3	2009
Pereira S	3	37	3	2019
Sahu N	3	30	3	2006
Santos G	3	34	3	2017
Yilmaz S	3	130	3	2018
Abedian K A	2	57	2	2018

TC: total citations; NP: number of publications; and TY Start: initial year of publication analysis.

The author with the most publications, Koh C, published 1 article in 2009, 2 in 2015, and 1 in 2016, totaling four publications 386 citations, representing approximately 36.66% of the 10 most cited authors (386/1053). According to Table 3, he also had the highest impact index H (h=4), contributing to the publication of 4 documents about the subject, all from his affiliated institution, Universiti Sains Malaysia (USM), which had the highest relevance of all the institutions. In addition, his country, Malaysia, published 11 documents and received the highest number of citations. By quickly analyzing the

author's professional network (LinkedIn®), it was possible to identify the author's departure as a researcher from the University in 2015. He integrated the company Cargill Aqua Nutrition (CQN), where he held the position of Technology Application Manager until 2020 and, from that year to the present, he holds the position of Technology Application Lead & Nutritionist.

The author Aubourg S., affiliated with Spain's Marine Research Institute, published two articles in 2012 and one article in 2013, on a par with the other authors, who also published 3 articles over the years (Table 3), and each of whom accounted for 3.12% of the documents published. The 10 most relevant authors account for 32.29% of the 96 articles analyzed.

The number of articles published by the authors in this time interval ranged from 1 to 4, as shown in Table 4. The productivity of authors writing about using organic acids in aquaculture follows Lotka's law (Figure 4), which suggests that some authors are highly productive. At the same time, the majority publish only one or a few articles. Only one author (0.23%) participated in publishing 4 articles. In contrast, 309 authors (72.53%) participated in the publication of just 1 article, 105 authors (24.64%) participated in the publication of 2 articles, and 11 authors (2.58%) participated in the publication of 3 articles.

Table 4. Number of articles published by authors and frequency according to Lotka's Law of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

No. Articles	No. Authors	FREQ
1	309	0,72535211
2	105	0,24647887
3	11	0,0258216
4	1	0,00234742

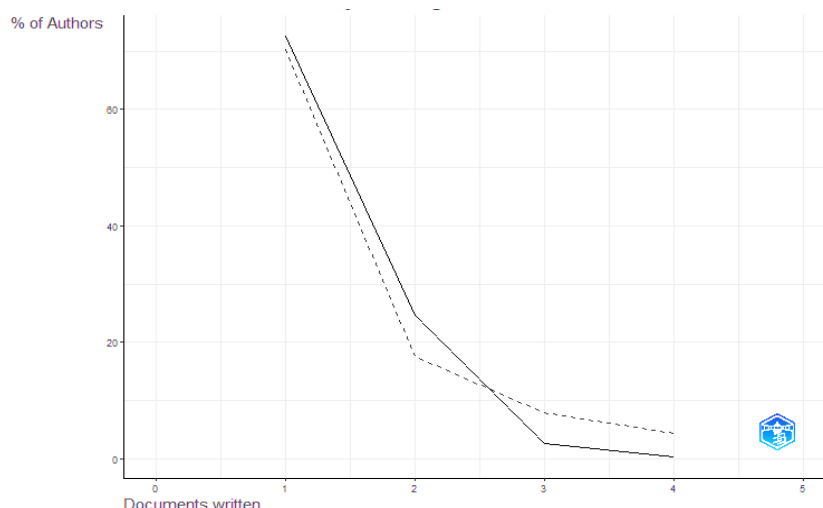


Figure 4. Author productivity using Lotka's Law of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

3.4. Most relevant articles

Knowing the main documents published in each area can guide researchers and institutions. Analyzing these documents makes planning new research based on advancing scientific knowledge possible since they highlight widely accepted themes and emerging trends portrayed in frequently referenced articles.

The relevance of the articles published about using organic acids in aquaculture was analyzed by the number of citations received and the time of publication. The 96 analyzed documents were cited 2157 times over 29 years, showing variability. 2014 had the highest average annual citation per article (Figure 5), with 22 articles published up to that year. This indicates that the studies published up to that period significantly impacted the scientific community, serving as a foundation for subsequent research and consolidating knowledge on using organic acids in aquaculture. The peak observed in the average number of citations per article in 2014 can be explained by the fact that only one article was published in that year, which accumulated 97 citations over 11 years, resulting in an annual average of 8.82. Since the average is calculated by the total citations divided by the number of articles published, a single highly cited article significantly increases this value.

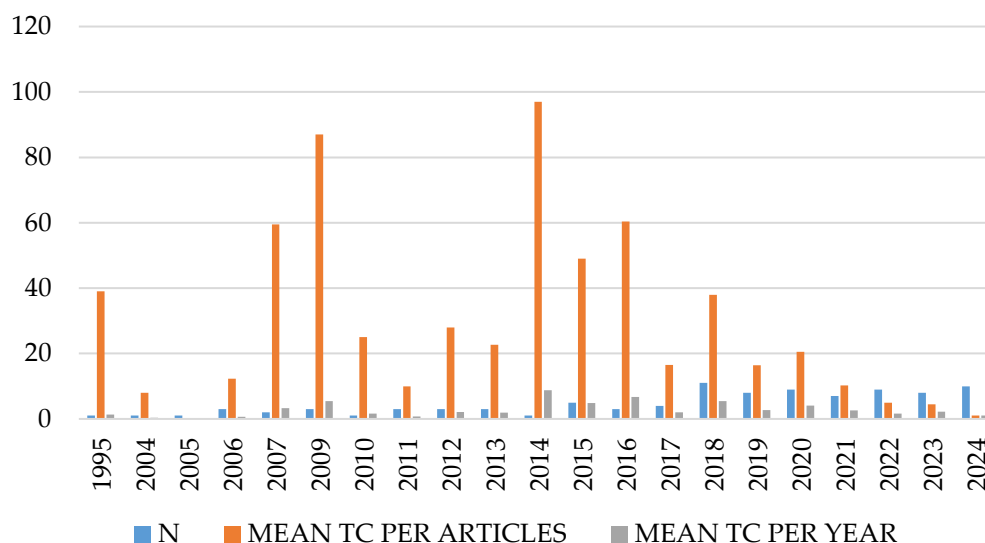


Figure 5. Average citations per article and year of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture. N: number of articles published and TC: total number of citations.

Among the most globally cited documents, the article published by Ng W. K. and collaborators in 2009 in the journal *Aquaculture Research* leads with 146 citations over 15 years (Figure 6). The second most referenced document was published in 2015 by Romano N. and collaborators in the journal *Aquaculture*, receiving 116 citations in the 9 years since its publication. Both authors are affiliated with Universiti Sains Malaysia, and the first is listed as a co-author in the second's work, the same paper published in 2015. Both the publication sources and the authors' affiliations stood out as the most relevant in this bibliometric analysis, playing a key role in the notoriety of these articles.

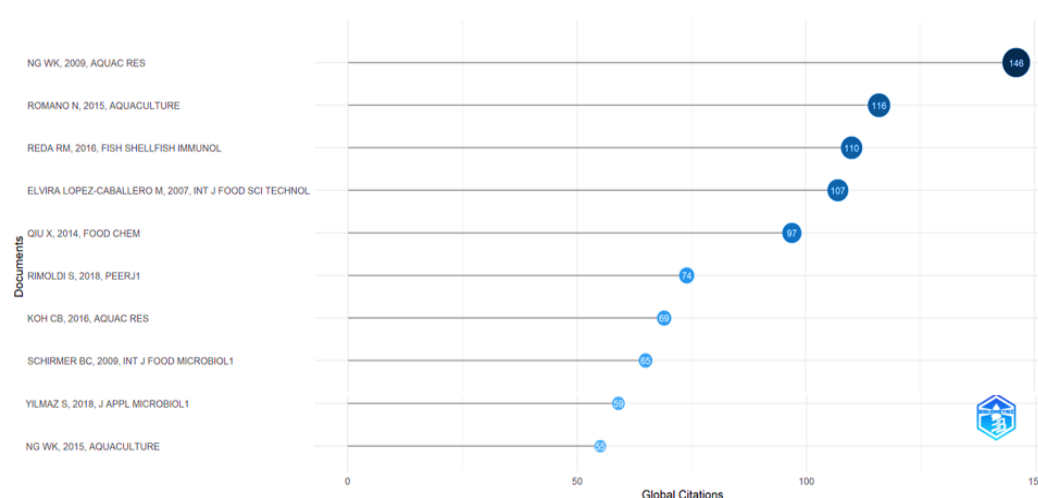


Figure 6. The 10 most globally cited documents of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

The third most cited document received 110 citations over 8 years and was published in the journal *Fish Shellfish Immunol* in 2016 by Reda R. M. and collaborators. Next, the fourth most cited document globally was the last one to receive more than a hundred citations, published in 2007 by Elvira Lopez-Caballero M. in the *International Journal of Food Science & Technology*.

The three most cited articles are related to using organic acids in fish feed [38,56,57], but articles with this theme total 6 among the 10 most cited [38,39,56-59]. All studies focus on nutrition and health in aquaculture, emphasizing replacing antibiotics with natural additives such as organic acids and probiotics that improve digestion, immunity, and growth of aquatic organisms and reduce bacterial infections. This reinforces the potential of these substances as sustainable alternatives to antibiotics in aquaculture.

These studies reported improvements in growth and intestinal health of fish and shrimp, reducing the presence of pathogens and promoting the growth of beneficial microorganisms [56-59] that probably impacted the immunity of the animals [38,39], with modest effects on the growth of the species [38,56] most likely by demonstrating improved digestibility in the animals [39] by increasing feed efficiency [57].

Thus, these manuscripts demonstrate that organic acids (i) can act as natural antimicrobial agents, but their effect depends on the dosage and the species of fish and/or shrimp; (ii) by acting as synthetic growth promoters; (iii) by modulating the microbiota of aquatic organisms; and (iv) by improving the performance and resistance of fish in aquaculture. All these characteristics contribute to the drive for more scientific studies and indirectly to using organic acids, making aquaculture more sustainable.

Three articles studied organic acids as an agent that promotes an increased shelf life of fish meat for food [60-62]. The studies showed that, although the application technique and often the type of acid were different, the results demonstrated a decrease in microbial growth and lipid oxidation processes, which resulted in better sensory characteristics of the meat.

Finally, only one manuscript evaluated organic acids against microorganisms in the fish microbiota. Yilmaz et al. [63] evaluated different natural additives and modified packaging to extend the shelf life of seafood. They demonstrated that compounds such as organic acids have antimicrobial and anti-oxidant activity, reinforcing and explaining the behavior of these acids when applied directly to the meat [60-62].

The Digital Object Identifier (DOI) for each of these ten documents can be found in Table 5.

Table 5. The top 10 most globally cited documents of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

Paper	DOI (Digital Object Identifier)	Reference
Ng W. K., 2009, Aquac Res	10.1111/J.1365-2109.2009.02249.X	[32]
Romano N., 2015, Aquaculture	10.1016/J.Aquaculture.2014.09.037	[33]
Reda R. M., 2016, Fish Shellfish Immunol	10.1016/J.Fsi.2016.01.040	[34]
Elvira Lopez-caballero M., 2007, Int J Food Sci Technol	10.1111/J.1365-2621.2006.01328.X	[35]
Qiu X., 2014, Food Chem	10.1016/J.Foodchem.2014.04.037	[36]
Rimoldi S., 2018, Peerj1	10.7717/Peerj.5355	[37]
Koh C. B., 2016, Aquac Res	10.1111/Are.12492	[38]
Schirmer B. C., 2009, Int J Food Microbiol1	10.1016/J.Ijfoodmicro.2009.05.015	[39]
Yilmaz S., 2018, J Appl Microbiol1	10.1111/Jam.14097	[40]
Ng W. K., 2015, Aquaculture	10.1016/J.Aquaculture.2015.02.006	[41]

3.5. Words

Highlighting the most recurring words in the writing of documents allows for the identification of methods and concepts that have attracted the attention of researchers. The relevance of these words aids in understanding trends and scientific priorities in each area of knowledge, enabling the development of strategies and decision-making for guiding research. The ten words that were mentioned most frequently were fish, organic acids, citric acid/citric acid, article, bacteria, growth, bacteria (microorganisms), *Oncorhynchus mykiss*, animals, digestibility, and nonhuman. The frequency with which these words appear in the documents can be seen in Figure 7A.

It is observed that the expression "citric acid" was written in two ways in the documents, with and without the use of a hyphen. Therefore, if the two forms are considered a single word, it is the most cited word in the articles (29 times). Citric acid is an efficient dietary supplement in promoting greater weight gain, specific growth rate, protein efficiency rate, and lower feed conversion rate, improving digestibility and increasing survival [64,65]. It can also mitigate oxidative damage and balance the intestinal microbiome [66]. Yildiz and Yilmaz [67] also found interesting results indicating that adding citric acid to the diet can exert a sanitizing effect on the cultivation

environment, promoting the reduction of infectious forms of microorganisms present in the water.

The word bacteria also appears with two classifications, one as a standalone (12 times) and another followed by the word "microorganisms" (11 times). If both are considered for their unique meaning, this will rise to third among the words mentioned most frequently. Microbial deterioration is a worrying factor in the preservation of products from aquaculture, as they are highly perishable foods due to their high water content. Inhibiting the growth of microorganisms at all stages of production ensures a contaminant-free product for the consumer and reduces losses for the producer. The use of organic acids, such as citric and peracetic acids, is effective in extending the shelf life of refrigerated fish, as reported by Ntzimani, Semenoglou, Dermesonlouoglou, Tsironi and Taoukis [31], promoting an increase of 45.5% and 63.6% in the shelf life of the products, respectively. Organic acids have bacteriostatic capacity due to their ability to permeate the bacterial cell membrane in their undissociated form and, once inside the bacteria, release H⁺ ions, acidifying the cytoplasmic pH. This consequently destabilizes bacterial metabolism, directly interrupting the normal physiology of the cytoplasm, including protein replication and synthesis, consequently causing bacterial death [68].

With the results of the documents analysis and keywords, it was possible to identify the trending topics of words that appear most frequently in the title and words. Observing Figure 7B, the three words with the highest trend are "acid," with a frequency of 41, followed by "organic," frequency = 30, and "growth," frequency = 31. When analyzing the plus words (Figure 7C), this panorama changes, with "fish" having the highest frequency (26), followed by "organic acids," frequency=17, and "citric acid," frequency=15.

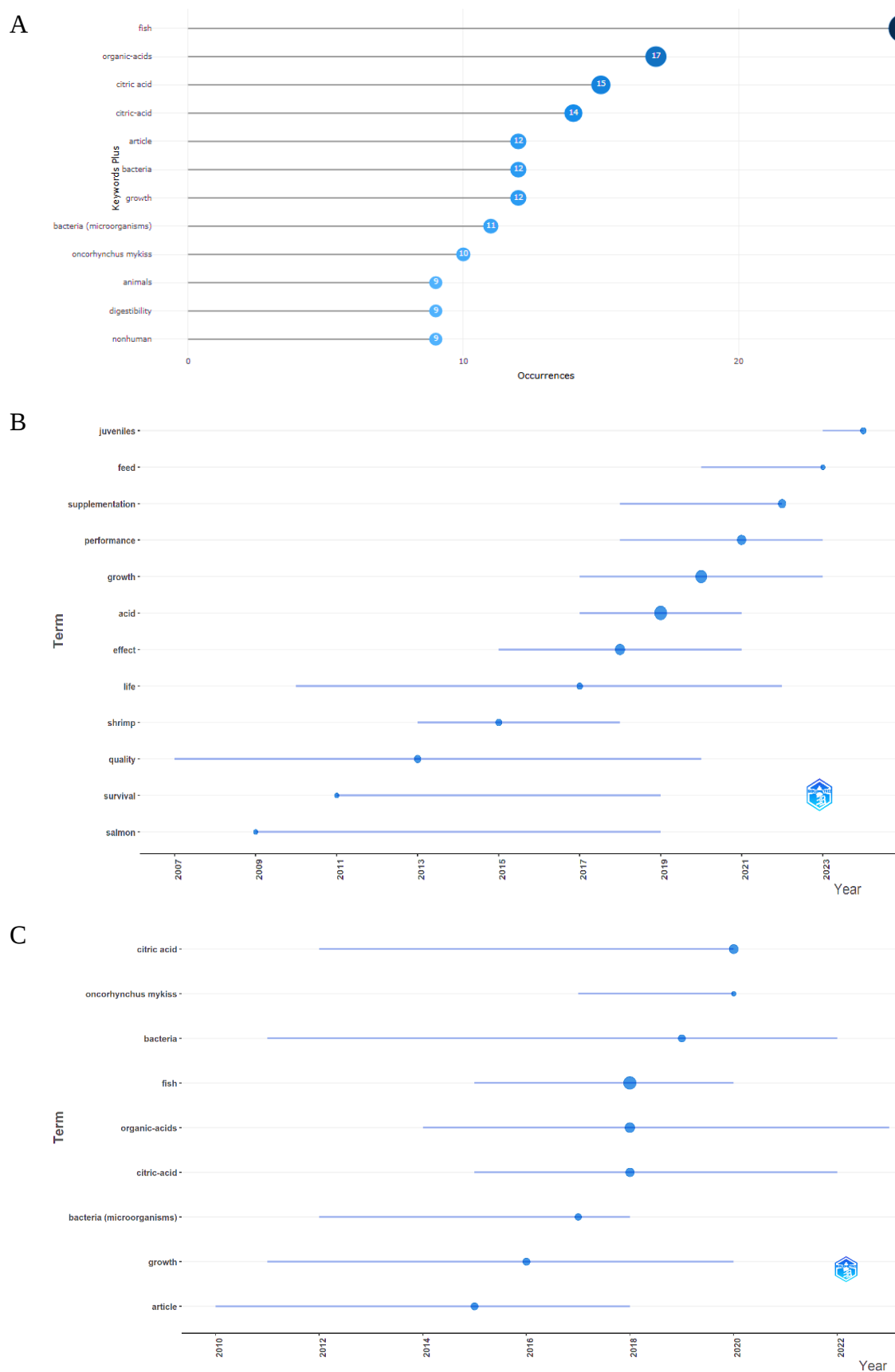


Figure 7. The 10 most cited words in the documents (A), topics of trending words that appear most frequently in the title (B), and trending topics of plus words (C) of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

3.6. Most relevant countries

A total of 35 countries participated in the publications on the use of organic acids in aquaculture. The 10 countries that produced the most articles from 1995 to 2024 are shown in Table 6, which presents the scientific contributions of these countries, including co-authorships. China stood out as the most productive country on the subject (26 articles), followed by Iran (25 articles), the United States (21 articles), and Brazil and Turkey (20 articles).

China's prominence in scientific production can be attributed to its large population and food traditions, which place it as the third largest importer of fish for its domestic consumption and processing industry [1]. This country has become the world's leading producer, exporter, and processor of aquatic products [69].

Table 6. Scientific production of the top 10 countries of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

Region	Frequency
China	26
Iran	25
USA	21
Brazil	20
Turkey	20
Egypt	18
Italy	16
Spain	12
Malaysia	11
India	10

Unlike the scientific production of countries, where an article can be counted multiple times if there are authors affiliated with institutions from different countries, the scientific production by countries of the corresponding author counts the documents only once, regardless of the number of co-authors from other countries. Through Figure 8A, a reduction in the scientific production of each country is observed. These were divided into two groups: articles published by authors from a single country, abbreviated as SCP (Single Country Publications), shown in orange, and articles published by authors collaborating with other countries, abbreviated as MPC (Multiple Country Publications), shown in blue.

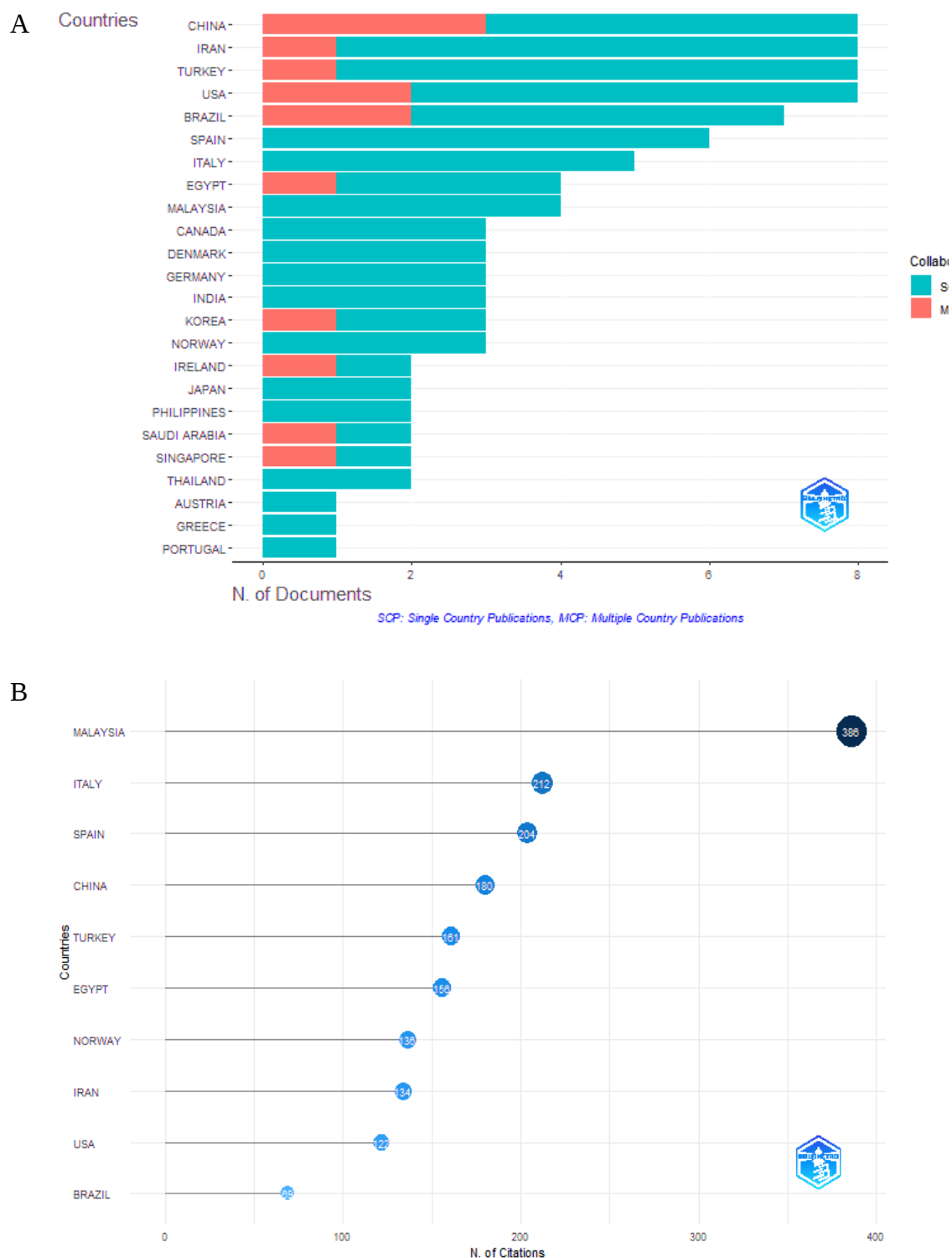


Figure 8. Production by countries of the corresponding author (A) and the 10 most cited countries from 1995-2024 (B) of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture

China, Iran, Turkey, and the United States each published 8 articles in the projection of corresponding countries for each author (Figure 8A), providing a division between the number of articles published by authors from a single country and the number of articles published with the collaboration of other countries. China published 5

independent articles and 3 with collaboration from other countries. Iran and Turkey published 7 articles independently and 1 with a global contribution each. The United States published 6 articles without collaborating with other countries and 2 with global contributions.

Brazil ranks fifth among the ten countries with the highest number of publications. Of 7 articles published on the topic, 5 were published independently, and 2 had the collaboration of other countries. Spain and Italy published 6 and 5 articles, respectively, without the participation of authors from other countries. Egypt published 3 articles without collaboration and 1 article with global contribution. The ninth and tenth positions are Malaysia and Canada, with 4 and 3 articles, respectively, published without contributions from other countries.

The analysis of scientific production by country reveals that although nations such as China, Iran, and Turkey have a high volume of independent publications, international collaboration plays a crucial role in expanding scientific impact, as observed in countries like the United States and Brazil, which have a more balanced ratio between independent and collaborative publications. This scenario suggests that while some countries have the infrastructure and funding to conduct research autonomously, global cooperation can accelerate innovation and strengthen knowledge dissemination, fostering the sustainable development of aquaculture. Furthermore, international collaboration plays a fundamental role in the development of human resources, especially considering that educational institutions conduct most research. These partnerships provide researchers with academic and professional experiences in international contexts, promoting the exchange of knowledge, developing new skills, and expanding their network of contacts in different cultural and scientific environments [70].

The relevance of the countries was also measured by the citations attributed to them. The 10 most cited countries are presented below in Figure 8B, and it can be concluded that there is not much similarity between the number of articles published by countries and the citations received by each. Regarding the number of publications, Malaysia was in ninth place. Still, it had the highest citation index, occupying the first position with 386 citations, corroborating the results obtained in the present work by the most cited authors (Figure 6).

Italian authors occupy the seventh position in terms of the number of articles published, but they are the second most cited, with 212 citations. Iranian authors had the

highest number of publications; however, they occupy the eighth position regarding the number of citations, 134. Articles published by Spanish authors jumped from sixth to third place, with 204 citations, followed by Chinese authors, who fell from first to fourth place, with 180 citations.

Following them are Turkey and Egypt, with 161 and 156 citations, respectively. Norway, which was not among the top 10 producing countries (it held the 15th position, with 3 published articles), enters the ranking of the 10 most cited countries in the seventh position, with 136 citations. The United States dropped from fourth to ninth place, receiving 122 citations. Finally, Brazil, which held the fifth position with 7 published articles, remained among the ten most cited but occupied the tenth position with 69 citations.

It is worth noting that, in addition to restrictions on antibiotic use, the rise in scientific production during this period can be attributed to factors such as advances in precision livestock farming, which introduced various intelligent systems capable of automating processes, controlling environmental variables, and continuously monitoring animals and their habitat, thereby enhancing efficiency and sustainability in animal production [71]. Another factor may be related to the World Health Organization (WHO) statement that animal-based foods are the best source of high-quality nutrients for children aged 6 to 23 months, resulting in funding initiatives aimed at sustainability, as well as the international demand for animal-based products, boosting the industry and scientific exploration in this field [72].

3.7. Most relevant institutions

A detailed analysis of the authors' affiliations is essential to understand the contribution of these institutions to research in a specific area. The results show that a total of 188 institutions participated in the dissemination of these 96 documents.

Universiti Sains Malaysia (Public University of Malaysia) was the institution with the greatest contribution to disseminating these documents, publishing 8 on the subject (Figure 9). The first publication was in 2009 (2 articles) and then published again in 2015 (4 articles) and 2016 (2 articles), corroborating the results previously described in this work for authors and countries most relevant to the area.

Next were the second and third most relevant institutions, Shanghai Ocean University and the University of Bologna, which published 6 articles. This university

published 6 articles on using organic acids in aquaculture in 2022, corroborating the results discussed in subitem 3.6.

University College Dublin (University in Dublin), in fourth place, contributed to publishing 5 articles. This university appears on the timeline in 2018 with 2 articles and 2020 with 3 articles. The other affiliations among the top 10 most relevant and their productions overtime can be observed in Figure 9.

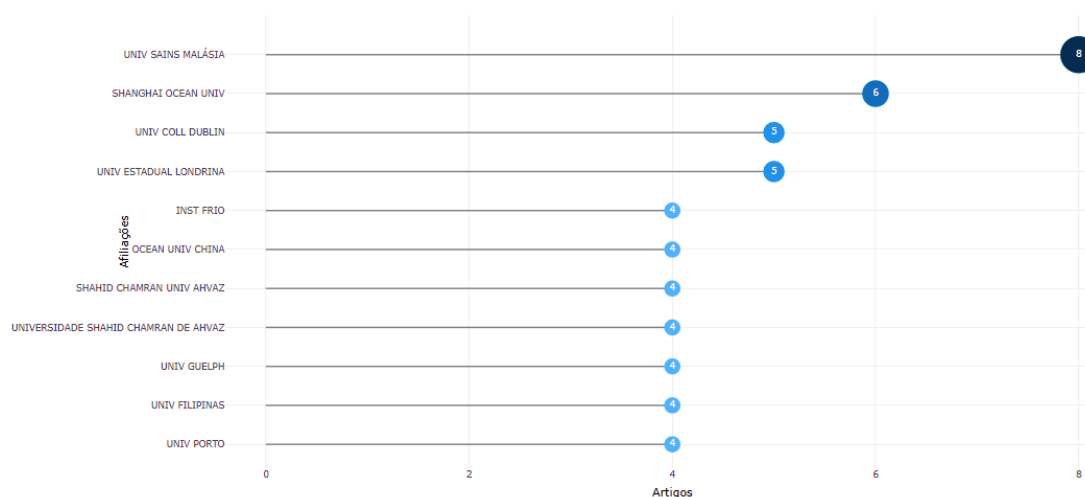


Figure 9. The 10 most relevant affiliations for publishing articles of analyzed data from bibliometric analysis of the use of organic acids in aquaculture from 1995-2024

The contribution of the State University of Londrina (from Brazil) appears only in 2023, with the publication of 5 articles. The contribution of the fifth place, Instituto del Frío (CSIC), appears on the timeline with its first publication in 2006 (2 articles), publishing again in 2007 (2 articles), and not publishing any more articles related to the topic. The sixth place was the Public University in Qingdao (Ocean University of China), which published its 4 documents in 2018, and the seventh place published its 4 documents in 2024, the Iraqi University in Ahvaz (Shahid Chamran University of Ahvaz).

The University of Guelph contributed for the first time by publishing 4 documents related to the topic in 2021. The documents published by the second-to-last place, the University of the Philippines, appear on the timeline in 2018; all 4 articles published by this affiliate relate to the subject. Finally, the University of Porto, ranked tenth in the most relevant category by the number of publications, contributed with the publication of 4 articles released in 2024.

3.8. Research trends

Research is increasingly focused on using organic acids in aquaculture as dietary supplements. The trend is to explore the effects of distinct acids, such as citric, acetic, lactic, ascorbic, propionic, and butyric, either individually, combined, or with other treatments, in various species (Table 7), as well as in different approaches regarding performance, health, disease resistance, and productivity. Analyses on the antibacterial activity of these compounds tend to include new treatments and specific dosages, based on studies that have already proven effective.

Certain acids can serve as energy sources in metabolic processes, enhancing meat quality. The positive effects of acids result from their interactions, as acid blends are often utilized, making it challenging to identify a single dominant mode of action. These mixtures can have cascading effects, acting as non-antibiotic growth promoters and reducing the excretion of environmentally harmful compounds. However, outcomes have been inconsistent, depending on dosage, treatment duration, acid type, diet composition, animal age, and environmental conditions [92].

Acids also influence the aroma and taste of feed. Ions produced by the dissociation of acids stimulate transient receptor potential channels in the oral cavity, responsible for sensations such as burning and pain, which send signals to the brain. The sour taste is detected by sensory cells in the taste buds, transmitting the stimulus to the brain via cranial nerves. The correct dosage and type of acid can enhance the flavor and aroma of feed; however, incorrect amounts may cause somatic pain and reduce feed intake [93].

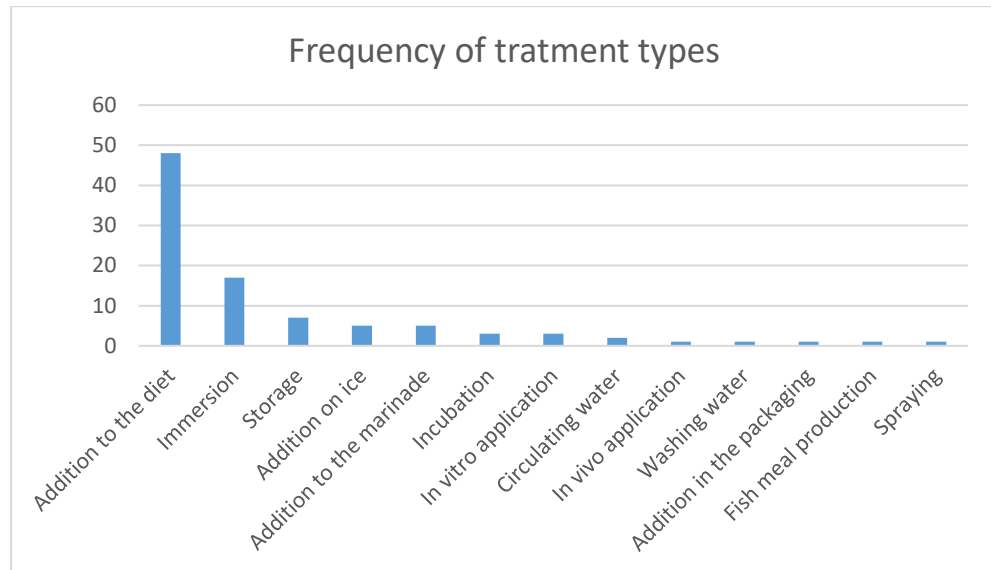
Figure 10B demonstrates the application types for the acids found in the studies presented in Table 7. It was observed that most of the studies incorporated organic acids directly, either in meat or in the diet of aquatic animals. The challenges of this technique are especially the alteration of sensory characteristics of either the meat or the diet for aquatic animals and the lack of uniformity in the application. However, when direct applications by droplets are used, such as spraying or nebulization, these problems can often be reduced [15].

Table 7. Main organic acids used with their respective treatments and aquatic species of analyzed data from bibliometric analysis of organic acids in aquaculture (O A: organic acids).

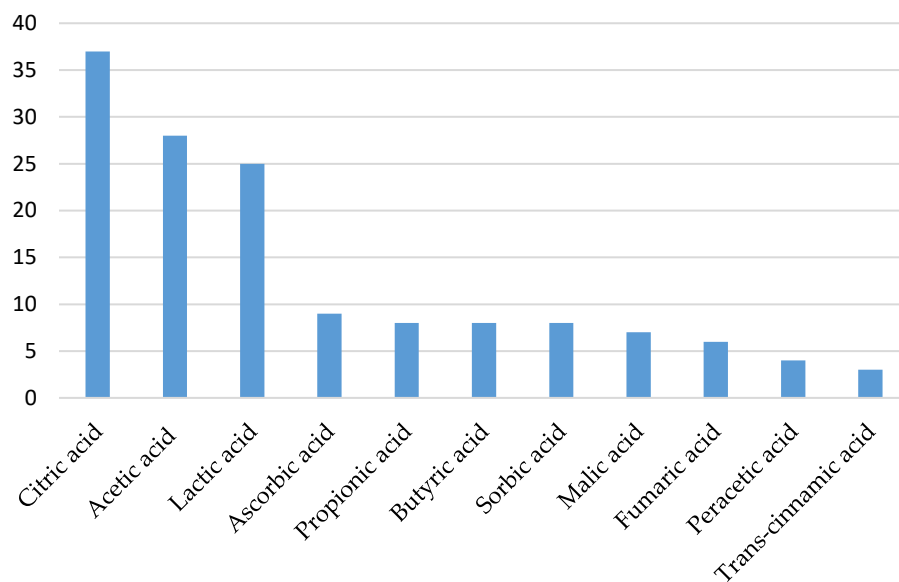
Acid types	Treatments	Species of fish	Reference
Combination of OA	Addition to the diet	Tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	[5,38]
Citric	Addition to the diet	Yellow Tail (<i>Seriola quinqueradiata</i>); Rodovalho (<i>Scophthalmus maximus L.</i>)	[45,46]
Citric	Immersion	Shrimp mantis (<i>Erugosquilla massavensis</i>); Barramundi (<i>Lates calcarifer</i>); Robalo (<i>Lateolabrax japonicas</i>)	[36,47,48]
Acetic	Addition to the diet	Pacific white shrimp (<i>Penaeus vannamei</i>); Siberian sturgeon (<i>Acipenser baerii</i>)	[49,50]
Acetic	Storage	Smoked salmon (<i>Salmo Salar</i>)	[51]
Lactic	Addition to the diet	Common carp (<i>Cyprinus carpio</i>); Beluga sturgeon (<i>Huso huso</i>)	[52,53]
Lactic	Immersion	Lagoon mullet (<i>Mugil cephalus</i>), Catfish (<i>Pangasianodon</i>)	[54,55]
Lactic	Storage	Sardine (<i>Sardina pilchardus</i>); Lagoon mullet (<i>Mugil cephalus</i>)	[54,56]
Lactic	Immersion of storage	Green mussel (<i>Perna Viridis</i>); Codfish (<i>Gadus morhua</i>)	[57,58]
Citric and lactic	Addition on ice	Cod (<i>Merluccius merluccius</i>)	[59]
Acetic, citric, and lactic	Immersion	Fish meat	[60]
Lactic, citric, and peracetic	Immersion	Golden (<i>Sparus aurata</i>)	[27]
Citrus, ascorbic, and lactic	Addition on ice	Horse mackerel (<i>Scomber scombru</i>); Cod (<i>Merluccius merluccius</i>)	[61,62]
Ascorbic, citric, and lactic	In Vitro	Salmon (<i>Salmo salar</i>) of Codfish (<i>Gadus morhua</i>)	[63]
Citrus, ascorbic, and acetic	Spraying	Norwegian lobster (<i>Nephrops norvegicus</i>)	[64]

Figure 10A demonstrates the types of acids found in the works shown in Table 7.

A



B



C

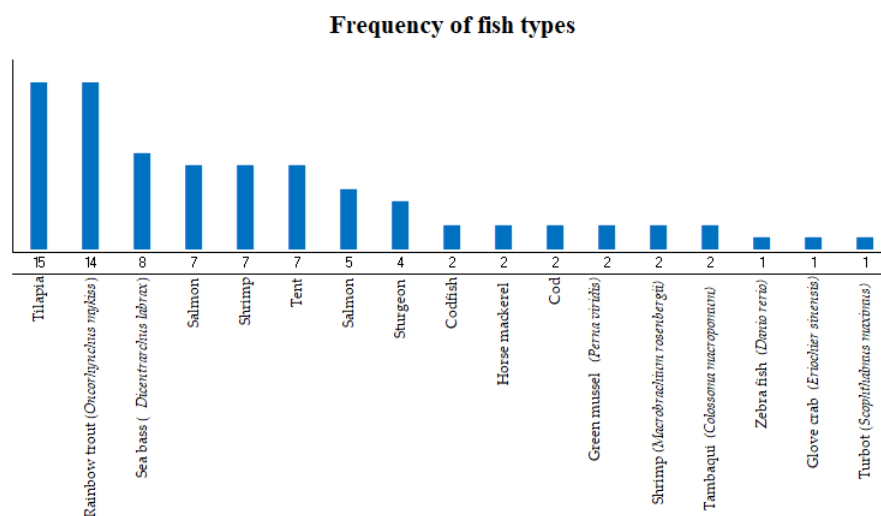


Figure 10. Frequency of treatment types (A), organic acids (B), and fish types (C) of analyzed data from bibliometric analysis of organic acids in aquaculture

Another pertinent factor is that the efficacy of acids as additives depends on genotype. Figure 10C demonstrates the types of aquatic animals tested with the acids found in the studies shown in Table 7. Recently, Naya-Català et al. [46] conducted an experiment supplementing organic acids, phytogenics, and probiotics in a feeding trial with reference gilthead sea bream and those selected for growth within the Spanish National Breeding Program (PROGENSA). The authors reported that phytobiotics primarily influenced the transcriptome of genetically selected fish, whereas organic acids modified the gut microbiota of reference fish. Probiotics exhibited an opposite pattern to the other two treatments regarding weight gain and induced changes in both groups' transcriptome and gut microbiota. These findings suggest that incorporating metagenomics and transcriptomics is crucial for the success of innovative breeding and nutrition programs.

Recent studies have indicated that poor water quality management can significantly harm Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) health, leading to decreased growth performance, altered body composition, compromised antioxidant and immune responses, and changes in physiological and histopathological parameters. While dietary supplementation with organic acids offers enhanced growth and increased disease resistance, its efficacy depends on maintaining optimal water quality. Deterioration in water quality may render organic acids an additional stressor for the fish [94]. Contradictorily, under low dissolved oxygen conditions, organic acids improved Nile tilapia's growth performance, digestibility, and intestinal morphology [95]. These findings highlight a variability in the results that requires further investigation.

The European Union regulates the use of certain organic acids as technological additives in animal feed and imposes restrictions to prevent their indiscriminate use. Some acids, such as acetic acid, irritate the skin when diluted and become corrosive at higher concentrations, as with formic acid. Lactic acid irritates the eyes, is corrosive to the skin, and can irritate the respiratory tract. Propionic acids are corrosive to the skin, mucous membranes, and eyes [36].

Another factor to consider is the change in production cost with adding acidifiers to the feed. Few studies address the additional cost of these compounds, a limitation. Abdel-Tawwab et al. [28] used a commercial product that combines formic, lactic, and citric acid in a polyculture system and, despite the increase in feed costs, supplementation of 3.0 g/kg of diet increased economic returns by 23.3%, especially due to the high sales

of tilapia and the increased weight gain of supplemented animals. However, to optimize the positive effects of these compounds in some cases, it is necessary to use higher doses per ton, and increased supplementation becomes a limiting factor due to the increase in the final cost of the feed [96].

Using organic acids in aquaculture has emerged as a promising strategy for optimizing zootechnical performance and enhancing animal health and well-being [42,97]. These compounds also contribute to food safety due to their antimicrobial action [98] and minimize environmental impacts when used as substitutes for antibiotics [29], helping to reduce microbiological contamination and mitigate the release of residues associated with these drugs. However, the lack of standardization in tests and methodologies for applying organic acids compromises the replicability of studies and the comparison of results, making their commercial adoption more effective.

The action of these compounds on zootechnical parameters optimization of animal health and well-being is not completely established due to the lack of uniformity in the tests. Significant improvements in zootechnical performance were observed in some species [57,59,96,99], while other studies report no significant difference between treatments and control [27,58,100]. The gut microbiota was positively modulated, promoting a favorable microbial balance in some species [101], but at high concentrations, they can negatively impact the microbiome [42].

Few studies have directly compared the impacts of similar treatments on the gut microbiota of different fish species. Research comparing similar doses and dietary complexes found different results, with the diversity and composition of the intestinal microbiota in some cases not showing significant differences in fish-fed increasing doses [102]. Differently, Busti, et al. [103] reported non-linear effects on microbial diversity, with an initial reduction followed by an increase at the highest dose. These varied findings make understanding treatment effects across different taxonomic groups difficult.

Seafood preservation is critical for the food industry because consumers demand fresh and minimally processed products [104]. Fresh and healthy fish are generally sterile, as their immune system prevents bacterial growth in the meat. However, after death and collection, and during storage, microorganisms invade the meat by moving between the muscle fibers [105]. This occurs because fish have intrinsic and extrinsic characteristics favorable to microbial growth, such as high nutritional composition, high water content, and favorable pH [106].

The fishing industry faces significant challenges in maintaining the quality of fish and seafood, often due to the long distances between capture or production sites and consumers. This factor provides opportunities for microbial growth and recontamination [107]. In addition to contamination by natural microbiota, fish can be easily contaminated during processing, either by spoilage microorganisms or pathogens, becoming asymptomatic hosts and facilitating cross-contamination throughout the industrialization and marketing stages [108]. This problem is aggravated by inadequate handling and the high capacity of microorganisms to form biofilms, representing an excellent risk for the food industry [109].

In addition to microbial growth, food quality degradation is also associated with chemical processes, with lipid oxidation being one of the main mechanisms. Lipid oxidation can form compounds responsible for rancidity, discoloration, and accumulation of potentially toxic substances harmful to human health [110]. Therefore, to ensure the safety and quality of fish and seafood, protecting them against bacteria, fungi, and other contaminants is essential. The main methods used to extend the shelf life of these products include suppressing lipid oxidation and preventing bacterial growth [111,112].

To minimize contamination and degradation, techniques, in addition to conventional processes, have shown the potential to improve food safety and quality [113]. In this context, food additives and preservatives are widely used to create barriers against microbiological growth, extending shelf life, with organic acids being a potential additive.

Organic acids as food antimicrobials have also proven effective due to their antibacterial action. These acids can reduce the meat's pH and permeate the bacterial membrane in its undissociated form [114]. Inside the bacteria, where the environment is more basic, they undergo ionic dissociation, acidifying the cytoplasm, which directly interferes with bacterial metabolism and, consequently, leads to the death of the bacteria [115]. However, further investigation into the long-term effects of organic acid supplementation is needed, as spoilage bacteria, yeasts, and fungi have developed resistance to organic acids such as *Alicyclobacillus acidoterrestris* and *Aspergillus niger* [115,116].

Lactic and acetic acids are also subject to regulatory restrictions, such as those established by the European Food Safety Authority (EFSA). The agency authorizes using both as decontamination agents but sets safe concentration limits: 2% to 5% for lactic

acid and 2% to 4% for acetic acid. These compounds can be applied by spraying onto carcass surfaces or by spraying and immersing (for 5 to 30 seconds) during the processing of pork cuts [117].

The Food Safety and Inspection Service (FSIS, 2024), an agency within the United States Department of Agriculture (USDA), maintains a repository of technologies primarily focused on meat and poultry processing. FSIS has approved the use of 2.5% citric acid as an antimicrobial agent in the processing of cattle heads. Additionally, it has authorized the use of an aqueous solution containing up to 400 ppm of peroxyacetic acid and 280 ppm of hydrogen peroxide for microbial control in carcasses, parts, trimmings, and organs of cattle or swine, and up to 1000 ppm of peroxyacetic acid and 700 ppm of hydrogen peroxide in parts, organs, and carcasses of poultry. The solution may optionally include acetic acid or sulfuric acid, depending on the pH required for the water used in washing and cooling processes.

Another relevant approach in this context is the microencapsulation of organic acid mixtures, which aims to improve the efficiency of dietary supplements and promote better zootechnical performance. Studies about the combined effects of different acids in various aquaculture branches, such as fish farming, shrimp farming, and malacoculture, represent a promising area of research [118].

The emphasis on sustainable practices is also relevant in using organic acids in aquaculture, as these compounds improve animal health and welfare and reduce environmental impacts. The reduction of microbiological contamination and the improvement in waste management are additional benefits that reinforce the importance of these additives for the sustainability of the sector.

4. Conclusion

The results of the bibliometric analysis demonstrated the growing interest in aquaculture activities, which has led to a significant expansion in scientific production in the field. China has stood out in this context, contributing the most published articles over the past 30 years. Organic acids in aquaculture have received global attention primarily as a dietary supplement, effectively reducing microbial loads in closed culture and water reuse systems. The addition of these acids to the diet of groups of species such as red hybrid tilapia, described in the most cited article of this bibliometric analysis over a decade ago, already projected the importance of organic acids in improving aquaculture health and productivity.

In the studies conducted, among the species investigated, the ones that stood out the most were tilapia (*Oreochromis niloticus*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*), common carp (*Cyprinus carpio*), Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), and whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). The report made in 2016 in the third most referenced article (here cited as [34]), according to this bibliometric analysis, corroborated the assertion that acidifiers improved growth performance, blood parameters, and body composition of tilapia, increasing disease resistance, confirming the antibacterial activity of the acids in vitro and in vivo.

The research covered in this review's second most cited article reaffirms the effectiveness of organic acids in fish and shrimp farming. Evidence points to positive impacts on different shrimp species, including improvements in zootechnical performance, modulation of the intestinal microbiota, increased digestibility, and greater resistance to pathogens. These findings reinforce the potential of organic acids as a promising strategy to optimize the health and performance of organisms grown in aquaculture.

Based on the analyzed studies, the most frequently mentioned acids, such as citric, acetic, lactic, ascorbic, and propionic acids, have demonstrated various applications in aquaculture. These acids were manipulated during feed production to prevent contamination and used as dietary supplements, incorporated into refrigeration ice, applied in immersion and spraying decontamination treatments, and utilized as food preservatives and pathogen inactivators, both in vivo and in vitro. These results highlight the versatility and potential of organic acids as practical tools in improving safety and quality in aquaculture.

In summary, using organic acids in aquaculture is a promising strategy to promote sustainability, enhance fish health and performance, and reduce environmental impacts. However, their effectiveness depends on dosage, acid type, fish genotype, and environmental conditions, requiring tailored and integrated approaches. While regulatory barriers are essential to minimizing risks to human and animal health and preventing the indiscriminate use of potentially harmful compounds at high concentrations, they can also hinder the large-scale adoption of organic acids as effective alternatives. This, in turn, slows technological innovation and limits the expansion of their applications. Despite

these challenges and occasional inconsistencies, organic acids remain valuable supplements for aligning productivity, sustainability, and animal welfare.

References

1. FAO. Organización de las Naciones Unidas par la Alimentación y la Agricultura. Uma produção pesqueira e aquícola sem precedentes contribui decisivamente para a segurança alimentar global [Unprecedented fisheries and aquaculture production makes a decisive contribution to global food security]. Available online: (accessed on February 24).
2. Diah, W.; Marsal, C.J.; Tamat, W.; Chowdhury, A.J.K. Contamination prevention in ASEAN aquaculture: a review of prospective challenges and mitigations. *Desalination and Water Treatment* 2023, 315, 523-537.
3. Limbu, S.M.; Chen, L.Q.; Zhang, M.L.; Du, Z.Y. A global analysis on the systemic effects of antibiotics in cultured fish and their potential human health risk: a review. *Reviews in Aquaculture* 2021, 13, 1015-1059.
4. Rossi, B.; Esteban, M.A.; García-Beltran, J.M.; Giovagnoni, G.; Cuesta, A.; Piva, A.; Grilli, E. Antimicrobial power of organic acids and nature-identical compounds against two *Vibrio* spp.: an in vitro study. *Microorganisms* 2021, 9, 966.
5. Ng, W.K.; Koh, C.B. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture* 2017, 9, 342-368.
6. Simjee, S.; Ippolito, G. European regulations on prevention use of antimicrobials from january 2022. *Brazilian Journal of Veterinary Medicine* 2022, 44, e000822.
7. EC. Regulation (EU) 2019/6 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on veterinary medicinal products and repealing Directive 2001/82/EC. *Official Journal of the European Union* 2019, 4, 43-167.
8. EC. European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) 2019/4 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the manufacture, placing on the market, and use of medicated feed for animals, amending Regulation (EC) No 183/2005 of the European Parliament and of the Council and repealing Council Directive 90/167/EEC (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union* 2019, 4, 1-23.
9. Chowdhury, M.A.K.; Song, H.; Liu, Y.; Bunod, J.-D.; Dong, X.-H. Effects of microencapsulated organic acid and their salts on growth performance, immunity, and disease resistance of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Sustainability* 2021, 13, 7791.
10. Mavraganis, T.; Constantina, C.; Kolygas, M.; Vidalis, K.; Nathanailides, C. Environmental issues of Aquaculture development. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 2020, 24, 441-450.
11. Okon, E.M.; Okocha, R.C.; Taiwo, A.B.; Michael, F.B.; Bolanle, A.M. Dynamics of co-infection in fish: A review of pathogen-host interaction and clinical outcome. *Fish and Shellfish Immunology Reports* 2023, 4, 100096.
12. Done, H.Y.; Venkatesan, A.K.; Halden, R.U. Does the recent growth of aquaculture create antibiotic resistance threats different from those associated with land animal production in agriculture? *The AAPS journal* 2015, 17, 513-524.
13. Hossain, A.; Habibullah-Al-Mamun, M.; Nagano, I.; Masunaga, S.; Kitazawa, D.; Matsuda, H. Antibiotics, antibiotic-resistant bacteria, and resistance genes in

- aquaculture: risks, current concern, and future thinking. *Environmental Science and Pollution Research* 2022, 1-22.
14. Sheng, L.; Wang, L. The microbial safety of fish and fish products: Recent advances in understanding its significance, contamination sources, and control strategies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2021, 20, 738-786.
 15. Pierozan, M.B.; Oliveira Filho, J.G.d.; Cappato, L.P.; Costa, A.C.; Egea, M.B. Essential Oils Against Spoilage in Fish and Seafood: Impact on Product Quality and Future Challenges. *Foods* 2024, 13, 3903.
 16. Zhang, C.; Liu, X.; Li, H.; Hu, T.; Jatt, A.-N.; Liu, Y. Antibacterial mechanism of lactobionic acid against *Aeromonas salmonicida* by transcriptomic analysis and its application in refrigerated grass carp. *Food Control* 2024, 158, 110255.
 17. Choi, J.; Singh, A.K.; Chen, X.; Lv, J.; Kim, W.K. Application of organic acids and essential oils as alternatives to antibiotic growth promoters in broiler chickens. *Animals* 2022, 12, 2178.
 18. Al-Hisnawi, A.; Rodiles, A.; Rawling, M.D.; Castex, M.; Waines, P.; Gioacchini, G.; Carnevali, O.; Merrifield, D.L. Dietary probiotic *Pediococcus acidilactici* MA18/5M modulates the intestinal microbiota and stimulates intestinal immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society* 2019, 50, 1133-1151.
 19. Van Doan, H.; Hoseinifar, S.H.; Naraballoh, W.; Paolucci, M.; Wongmaneeprateep, S.; Charoenwattanasak, S.; Dawood, M.A.; Abdel-Tawwab, M. Dietary inclusion of watermelon rind powder and *Lactobacillus plantarum*: Effects on Nile tilapia's growth, skin mucus and serum immunities, and disease resistance. *Fish & Shellfish Immunology* 2021, 116, 107-114.
 20. Hoseini, S.M.; Moghaddam, A.A.; Ghelichpour, M.; Pagheh, E.; Haghpanah, A.; Gharavi, B.; Mansouri, B.; Arghideh, M. Dietary glycine supplementation modulates antioxidant and immune responses of beluga, *Huso huso*, juveniles. *Aquaculture reports* 2022, 23, 101026.
 21. Fabay, R.V.; Serrano Jr, A.E.; Alejos, M.S.; Fabay, J.V. Effects of dietary acidification and acid source on fish growth and feed efficiency. *World Academy of Sciences Journal* 2022, 4, 21.
 22. das Neves, S.C.V.; da Silva, S.M.B.C.; Costa, G.K.A.; Correia, E.S.; Santos, A.L.; da Silva, L.C.R.; Bicudo, Á.J.A. Dietary Supplementation with Fumaric Acid Improves Growth Performance in Nile Tilapia Juveniles. *Animals* 2022, 12, 8.
 23. Sudhakaran, G.; Guru, A.; Haridevamuthu, B.; Murugan, R.; Arshad, A.; Arockiaraj, J. Molecular properties of postbiotics and their role in controlling aquaculture diseases. *Aquaculture Research* 2022, 53, 3257-3273.
 24. Om, H.; Chand, U.; Kushawaha, P.K. Postbiotics: An alternative and innovative intervention for the therapy of inflammatory bowel disease. *Microbiological Research* 2024, 279, 127550.
 25. Rasidi, R.; Pamungkas, W.; Handajani, H.; Puspaningsih, D.; Taqwa, F.H.; Hartami, P. Sustaining Aquaculture: Organic Acid as Feed Additives in Aquaculture. In *Sustainable Feed Ingredients and Additives for Aquaculture Farming: Perspectives from Africa and Asia*, Springer: 2024; pp. 481-500.
 26. Tugnoli, B.; Giovagnoni, G.; Piva, A.; Grilli, E. From acidifiers to intestinal health enhancers: how organic acids can improve growth efficiency of pigs. *Animals* 2020, 10, 134.
 27. da Silva, V.G.; Favero, L.M.; Mainardi, R.M.; Ferrari, N.A.; Chideroli, R.T.; Di Santis, G.W.; de Souza, F.P.; da Costa, A.R.; Gonçalves, D.D.; Nuez-Ortin, W.G.

- Effect of an organic acid blend in Nile tilapia growth performance, immunity, gut microbiota, and resistance to challenge against francisellosis. *Research in Veterinary Science* 2023, 159, 214-224.
28. Abdel-Tawwab, M.; Khattaby, A.-R.A.; Monier, M.N. Dietary acidifiers blend enhanced the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), striped mullet (*Mugil cephalus*), and African catfish (*Clarias gariepinus*) polycultured in earthen ponds. *Aquaculture International* 2019, 27, 369-379.
 29. Katya, K.; Park, G.; Bharadwaj, A.S.; Browdy, C.L.; Vazquez-Anon, M.; Bai, S.C. Organic acids blend as dietary antibiotic replacer in marine fish olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Research* 2018, 49, 2861-2868.
 30. Pierozan, M.B.; Alves, J.d.S.; Horn, L.D.; Santos, P.A.d.; Silva, M.A.P.d.; Egea, M.B.; Minafra, C.; Cappato, L.P.; Costa, A.C. Inactivation of *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia Coli*, and *Staphylococcus Aureus* in Tilapia Fillets (*Oreochromis Niloticus*) with Lactic and Peracetic Acid through Fogging and Immersion. *Foods* 2024, 13, 1520.
 31. Ntzimani, A.; Semenoglou, I.; Dermesonlouoglou, E.; Tsironi, T.; Taoukis, P. Surface Decontamination and Shelf-Life Extension of Gilthead Sea Bream by Alternative Washing Treatments. *Sustainability* 2022, 14, 5887.
 32. Zhang, H.; Chao, B.; Gao, X.; Cao, X.; Li, X. Effect of starch-derived organic acids on the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons in an aquaculture-sediment microbial fuel cell. *Journal of Environmental Management* 2022, 311, 114783.
 33. de Camargo, L.S.; Barbosa, R.R. Bibliometria, cienciometria e um possível caminho para a construção de indicadores e mapas da produção científica. *PontodeAcesso* 2018, 12, 109-125.
 34. Prancutè, R. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications* 2021, 9, 12.
 35. FAO. Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. In *Towards Blue Transformation*, FAO: Rome, Italy, 2022; Vol. 3, p #266 p.
 36. EUR-Lex. Commission Implementing Regulation (EU) 2022/415 of 11 March 2022 concerning the authorisation of malic acid, citric acid produced by *Aspergillus niger* DSM 25794 or CGMCC 4513/CGMCC 5751 or CICC 40347/CGMCC 5343, sorbic acid and potassium sorbate, acetic acid, sodium diacetate and calcium acetate, propionic acid, sodium propionate, calcium propionate and ammonium propionate, formic acid, sodium formate, calcium formate and ammonium formate, and lactic acid produced by *Bacillus coagulans* (LMG S-26145 or DSM 23965), or *Bacillus smithii* (LMG S-27890) or *Bacillus subtilis* (LMG S-27889) and calcium lactate as feed additives for all animal species. *OJ L* 2022, 85, 6-27, doi:http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2022/415/oj.
 37. Gouvêa, A.L.; de Ávila, C.H.; Ladislau, D.O.; de Lima, G.M.; Ribeiro, G.H.M.; Vaz, J.A.; Tomaz, L.B.P.; Soares, M.D.; de Moura Netto, N.; Costa, P.R. Índice H dos pesquisadores brasileiros: um olhar comparativo entre as bases de dados WoS, Scopus e Google Scholar. *Research, Society and Development* 2022, 11, e13711527832-e13711527832.
 38. Romano, N.; Koh, C.-B.; Ng, W.-K. Dietary microencapsulated organic acids blend enhances growth, phosphorus utilization, immune response, hepatopancreatic integrity and resistance against *Vibrio harveyi* in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 2015, 435, 228-236, doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.037>.

39. Ng, W.-K.; Koh, C.-B.; Teoh, C.-Y.; Romano, N. Farm-raised tiger shrimp, *Penaeus monodon*, fed commercial feeds with added organic acids showed enhanced nutrient utilization, immune response and resistance to *Vibrio harveyi* challenge. *Aquaculture* 2015, 449, 69-77, doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.006>.
40. Davies, S.-J.; Guroy, D.; Hassaan, M.S.; El-Ajnaf, S.; El-Haroun, E. Evaluation of co-fermented apple-pomace, molasses and formic acid generated sardine based fish silages as fishmeal substitutes in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) production. *Aquaculture* 2020, 521, 735087.
41. Liu, D.; Pedersen, L.-F.; Straus, D.L.; Kloas, W.; Meinelt, T. Alternative prophylaxis/disinfection in aquaculture-adaptable stress induced by peracetic acid at low concentration and its application strategy in RAS. *Aquaculture* 2017, 474, 82-85.
42. Libanori, M.; Santos, G.; Pereira, S.; Lopes, G.; Owatari, M.; Soligo, T.; Yamashita, E.; Pereira, U.; Martins, M.; Mouriño, J. Dietary supplementation with benzoic organic acid improves the growth performance and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after challenge with *Streptococcus agalactiae* (Group B). *Aquaculture* 2021, 545, 737204.
43. dos Santos, R.R.; Xavier, R.G.C.; de Oliveira, T.F.; Leite, R.C.; Figueiredo, H.C.P.; Leal, C.A.G. Occurrence, genetic diversity, and control of *Salmonella enterica* in native Brazilian farmed fish. *Aquaculture* 2019, 501, 304-312, doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.034>.
44. Ohtani, M.; Villumsen, K.R.; Forberg, T.; Lauritsen, A.H.; Tinsley, J.; Bojesen, A.M. Assessing effects of dietary supplements on resistance against *Yersinia ruckeri* infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using different infection models. *Aquaculture* 2020, 519, 734744, doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734744>.
45. Suehs, B.A.; Yamamoto, F.Y.; Asiri, F.; Gatlin III, D.M. Poly- β -hydroxybutyrate has limited effects on growth and immune responses of juvenile hybrid striped bass *Morone chrysops* $\times$ *M. saxatilis*, and red drum *Sciaenops ocellatus* based on in vivo and in vitro approaches. *Aquaculture* 2023, 570, 739429.
46. Naya-Català, F.; Torrecillas, S.; Piazzon, M.C.; Sarih, S.; Caldach-Giner, J.; Fontanillas, R.; Hostins, B.; Sitja-Bobadilla, A.; Acosta, F.; Pérez-Sánchez, J. Can the genetic background modulate the effects of feed additives? Answers from gut microbiome and transcriptome interactions in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed with a mix of phytogenics, organic acids or probiotics. *Aquaculture* 2024, 586, 740770.
47. Marques, F. Os limites do índice-h. *Boletim Técnico do PPEC* 2013, 2, 35-39.
48. Engqvist, L.; Frommen, J.G. The h-index and self-citations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2008, 99, 11270-11274.
49. Kelly, C.D.; Jennions, M.D. The h index and career assessment by numbers. *Trends in Ecology & Evolution* 2006, 21, 167-170.
50. Hitchcock, S. The effect of open access and downloads ('hits') on citation impact: a bibliography of studies. 2004.
51. Alderman, D.; Hastings, T. Antibiotic use in aquaculture: development of antibiotic resistance—potential for consumer health risks. *International Journal of Food Science and Technology* 1998, 33, 139-155.
52. Castanon, J. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry science* 2007, 86, 2466-2471.

53. Strong, M.F. ECO'92: critical challenges and global solutions. *Journal of International Affairs* 1991, 287-300.
54. Carvalho Filho, J. Os eventos que esquentaram a aquicultura brasileira. Available online: (accessed on April 1).
55. Hosch, G.; Ferraro, G.; Failler, P. The 1995 FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries: Adopting, implementing or scoring results? *Marine Policy* 2011, 35, 189-200.
56. Ng, W.-K.; Koh, C.-B.; Sudesh, K.; Siti-Zahrah, A. Effects of dietary organic acids on growth, nutrient digestibility and gut microflora of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., and subsequent survival during a challenge test with *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture Research* 2009, 40, 1490-1500, doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02249.x>.
57. Reda, R.M.; Mahmoud, R.; Selim, K.M.; El-Araby, I.E. Effects of dietary acidifiers on growth, hematology, immune response and disease resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish Shellfish Immunol* 2016, 50, 255-262, doi:10.1016/j.fsi.2016.01.040.
58. Rimoldi, S.; Gliozheni, E.; Ascione, C.; Gini, E.; Terova, G. Effect of a specific composition of short-and medium-chain fatty acid 1-Monoglycerides on growth performances and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *PeerJ* 2018, 6, e5355.
59. Koh, C.B.; Romano, N.; Zahrah, A.S.; Ng, W.K. Effects of a dietary organic acids blend and oxytetracycline on the growth, nutrient utilization and total cultivable gut microbiota of the red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., and resistance to *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture Research* 2016, 47, 357-369.
60. López-Caballero, M.E.; Martínez-Alvarez, O.; Gómez-Guillén, M.d.C.; Montero, P. Quality of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with melanosis-inhibiting formulations during chilled storage. *International Journal of Food Science & Technology* 2007, 42, 1029-1038, doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01328.x>.
61. Qiu, X.; Chen, S.; Liu, G.; Yang, Q. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4 °C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract. *Food chemistry* 2014, 162, 156-160.
62. Schirmer, B.C.; Heiberg, R.; Eie, T.; Møretrø, T.; Maugesten, T.; Carlehøg, M.; Langsrud, S. A novel packaging method with a dissolving CO₂ headspace combined with organic acids prolongs the shelf life of fresh salmon. *International journal of food microbiology* 2009, 133, 154-160.
63. Yilmaz, S.; Sova, M.; Ergün, S. Antimicrobial activity of trans-cinnamic acid and commonly used antibiotics against important fish pathogens and nonpathogenic isolates. *Journal of Applied Microbiology* 2018, 125, 1714-1727, doi:<https://doi.org/10.1111/jam.14097>.
64. Khoshhava, M.B.; Abedian Kenari, A.; Mirzakhani, M.K. The effects of concurrent of citric acid and soybean-based diets on growth performance, body composition, haemobiochemical indices, digestibility and fatty acid profile in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition* 2021, 27, 1671-1682.
65. Hussain, M.; Hussain, S.M.; Ahmad, N.; Jalees, M.M.; Ismat, N.; Riaz, D.; Arsalan, M.Z.-u.-H.; Faisal, M. Citric Acid as a Feed Supplement: Effect on *Labeo rohita* Fingerlings to Promote Nutrient Digestibility, Growth and Hematological Indices. 2024.

66. Chen, Z.; Zhao, S.; Liu, Y.; Yang, P.; Ai, Q.; Zhang, W.; Xu, W.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Mai, K. Dietary citric acid supplementation alleviates soybean meal-induced intestinal oxidative damage and micro-ecological imbalance in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture Research* 2018, 49, 3804-3816.
67. Yildiz, H.Y.; Yilmaz, B.H. Dietary citric acid decreased the theront number of *Cryptocaryon irritans* (Ciliata) in seawater-adapted tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Fish Diseases* 2024, 47, e13881.
68. Dai, D.; Qiu, K.; Zhang, H.-j.; Wu, S.-g.; Han, Y.-m.; Wu, Y.-y.; Qi, G.-h.; Wang, J. Organic acids as alternatives for antibiotic growth promoters alter the intestinal structure and microbiota and improve the growth performance in broilers. *Frontiers in Microbiology* 2021, 11, 618144.
69. Vidal, M.d.F. Piscicultura: v. 7 n. 252 (2022). *Caderno Setorial ETENE* 2024, 7.
70. Dusdal, J.; Powell, J.J. Benefits, motivations, and challenges of international collaborative research: a sociology of science case study. *Science and Public Policy* 2021, 48, 235-245.
71. Martello, L.S. Zootecnia de Precisão (ZP): conceitos, aplicações e desafios. *Anais* 2017.
72. Adesogan, A.T.; Havelaar, A.H.; McKune, S.L.; Eilittä, M.; Dahl, G.E. Animal source foods: sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security* 2020, 25, 100325.
73. Akiyama, K.; Hirazawa, N.; Hatanaka, A. Coadministration of citric acid allows oxytetracycline dose reduction in yellowtail *Seriola quinqueradiata* infected with *Vibrio anguillarum*. *Diseases of Aquatic Organisms* 2020, 140, 25-29.
74. Özyurt, G.; Özyurt, C.E.; Aksun, E.T.; Özkütük, A.S. Nutritive value and safety aspects of acidified mantis shrimp during ambient storage. *Ege Journal of Fisheries & Aquatic Sciences (EgeJFAS)/Su Ürünleri Dergisi* 2019, 36.
75. Chen, L.; Li, X.; Lou, X.; Shu, W.; Hai, Y.; Wen, X.; Yang, H. NMR-based metabolomics reveals the antibacterial effect of electrolysed water combined with citric acid on *Aeromonas* spp. in barramundi (*Lates calcarifer*) fillets. *Food Research International* 2022, 162, 112046.
76. Jamis, J.O.; Tumbokon, B.L.M.; Caigoy, J.C.C.; Bunda, M.G.B.; Serrano, A.J. Effects of vinegars and sodium acetate on the growth performance of Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 2018, 70.
77. Zare, R.; Abedian Kenari, A.; Yazdani Sadati, M. Influence of dietary acetic acid, protexin (probiotic), and their combination on growth performance, intestinal microbiota, digestive enzymes, immunological parameters, and fatty acids composition in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). *Aquaculture International* 2021, 29, 891-910.
78. Heir, E.; Liland, K.H.; Carlehög, M.; Holck, A.L. Reduction and inhibition of *Listeria monocytogenes* in cold-smoked salmon by Verdad N6, a buffered vinegar fermentate, and UV-C treatments. *International journal of food microbiology* 2019, 291, 48-58.
79. Mirghaed, A.T.; Mirzargar, S.S.; Ghelichpour, M.; Moghaddam, A.A.; El-Haroun, E.; Hoseini, S.M. Effects of dietary lactic acid supplementation on growth performance, hemato-immunological parameters, and calcium and phosphorus status of common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture Reports* 2023, 29, 101499.
80. Matani Bour, H.; Esmaeili, N.; Abedian Kenari, A. Growth performance, muscle and liver composition, blood traits, digestibility and gut bacteria of beluga (*Huso*

- huso) juvenile fed different levels of soybean meal and lactic acid. *Aquaculture nutrition* 2018, 24, 1361-1368.
81. Yehia, H.M.; Alkhuriji, A.F.; Al-Masoud, A.H.; Tsiraki, M.; Mosilhey, S.H. The quality of handling and extended the shelf life and preservation of lagoon mullets fish (*Mugil cephalus*). *Food Science and Technology* 2022, 42, e53722.
 82. Kim, C.; Hearnberger, J.; Eun, J. Gram-negative bacteria in refrigerated catfish fillets treated with lactic culture and lactic acid. *Journal of food protection* 1995, 58, 639-643.
 83. Gogus, U.; Bozoglu, F.; Yurdugul, S. Comparative effects of lactic acid, nisin, coating combined and alone applications on some postmortem quality criteria of refrigerated *Sardina pilchardus*. *Journal of food quality* 2006, 29, 658-671.
 84. Arcales, J.A.A. Quality Changes of Chilled Green Mussel (*Perna Viridis*) Pre-Treated with Organic Acids and Sodium Tripolyphosphate. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* 2019, 7, 894-904.
 85. Smyth, C.; Brunton, N.P.; Fogarty, C.; Bolton, D.J. The effect of organic acid, trisodium phosphate and essential oil component immersion treatments on the microbiology of Cod (*Gadus morhua*) during chilled storage. *Foods* 2018, 7, 200.
 86. García-Soto, B.; Aubourg, S.P.; Calo-Mata, P.; Barros-Velázquez, J. Extension of the shelf life of chilled hake (*Merluccius merluccius*) by a novel icing medium containing natural organic acids. *Food Control* 2013, 34, 356-363.
 87. Özdemir, F.; Arslan, S. Susceptibility of *Staphylococcus aureus* Isolated from Different Raw Meat Products to Disinfectants. *European Journal of Biology* 2024, 83, 10-18.
 88. Sanjuás-Rey, M.; Gallardo, J.M.; Barros-Velázquez, J.; Aubourg, S.P. Microbial activity inhibition in chilled mackerel (*Scomber scombrus*) by employment of an organic acid-icing system. *Journal of Food Science* 2012, 77, M264-M269.
 89. Rey, M.S.; García-Soto, B.; Fuertes-Gamundi, J.R.; Aubourg, S.; Barros-Velázquez, J. Effect of a natural organic acid-icing system on the microbiological quality of commercially relevant chilled fish species. *LWT-Food Science and Technology* 2012, 46, 217-223.
 90. Pedrós-Garrido, S.; Clemente, I.; Calanche, J.; Condón-Abanto, S.; Beltrán, J.; Lyng, J.; Brunton, N.; Bolton, D.; Whyte, P. Antimicrobial activity of natural compounds against *listeria* spp. and their effects on sensory attributes in salmon (*Salmo salar*) and cod (*Gadus morhua*). *Food Control* 2020, 107, 106768.
 91. López-Caballero, M.E.; Martínez-Álvarez, Ó.; Gómez-Guillén, M.C.; Montero, P. Quality of Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) treated with a 4-hexylresorcinol-based formulation. *European Food Research and Technology* 2006, 222, 425-431.
 92. Ferronato, G.; Prandini, A. Dietary supplementation of inorganic, organic, and fatty acids in pig: A review. *Animals* 2020, 10, 1740.
 93. Nowak, P.; Zaworska-Zakrzewska, A.; Frankiewicz, A.; Kasprowicz-Potocka, M. The effects and mechanisms of acids on the health of piglets and weaners—a review. *Annals of Animal Science* 2021, 21, 433-455.
 94. Abdel-Aziz, M.F.; El Basuini, M.F.; Sadek, M.F.; Elokaby, M.A.; El-Dakar, A.Y.; Metwally, M.M.; Shehab, A.; Mabrok, M.; Abdel Rahman, A.N. Unchanged water stress induces growth retardation, histopathological alterations, and antioxidant-immune disruptions in *Oreochromis niloticus*: the promising role of dietary organic acids. *Aquaculture International* 2024, 32, 6031-6052.
 95. Tran-Ngoc, K.T.; Huynh, S.T.; Sendão, J.; Nguyen, T.H.; Roem, A.J.; Verreth, J.A.; Schrama, J.W. Environmental conditions alter the effect of organic acid salts

- on digestibility and intestinal morphology in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition* 2019, 25, 134-144.
96. Bhujel, R.C.; Perera, A.D.; Tacconi, A.; Gonçalves, R.A. Effect of Biotronic® Top Liquid Supplementation on the Growth Performance and Disease Resistance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Studies* 2022, 23.
 97. Brum, A.; Magnotti, C.; Tsuzuki, M.Y.; Sousa, E.M.d.O.; Mouriño, J.L.P.; Martins, M.L.; Lopes, R.G.; Derner, R.B.; Owatari, M.S. Pivotal Roles of Fish Nutrition and Feeding: Recent Advances and Future Outlook for Brazilian Fish Farming. *Fishes* 2025, 10, 47.
 98. Yavilioğlu, A.T.; YILMAZ, S. ANTIMICROBIAL EFFECTS OF ORGANIC ACIDS AGAINST FISH PATHOGEN *YERSINIA RUCKERI*. *AQUATIC ANIMAL REPORTS (AQAR)* 2024, 2, 31-35.
 99. Kumar, P.; Jain, K.; Sardar, P.; Sahu, N.; Gupta, S. Dietary supplementation of acidifier: effect on growth performance and haemato-biochemical parameters in the diet of *Cirrhinus mrigala* juvenile. *Aquaculture international* 2017, 25, 2101-2116.
 100. Huyben, D.; Chiasson, M.; Lumsden, J.S.; Pham, P.H.; Chowdhury, M.A.K. Dietary microencapsulated blend of organic acids and plant essential oils affects intestinal morphology and microbiome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microorganisms* 2021, 9, 2063.
 101. Mohtashempour, H.; Mohammadian, T.; Mesbah, M.; Rezaie, A.; Tabandeh, M.; Mozanzadeh, M.T. Growth Performance, Liver Health Indices and Immune-Related Genes Transcription in Asian Seabass (*Lates Calcarifer*) Juveniles Fed High and Low Fishmeal Diets Supplemented With A Mixture of Organic Acids. *Annals of Animal Science* 2024, 24, 867-880.
 102. Pelusio, N.F.; Rossi, B.; Parma, L.; Volpe, E.; Ciulli, S.; Piva, A.; D'Amico, F.; Scicchitano, D.; Candela, M.; Gatta, P.P. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. *Fish & shellfish immunology* 2020, 107, 324-335.
 103. Busti, S.; Rossi, B.; Volpe, E.; Ciulli, S.; Piva, A.; D'Amico, F.; Soverini, M.; Candela, M.; Gatta, P.P.; Bonaldo, A. Effects of dietary organic acids and nature identical compounds on growth, immune parameters and gut microbiota of European sea bass. *Scientific reports* 2020, 10, 21321.
 104. Moosavi-Nasab, M.; Mirzapour-Kouhdasht, A.; Oliyaei, N. Application of essential oils for shelf-life extension of seafood products. In *Essential Oils-Oils of Nature*, IntechOpen: 2019.
 105. Rathod, N.B.; Nirmal, N.P.; Pagarkar, A.; Özogul, F.; Rocha, J.M. Antimicrobial impacts of microbial metabolites on the preservation of fish and fishery products: A review with current knowledge. *Microorganisms* 2022, 10, 773.
 106. Morrissey, M.T.; Sylvia, G. Intrinsic and extrinsic factors affecting efficient utilization of marine resources. In *Developments in Food Science*, Elsevier: 2004; Vol. 42, pp. 37-43.
 107. Skåra, T.; Rosnes, J.; Leadley, C. Microbial decontamination of seafood. In *Microbial Decontamination in the Food Industry*, Elsevier: 2012; pp. 96-124.
 108. Nkosi, S.R. Molecular identification and characterization of selected food-borne pathogens in imported dried fish sold in informal markets around Gauteng province in South Africa. North-West University (South Africa), 2022.
 109. Vázquez-Sánchez, D.; Galvão, J.A.; Oetterer, M. Contamination sources, biofilm-forming ability and biocide resistance of *Staphylococcus aureus* in tilapia-

- processing facilities. *Food science and technology international* 2018, 24, 209-222.
110. Vieira, S.A.; Zhang, G.; Decker, E.A. Biological implications of lipid oxidation products. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2017, 94, 339-351.
 111. Georgantelis, D.; Ambrosiadis, I.; Katikou, P.; Blekas, G.; Georgakis, S.A. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 C. *Meat science* 2007, 76, 172-181.
 112. Šojić, B.; Ikonić, P.; Pavlić, B.; Zeković, Z.; Tomović, V.; Kocić-Tanackov, S.; Džinić, N.; Škaljac, S.; Ivić, M.; Jokanović, M. The effect of essential oil from sage (*Salvia officinalis* L.) herbal dust (food industry by-product) on the microbiological stability of fresh pork sausages. In Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; p. 012055.
 113. Hai, Y.; Zhou, D.; Lam, Y.L.N.; Li, X.; Chen, G.; Bi, J.; Lou, X.; Chen, L.; Yang, H. Nanoemulsified clove essential oils-based edible coating controls *Pseudomonas* spp.-causing spoilage of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets: Working mechanism and bacteria metabolic responses. *Food Research International* 2022, 159, 111594.
 114. McDermott, A.; Whyte, P.; Brunton, N.; Lyng, J.; Fagan, J.; Bolton, D. The effect of organic acid and sodium chloride dips on the shelf-life of refrigerated Irish brown crab (*Cancer pagurus*) meat. *Lwt* 2018, 98, 141-147.
 115. Xu, H.; Yan, S.; Gerhard, E.; Xie, D.; Liu, X.; Zhang, B.; Shi, D.; Ameer, G.A.; Yang, J. Citric acid: a nexus between cellular mechanisms and biomaterial innovations. *Advanced Materials* 2024, 36, 2402871.
 116. Lund, M.; Ray, C. Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2017, 65, 4537-4552.
 117. EFSA Panel on Food Contact Materials, E.; Aids, P.; Silano, V.; Barat Baviera, J.M.; Bolognesi, C.; Brüscheweiler, B.J.; Chesson, A.; Cocconcelli, P.S.; Crebelli, R.; Gott, D.M., et al. Evaluation of the safety and efficacy of the organic acids lactic and acetic acids to reduce microbiological surface contamination on pork carcasses and pork cuts. *Efsa Journal* 2018, 16, e05482.
 118. Emon, D.D.; Islam, M.S.; Mazumder, M.A.R.; Aziz, M.G.; Rahman, M.S. Recent applications of microencapsulation techniques for delivery of functional ingredient in food products: A comprehensive review. *Food Chemistry Advances* 2025, 6, 100923.

CAPÍTULO II – Artigo II - Utilização de ácidos orgânicos na nutrição de organismos aquáticos: uma revisão sistemática

Resumo

A aquicultura emerge como um setor estratégico para a produção de proteína de origem animal, impulsionando a busca por alternativas sustentáveis que otimizem a saúde e o desempenho zootécnico dos organismos aquáticos. A introdução de ácidos orgânicos como aditivos alimentares atende a essas expectativas devido às suas propriedades antimicrobianas, efeitos promotores de crescimento e eficiência na modulação da microbiota. Este estudo realizou uma revisão sistemática da literatura para avaliar o impacto dos ácidos orgânicos como aditivos alimentares na aquicultura. Os 37 artigos analisados foram selecionados a partir de uma análise bibliométrica, que inicialmente identificou 96 publicações indexadas nas bases de dados Web of Science e Scopus relacionadas ao uso de ácidos orgânicos na aquicultura. Os resultados indicam melhorias nas taxas de crescimento, ganho de peso, taxa de conversão alimentar, modulação da microbiota intestinal, índices de saúde e sustentabilidade geral da produção. No entanto, em alguns casos, os ácidos orgânicos demonstraram efeitos negativos sobre esses parâmetros. Os resultados destacam que a resposta à suplementação dietética com ácidos orgânicos é influenciada por fatores como tipo e concentração do ácido, genótipo, espécie cultivada e duração do ensaio alimentar. Lacunas de conhecimento ainda existem na literatura, particularmente em relação à padronização de protocolos experimentais e aos mecanismos de ação desses compostos em diferentes espécies. Portanto, mais pesquisas são necessárias para explorar a complexidade dos ácidos orgânicos e avaliar sua viabilidade econômica e ambiental em sistemas de produção.

Palavras-chave: aditivos alimentares; piscicultura; antimicrobianos; patógenos; microbiota.

Abstract

Aquaculture has emerged as a strategic sector for animal protein production, driving the search for sustainable alternatives that optimize the health and zootechnical performance of aquatic organisms. The introduction of organic acids as feed additives meets these expectations due to their antimicrobial properties, growth-promoting effects, and efficiency in modulating the microbiota. This study conducted a systematic literature review to evaluate the impact of organic acids as feed additives in aquaculture. The 37

articles analyzed were selected from a bibliometric analysis, which initially identified 96 publications indexed in the Web of Science and Scopus databases related to the use of organic acids in aquaculture. The findings indicate improvements in growth rates, weight gain, feed conversion ratio, intestinal microbiota modulation, health indices, and overall sustainability of production. However, in some cases, organic acids have shown negative effects on these parameters. The results highlight that the response to dietary supplementation with organic acids is influenced by factors such as acid type and concentration, genotype, cultivated species, and feeding trial duration. Knowledge gaps remain in literature, particularly regarding the standardization of experimental protocols and the mechanisms of action of these compounds in different species. Therefore, further research is needed to explore the complexity of organic acids and assess their economic and environmental feasibility in production systems.

Keywords: feed additives; fish farming; antimicrobials; pathogens; microbiota.

1. Introdução

A aquicultura tem se destacado como uma forma eficiente de produção de alimentos, ampliando a contribuição para o fornecimento global de proteínas de origem animal, especialmente peixes e crustáceos, que são fontes importantes desse nutriente (BOYD *et al.*, 2022). Nesse contexto, a nutrição de peixes desempenha papel essencial no processo de produção, afetando diretamente o crescimento, o sistema imunológico e a saúde intestinal, impactando na qualidade do produto. Nos últimos anos, o desenvolvimento de rações com aditivos alimentares funcionais, como ácidos graxos e outros compostos bioativos, tem se mostrado uma estratégia crescente, visando melhorar a saúde dos peixes sem recorrer ao uso de medicamentos e antibióticos (HOSSAIN *et al.*, 2024).

O uso de imunoestimulantes bioativos nas rações, provenientes de fontes vegetais, animais, bacterianas, fúngicas e algais, tem mostrado benefícios significativos, não apenas para fortalecer a saúde dos peixes, mas também para melhorar a qualidade do ambiente aquático, minimizando os impactos negativos da aquicultura (VIJAYARAM *et al.*, 2022). No entanto, ao adotar fontes vegetais para a alimentação de espécies como a tilápia, surgem desafios relacionados a fatores antinutricionais e problemas de digestibilidade, os quais precisam ser superados para garantir o máximo desempenho produtivo (GULE & GEREMEW, 2022).

Para otimizar a qualidade da dieta, aditivos como os ácidos orgânicos destacam-se pelos benefícios na digestibilidade, na absorção de minerais e na ativação de enzimas digestivas, como a pepsina, resultando em maior aproveitamento dos nutrientes. Além disso, esses ácidos ajudam a prevenir infecções bacterianas, contribuindo para o aumento das taxas de sobrevivência dos peixes e, conseqüentemente, para uma produção mais sustentável e econômica na aquicultura (FABAY *et al.*, 2022).

A adição de ácidos orgânicos na dieta favorece a redução do pH intestinal, o que estimula a colonização de bactérias intestinais benéficas e acidófilas e a inibição do crescimento de patógenos (ZARE *et al.*, 2021). Esses compostos podem conferir proteção profilática contra bactérias patogênicas pela capacidade de permear as membranas celulares e acidificar o pH citoplasmático. Além das propriedades antibacterianas, os ácidos orgânicos podem ter impacto benéfico em animais aquáticos de criação agindo também na morfologia intestinal (NG *et al.*, 2017), promovendo maior altura e largura das vilosidades intestinais, melhorando a absorção de nutrientes, e aumentos nas células caliciformes (FABAY *et al.*, 2022; ADDAM *et al.*, 2019).

Os acidificantes utilizados como aditivos alimentares são eficientes em promover o desempenho zootécnico, melhorando crescimento, ganho de peso e taxa de conversão alimentar, pois influencia o aumento na atividade de enzimas digestivas, como lipase e protease (SOTOUDEH & ESMAEILI, 2022). Os ácidos suplementados na dieta também podem aumentar a contagem de leucócitos e linfócitos, contribuindo para a manutenção da homeostase (LIBANORI *et al.*, 2021). Pode ser observado ainda, em algumas espécies, aumento no teor de proteína bruta e lipídios totais do tecido muscular (SIDIQ *et al.*, 2023). A redução do estresse oxidativo é também um marcador do impacto positivo dos ácidos sobre as enzimas antioxidantes, como observado por Rasidi *et al.* (2025), que relataram aumento nas atividades de superóxido dismutase (SOD) e glutational peroxidase (GPx).

Além das vantagens supracitadas, os ácidos orgânicos apresentam benefícios substanciais quando comparados a outros tratamentos tradicionais na aquicultura, como o uso de antibióticos e medicamentos. Ao contrário dos antibióticos e seus resíduos, que podem levar ao desenvolvimento de resistência cruzada de patógenos, a adição de ácidos orgânicos na dieta atua de forma natural, sem prejudicar o equilíbrio da microbiota intestinal dos peixes (NEVES *et al.*, 2021). A utilização de antibióticos na aquicultura afeta a sobrevivência, o desenvolvimento e as funções cardiovasculares e metabólicas dos peixes e sua toxicidade oferece risco ao ambiente uma vez que a liberação desses

compostos não totalmente removidos nas águas residuais pode prejudicar a fisiologia dos peixes em diversos estágios da vida (YANG *et al.*, 2020). No entanto, os estudos nem sempre apresentam resultados consonantes, ocorrendo discrepâncias e inconsistências relacionados a fatores específicos. Como por exemplo, a suplementação dietética maior que 15 g/kg de ácido fumárico tendeu a diminuir o desempenho produtivo, bem como o uso de ração e proteína de juvenis de tilápia-do-Nilo. A altura e a largura das vilosidades intestinais diminuíram ligeiramente com a suplementação desse ácido em doses inferiores a 11 g/kg, demonstrando um efeito dose-dependente (NEVES *et al.*, 2021). Possíveis lesões no fígado também foram relatadas por Zhang *et al.* (2020), indicadas pelo aumento nos níveis de ALT, AST e LDH quando os animais receberam doses mais altas de ácido cítrico e málico, demonstrando que a suplementação excessiva de ácidos orgânicos pode comprometer a função hepática.

As condições ambientais também podem influenciar a forma como os ácidos orgânicos impactam o microbioma intestinal. Em ambiente ideal, Hussein *et al.* (2023) verificaram ação antimicrobiana na microbiota intestinal de douradas e Silva *et al.* (2023) reportaram um microbioma equilibrado na tilápia-do-Nilo. A configuração dos resultados pode ser alterada quando os animais são submetidos a altas temperaturas e baixos níveis de oxigênio, acarretando um desequilíbrio no microbioma, com redução de bactérias benéficas, como as do ácido lático (BUSTI *et al.*, 2020).

Para que sejam reconhecidos como aditivos alimentares seguros, necessitam passar por testes rigorosos, conforme estabelecido pelo Regulamento (CE) nº 429/2008 da Comissão Europeia, que exige garantias de segurança tanto para os animais quanto para os consumidores humanos (EUR-Lex, 2021). O Regulamento (UE) nº 231/2012 especifica critérios para o uso desses compostos na indústria de alimentos e na aquicultura, incluindo ácidos como málico (E 296), fumárico (E 297), ascórbico (E 300), benzoico (E 210), acético (E 260) e lático (E 270).

A Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos também determina grau de pureza e concentrações máximas para o uso desses aditivos. A título de ilustração, pode ser mencionado o ácido fórmico, reconhecido como seguro quando utilizado em rações de suínos e aves em concentrações de até 1,2%, desde que tenha pureza mínima de 85% e seja uniformemente misturado na ração, garantindo o uso seguro (U.S. FDA, 2024). No entanto, a necessidade de testes extensivos e a falta de

padronização representam desafios para a regulamentação e aplicação desses aditivos, tornando o processo de aprovação demorado e ainda não completamente estabelecido.

Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização de ácidos orgânicos na nutrição de peixes, analisando os efeitos desses compostos no desempenho zootécnico, na qualidade da carne e na saúde dos animais, além de discutir as implicações práticas de seu uso em sistemas de aquicultura.

2. Metodologia

A seleção dos artigos foi feita em duas bases de dados, através da plataforma CAPES, sendo uma Web of Science (WoS) e a outra a Scopus. A escolha desses bancos de dados ocorreu porque são as duas principais e mais abrangentes fontes de metadados de publicação e indicadores de impacto (PRANCKUTÊ, 2021).

Os artigos foram selecionados para a realização de uma análise bibliométrica, utilizando as palavras chaves "organic acid*" "pathogens" "microorganism*" "bacteria" "fungi" "fish" "fry" "pisciculture" e os operadores booleanos "and" "or". Foram encontrados 280 artigos na WoS e 299 na Scopus. Desse total de documentos, foram excluídos 11 artigos de procedimento, 3 artigos de acesso antecipado e 18 artigos de revisão da base de dados WoS, deixando apenas os artigos científicos, restando 248 artigos. Na Scopus também foi realizado o mesmo procedimento, e foram excluídos 14 artigos de conferência, 23 análises, 11 capítulos de livros e um livro, restando 250 documentos selecionados nessa base de dados (Figura 1A).

O total de 498 artigos dos dois bancos de dados foram exportados em formato Bib Tex e foram submetidos ao programa computacional R para gerar um conjunto de dados único. Utilizando o Biblioshiny no pacote Bibliometrix R, foi realizada uma seleção manualmente no documento unificado, para excluir eventuais artigos que não relacionavam a utilização de ácidos orgânicos na aquicultura de forma conjunta. Foram excluídos mais 55 artigos da Scopus e 59 artigos da WoS, nos quais foram observados a utilização desses compostos em outras áreas de produção animal, ou ainda a utilização na aquicultura de sais orgânicos, bactérias probióticas provenientes dos ácidos orgânicos ou apenas produção desses ácidos por fermentação natural. Foram ainda retirados 7 documentos duplicados, que possuíam o mesmo Identificador de Objeto Digital (DOI) restando 96 documentos para a análise bibliométrica (Figura 1B). Desses 96 artigos,

foram selecionados 37 que avaliaram a utilização dos ácidos orgânicos como aditivos alimentares em organismos aquáticos para realizar essa revisão sistemática (Figura 1C)

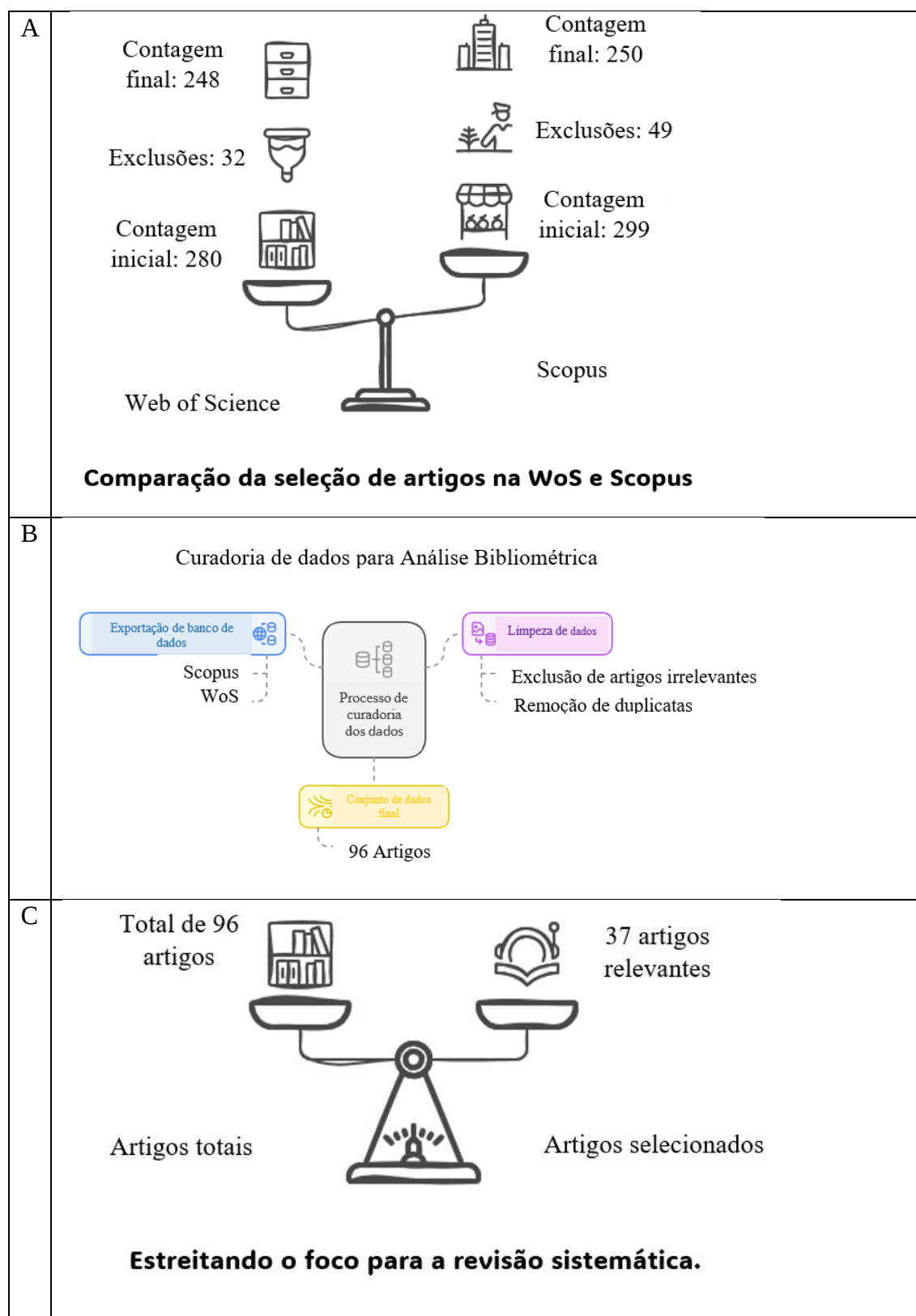


Figura 1: Fluxograma de seleção e exclusão de documentos para análise bibliométrica nas bases de dados (A), seleção e exclusão de artigos no Biblioshiny (B) e seleção de artigos para a revisão sistemática com foco na utilização e ácidos orgânicos como aditivos alimentares

3. Resultados

3.1. Ácidos orgânicos mais utilizados na aquicultura

No que diz respeito ao uso de ácidos orgânicos na aquicultura, ao analisar os trabalhos já publicados, observa-se tendência na utilização desses compostos de forma individual, como o ácido cítrico (CHEN *et al.*, 2022), acético (JAMIS *et al.*, 2018) e láctico (MIRGHAED *et al.*, 2023), ou ainda combinados entre si (ROMANO *et al.*, 2015). São utilizados na aquicultura em diversas funções, como aditivo alimentar para peixes (BHUJEL *et al.*, 2022) e crustáceos (POURMOZAFFAR *et al.*, 2019), inativadores de patógenos no processamento de carne (PIEROZAN *et al.*, 2024), desinfecção de superfícies (DELIEPHAN *et al.*, 2023) e conservantes em produtos à base de peixe (HEIR *et al.*, 2019).

Os ácidos orgânicos mais estudados e mais presentes em produtos comerciais incluem ácidos orgânicos de cadeia curta (AOCC) e média (AOCM) como ácido cítrico, ácido fórmico, ácido láctico, ácido propiônico e ácido fumárico (SILVA *et al.*, 2017). A literatura científica frequentemente relata estudos que utilizam ácido acético (ZARE *et al.*, 2021), ácido butírico (MOHTASHEMIPOUR *et al.*, 2024; NAYA-CATALÁ *et al.*, 2024) e ácidos graxos de cadeia média, como o ácido caproico, caprílico e cáprico (RIMOLDI *et al.*, 2018; HUSSEIN *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). A escolha desses compostos depende de fatores como a espécie-alvo, a composição da dieta, os custos de produção, a eficácia no desempenho zootécnico, os impactos na saúde intestinal dos peixes e o controle de patógenos.

3.2. Impactos dos ácidos orgânicos no desempenho zootécnico e taxa de sobrevivência

Há duas décadas, Pagarkar *et al.* (2005) relataram melhora no desempenho zootécnico de camarões alimentados com silagem de peixe produzida com adição de bactérias lácticas, ácido sulfúrico e ácidos orgânicos (fórmico e propiônico) separadamente, com duração de 60 dias. Dentre os três tratamentos, os ácidos orgânicos foram os aditivos que apresentaram menor taxa de crescimento específico (TCE) e ganho de peso (GP), maior taxa de conversão alimentar (TCA) e menor taxa de sobrevivência. Entretanto, estatisticamente não diferiram entre si. O autor discorre sobre a disponibilidade imediata de aminoácidos essenciais na forma livre, na silagem acidificada, tornando-os rapidamente absorvíveis na corrente sanguínea, logo após a

ingestão. Essa rápida absorção pode levar à metabolização irreversível, reduzindo a disponibilidade para a síntese proteica e comprometendo esse processo. Quanto aos resultados da composição bioquímica, foi observado aumento no conteúdo de proteína e gordura nos juvenis de *Macrobrachium rosenbergii*.

Em teste de alimentação de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis sp.*), por um período de 98 dias, Ng *et al.* (2009) experimentaram a combinação de ácidos orgânicos em diferentes dosagens e diformiato de potássio. Os tratamentos e controle não diferiram entre si nos parâmetros de crescimento, utilização de ração e digestibilidade de nutrientes, mas foi observada uma tendência de melhora nos resultados para as tilápias alimentadas com dietas suplementadas com ácidos orgânicos. A mortalidade acumulada das tilápias que não receberam ácidos orgânicos foi maior em comparação com aquelas alimentadas com dietas suplementadas com ácidos orgânicos, 16 dias após o desafio com a bacteriano.

Os resultados da suplementação dependem da dosagem e a espécie alimentada. Em alguns casos, quanto maior a concentração, pior pode ser os resultados, como foi relatado por Romano *et al.* (2015), que conduziu um teste de alimentação de 50 dias de camarão de perna branca (*Litopenaeus vannamei*), com uma combinação de ácidos orgânicos (fórmico, láctico, málico e cítrico) em 3 dosagens: 1%, 2% e 4%. Os camarões alimentados com a dieta suplementada com 2% de ácidos orgânicos apresentaram o melhor desempenho de crescimento. Em comparação com o grupo controle, foi observado aumento significativo no peso final (PF) (1,24 g), comprimento total (5,73 cm com 2%; 4,61 cm no grupo controle), GP (945,7% com 2%; 451,2% no grupo controle), e TCE. A suplementação de 1% e 4% não apresentaram diferenças significativas entre si, embora o desempenho zootécnico tenha sido superior quando comparado ao grupo controle. O grupo controle teve taxa de sobrevivência de 68,3%, e os tratamentos 1%, 2% e 4% tiveram esse número maior, sendo 73,3%, 81,7% e 76,7%, respectivamente.

Um experimento avaliando o efeito do ácido fumárico no desempenho de crescimento de jundiá africano (*Clarias gariepinus*), foi conduzido por Omosowone *et al.* (2015), adicionando 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 g. kg⁻¹ desse ácido à dieta base. Foi observado maior GP nos peixes alimentados com a dieta suplementada 1,5 g.kg⁻¹, e o menor nos grupos alimentados com a dieta de maior concentração do ácido (2,0 g.kg⁻¹). A TCA para os grupos alimentados com 1,0 g.kg⁻¹ foi a menor encontrada (2,03; o controle 2,55). Foram registradas mortalidades nos peixes alimentados com as dietas 0,5, 1,5 e 2,0 g. kg⁻¹ (Sobrevivência (%) respectiva: 97,33, 86,67 e 79,33) enquanto nas dietas controle e

1,0 g.kg⁻¹, a sobrevivência foi de 100%. Entretanto, essa configuração alterou após desafio patogênico (durante 14 dias) no término do teste de alimentação. A mortalidade registrada no controle foi de 100%, enquanto 0% foi registrado naqueles alimentados com dieta 1,5 g.kg⁻¹. A porcentagem de sobrevivência nos grupos alimentados com 0,5 g.kg⁻¹ foi de 60%, 1,0 g.kg⁻¹ teve 93,33% de sobrevivência e 2,0 g.kg⁻¹ foi 86,67%.

Uma mistura de quatro ácidos orgânicos (ácidos fórmico, láctico, málico e cítrico) microencapsulados também foram avaliados quanto ao crescimento de camarões-tigre (*Penaeus monodon*) por Ng *et al.* (2015). Embora o crescimento do grupo que recebeu a ração suplementada com ácido tenha sido semelhante ao controle, os custos gerais de produção e a lucratividade líquida foram ligeiramente melhores para o produtor na parcela que recebeu o tratamento. Outro fator favorável observado foi a taxa de sobrevivência, após desafio bacteriano, sendo o grupo controle com 50% de mortalidade, 8 dias após desafio, enquanto o tratamento aumentou para 70% a sobrevivência. A combinação de ácidos orgânicos é amplamente utilizada, pois cada um possui uma atividade antimicrobiana específica, e sua associação em proporções definidas amplia o espectro de ação contra bactérias patogênicas, resultando em efeito sinérgico (NG & KOH, 2017; HUANG *et al.*, 2022).

A suplementação de ácidos orgânicos na alimentação de tilápias, utilizando doses de 0,5% e 1,0% durante 20 semanas, também foi pesquisada por Koh *et al.* (2016). Foi relatado melhora no desempenho zootécnico, o que proporcionou crescimento mais eficiente dos grupos alimentados com ácido do que o grupo controle. A utilização da oxitetraciclina na dieta das tilápias também foi avaliada e, embora não tenham apresentado diferença significativa entre si em termos de crescimento, os ácidos resultaram em maior digestibilidade dos nutrientes e controle de bactérias intestinais.

Um experimento de 60 dias avaliou o uso de oxitetraciclina e uma combinação de ácidos orgânicos na dieta de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). A suplementação com 1 e 2 g/Kg de uma mistura acidificante contendo ácido fórmico (150 g/Kg), propiônico e propionato de cálcio (30 g/Kg) resultou em melhorias no desempenho de crescimento, parâmetros sanguíneos e composição corporal. O GP, TCE e TCA também foram superiores nos grupos tratados com os ácidos, sendo 2 g/Kg mais eficaz que 1 g/Kg. Além disso, os ácidos têm efeitos antimicrobianos, imunoestimulantes e moduladores da microbiota gastrointestinal, conferindo aos animais maior sobrevivência aos desafios bacterianos (REDA *et al.*, 2016).

Produtos acidificantes comercializados também fazem parte do acervo de estratégias que utilizam ácidos orgânicos na aquicultura. Menanteau-Ledouble *et al.* (2017) conduziram um experimento utilizando Biotronic® Top3, uma mistura comercial composta por ácidos fórmico, propiônico e láctico, além de outros compostos. Após 175 dias de alimentação de trutas-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) com a dieta suplementada, foi observada melhora no GP e na TCA nos grupos que receberam o suplemento, mas os tratamentos não diferiram do controle. O desafio bacteriano foi realizado por três vias de exposição: injeção intraperitoneal, imersão e coabitação. A taxa de mortalidade após infecção por injeção diminuiu significativamente nos peixes que receberam a dieta suplementada (30%) em comparação ao controle (75%). Nos peixes infectados pelas demais rotas, não foram observadas diferenças significativas na mortalidade. Entretanto, no desafio por coabitação, não houve mortalidade nos peixes suplementados, enquanto o controle apresentou mortalidade de 10%.

A suplementação dietética com 0,5%, 1,0% e 1,5% de ácido fórmico e propionato de cálcio na alimentação de juvenis de mrigal (*Cirrhinus mrigala*) por 60 dias apresentou resultados consistentes com estudos prévios, destacando a eficiência dos acidificantes no desempenho zootécnico e controle de patógenos. Em comparação ao grupo controle, peixes alimentados por dieta suplementada com 1,0% de acidificante obtiveram desempenho superior ($p < 0,05$), evidenciando maior percentual de GP (150,16% contra 96,45%), TCE (1,58 contra 1,12), razão de eficiência proteica (REP) (1,25 contra 0,94) e TCA (2,26 contra 3,00). Resultados intermediários foram observados nos grupos suplementados com 1,5% e 0,5% de acidificante, enquanto o menor desempenho foi registrado no grupo controle. Após o desafio patogênico, o grupo suplementado com 1,5% de acidificante apresentou a maior taxa de sobrevivência relativa (33%), seguido pelos grupos suplementados com 1,0% (30%) e 0,5% (25%), enquanto o grupo controle registrou apenas 20% de sobrevivência (KUMAR *et al.*, 2017).

Outro estudo que investigou a substituição de antibióticos dietéticos indicou que não houve efeitos negativos no crescimento, características serológicas e composição proximal de linguado-oliva (*Paralichthys olivaceus*) alimentados com misturas de ácidos orgânicos, durante 70 dias, sugerindo que esses compostos não prejudicam o desempenho zootécnico dos peixes. As taxas de mortalidade cumulativa também foram significativamente menores para o grupo alimentado com ácidos orgânicos do que a dieta controle (KATYA *et al.*, 2018).

Jamis *et al.* (2018) conduziram um experimento de alimentação com diferentes dietas para grupos de camarão branco do Pacífico (*Penaeus vannamei*), as quais continham 2% de vinagre de maçã, vinagre da seiva de coco, vinagre de cana-de-açúcar ou acetato de sódio, constituindo quatro tratamentos distintos, ao longo de 60 dias. Todos os tratamentos resultaram em diferenças significativas no PF, GP e TCA, superando o grupo controle, com destaque para o vinagre da seiva de coco, que promoveu aumento de 159% no GP dos camarões brancos. A taxa de eficiência alimentar também melhorou para todos os tratamentos, embora apenas o grupo suplementado com vinagre da seiva de coco tenha apresentado diferença significativa em relação ao controle. A sobrevivência dos camarões nos grupos suplementados não apresentou diferenças significativas quando comparada ao grupo controle.

O desempenho de juvenis de douradas (*Sparus aurata*) foi avaliado em experimento com teste de alimentação à base de plantas (controle) e suplementada com 0,5% de SILOhealth 108Z (combinação de 20% de ácido propiônico, 65% de ácido butírico e 15% da mistura de ácido caproico, heptanoico, caprílico e láurico). Após 90 dias Rimoldi *et al.* (2018) relataram melhora no GP (3%) e na taxa de crescimento diário, embora não revelaram diferença significativa entre o grupo controle e tratamento. Entretanto, a TCA no grupo que recebeu a suplementação dos ácidos diminuiu significativamente. A taxa de mortalidade total durante o período de alimentação foi menor que 1%, sendo registrada 0,66% (dois peixes) de mortalidade no grupo controle e 1,33% (quatro peixes) no grupo alimentado com os acidificantes, sendo 300 peixes para cada grupo.

Chen *et al.* (2018) conduziram um experimento de alimentação de juvenis de pregados (*Scophthalmus maximus*) durante 12 semanas com uma dieta suplementada com ácido cítrico (1,5% e 3,0%). A análise do MetaStat indicou que o ácido cítrico dietético reduziu drasticamente a abundância relativa do gênero *Vibrio* e aumentaram significativamente a capacidade antioxidante total e a expressão gênica da superóxido dismutase, glutatona peroxidase e heme oxigenase 1, além de diminuir o conteúdo de malondialdeído no intestino distal. Em conclusão, o ácido cítrico dietético mitigou o dano oxidativo intestinal induzido pelo farelo de soja, aliviou benéficamente o desequilíbrio microecológico e reduziu especificamente a abundância relativa do gênero *Vibrio* do pregado juvenil.

Matani Bour *et al.* (2018) conduziram um estudo para avaliar os efeitos da substituição da farinha de peixe por farelo de soja em combinação com a suplementação de ácido láctico, utilizando juvenis de esturjão beluga (*Huso huso*) alimentados por 60 dias. Os resultados demonstraram que a substituição da farinha de peixe por farelo de soja suplementada com ácido láctico melhorou significativamente o desempenho zootécnico dos peixes ($p < 0,05$). Esses achados corroboram outros estudos que indicam que a suplementação com acidificantes, especificamente ácido láctico a 2%, é eficaz em mitigar os efeitos negativos da substituição de farinha de peixe por farelo de soja, promovendo melhorias no crescimento e na conversão alimentar.

Santos *et al.* (2019) conduziram um experimento de alimentação com espécies nativas brasileiras, utilizando uma dieta suplementada por 40 dias com um produto comercial composto por ácido acético, fórmico e propiônico (Biotronic Top 3), além de ácido húmico e probióticos. Embora o estudo não tenha avaliado o desempenho zootécnico, os autores relataram a ausência de mortalidade e de sinais clínicos de doenças em todos os peixes ao longo do período experimental.

Em um estudo com juvenis de tilápia-do-Nilo, a adição de uma mistura de ácidos orgânicos (0,5%) isoladamente ou em combinação com óleo essencial de *Lippia organoides* não afetou o crescimento e a conversão alimentar dos peixes após 30 dias de alimentação. No entanto, a suplementação resultou em maior taxa de sobrevivência nos peixes que receberam ácidos orgânicos (ADDAM *et al.*, 2019).

Ohtani *et al.* (2020) conduziram um teste de alimentação de 28 dias com trutas-arco-íris suplementadas com uma mistura acidificante patenteada. Os resultados não indicaram diferenças no peso médio entre os grupos alimentares em nenhum momento do experimento. No entanto, a suplementação com ácidos orgânicos aumentou a taxa de sobrevivência, que foi de 94% no grupo controle e de 98% nos peixes tratados com 0,1% da mistura acidificante.

Um experimento de alimentação foi conduzido com juvenis de robalo-europeu (*Dicentrarchus labrax*) em um sistema marinho fechado de recirculação por 63 dias, avaliando a substituição parcial da farinha de peixe por silagem de peixe fermentado com 3% de ácido fórmico. Os peixes alimentados com a dieta à base de farinha de peixe apresentaram o maior GP, TCE e TCA. No entanto, esses parâmetros não diferiram ($p > 0,05$) dos observados nos peixes alimentados com a dieta contendo ácido fórmico, indicando que a substituição não comprometeu o desempenho zootécnico. Os autores

relataram ainda que resultados gerais do estudo indicaram que a substituição de farinha do peixe por silagem aditivada com ácido fórmico a 3% foi parcialmente eficaz para a aquicultura (DAVIES *et al.*, 2020).

Villumsen *et al.* (2020) avaliaram o desempenho zootécnico da truta-arco-íris em um teste de alimentação de 37 dias com dieta suplementada e combinada de β -glucanos, ácidos orgânicos, vitaminas C e E e nucleotídeos. O grupo suplementado com β -glucano e ácidos orgânicos apresentou melhor utilização da ração, com redução na TCA e maior eficiência na utilização de lipídios. No entanto, não houve diferenças significativas no GP, TCE ou eficiência proteica entre os grupos, mas essa suplementação reduziu o risco de morte em 30,6% após o desafio com *Yersinia ruckeri*.

Pelusio *et al.* (2020) avaliaram os efeitos de uma dieta, com duração de 82 dias, microencapsulada em uma matriz de gorduras hidrogenadas, suplementada com ácidos orgânicos e compostos idênticos aos da natureza, na alimentação de trutas arco-íris. A formulação continha 25% de ácido cítrico, 16,7% de ácido sórbico, 1,7% de timol e 1% de vanilina, administrada em concentrações de 250, 500 e 1000 ppm. Os resultados indicaram tendência ao maior GP e a maior taxa de sobrevivência em todos os tratamentos. No entanto, apenas a TCE diário foi significativamente superior ao grupo controle, e os resultados apresentaram TCA significativamente reduzida.

Busti *et al.* (2020) conduziram um estudo de 71 dias para avaliar os efeitos da suplementação dietética de uma mistura microencapsulada, em diferentes doses (250, 500 e 1000 ppm) de ácidos orgânicos (cítrico e sórbico) e compostos idênticos à natureza (timol e vanilina) sobre juvenis de robalo. Embora a inclusão desses compostos não tenha promovido melhoria no crescimento, observaram regulação positiva das citocinas IL-8, IL-10 e TGF β , indicando possível efeito imunomodulador. Os autores não identificaram diferenças significativas entre os tratamentos quanto à composição GP total, REP, eficiência proteica bruta, razão de eficiência lipídica (REL) e eficiência lipídica bruta e, ao final do experimento, não registraram nenhuma mortalidade, mesmo sob condições de criação abaixo do ideal, sugerindo que a suplementação pode contribuir para a resiliência dos peixes frente a desafios ambientais.

O desempenho zootécnico do esturjão siberiano (*Acipenser baerii*) foi avaliado em resposta à suplementação acidificante com compostos químicos. Durante 62 dias, os peixes foram alimentados com uma dieta controle suplementada com 2% de ácido acético e outra contendo 2% de ácido acético associado a 0,01% de protexina. Ambos os grupos

apresentaram melhorias significativas na TCE (1,47% e 1,57%), GP (81,66% e 91,29%) e TCA (1,79 e 1,39), em comparação com o grupo controle (1,12%, 54,18% e 2,37, respectivamente). Além disso, a taxa de sobrevivência foi de 100% em todos os tratamentos, sem diferenças significativas em relação ao grupo controle (ZARE *et al.*, 2021).

A tilápia-do-Nilo também foi avaliada quanto ao desempenho zootécnico após receber uma dieta suplementada com ácido benzoico (0,1%, 0,2% e 0,3%) durante 54 dias. Libanori *et al.* (2021) relataram que o grupo suplementado com 0,1% de ácido apresentou aumento de 29% no PF, 38% na biomassa final, mais de 33% no GP médio e 58% no ganho de biomassa, em comparação com o grupo controle. Os melhores resultados foram atribuídos a menor dose do ácido, embora todos os demais tratamentos tenham apresentado índices significativamente melhores do que o controle. A taxa de sobrevivência foi superior nos grupos de tratamento em relação ao controle, sendo a maior dose de ácido benzoico (0,3%) a mais eficaz, com 98,75% de sobrevivência pré-desafio, enquanto o grupo suplementado com 0,1% teve a maior taxa (59%) após o desafio bacteriano.

A suplementação de uma dieta comercial com 300 mg/Kg de uma mistura patenteada microencapsulada, contendo quatro ácidos orgânicos (sorbico, fumárico, málico e cítrico) e três óleos essenciais (timol, vanilina e eugenol), não influenciou ($p>0,05$) o desempenho zootécnico da truta arco-íris. Os peixes alimentados com a dieta suplementada apresentaram PF de 174g, comprimento final do garfo de 23,5 cm, consumo diário de ração de 1,88 g e taxa de sobrevivência de 98,8, valores semelhantes aos observados no grupo controle (178 g, 23,6 cm, 1,86 g e 97,6%, respectivamente). Os resultados desse teste de alimentação, que durou 28 dias, indicaram que a inclusão da mistura de ácidos orgânicos e óleos essenciais na dieta não comprometeu o crescimento e a sobrevivência da espécie (HUYBEN *et al.* 2021).

Em teste de alimentação de 35 dias com tilápias-do-Nilo, os benefícios da suplementação de ácido fumárico na dieta foram avaliados. A taxa de sobrevivência foi de 100% e todas as dietas foram bem aceitas pelos peixes. A dieta basal foi suplementada com ácido fumárico nas doses de 0, 5, 10, 15, 20 e 30 g/Kg, resultando na inibição do crescimento de enterobactérias a partir do dia 28, o que demonstrou ser uma estratégia viável para excluir bactérias potencialmente patogênicas da microbiota intestinal. O nível ideal de ácido fumárico para maximizar o GP, a eficiência alimentar e a REP foi estimada

em cerca de 14–15 g/Kg. Os autores concluíram que a suplementação com 15 g/Kg de ácido fumárico é eficaz para melhorar o desempenho de crescimento e reduzir as bactérias Gram-negativas intestinais após 35 dias (NEVES *et al.*, 2021).

O desempenho da truta-arco-íris foi avaliado em dietas com redução da farinha de peixe de 200 g/Kg (controle positivo) para 100 g/Kg (controle negativo). Três aditivos alimentares foram adicionados no controle negativo, sendo um complexo multienzimático, um prebiótico e um complexo microencapsulado de ácidos orgânicos e óleos essenciais. Este último continha ácido fumárico (16%), ácido sórbico (8%), ácido málico (7%), ácido cítrico (7%) e óleos essenciais, como timol, vanilina e eugenol. A redução da farinha de peixe comprometeu significativamente o crescimento e a eficiência alimentar dos peixes em comparação ao controle positivo, que apresentou maior GP e menor TCA em todos os grupos que receberam os aditivos (controle negativo). Todos os aditivos melhoraram esses parâmetros quando adicionados individualmente, mas não apresentaram efeito sinérgico quando combinados. Após 56 dias, não houve diferença significativa na sobrevivência dos peixes entre os tratamentos (CAO *et al.*, 2022).

A suplementação com Biotronic® Top Liquid (BTL), que contém ácidos fórmico, propiônico e acético e a tecnologia Permeabilizing Complex™, melhorou o desempenho zootécnico da tilápia-do-Nilo. O crescimento específico e o GP diário aumentaram com doses crescentes de 0,5 a 2,5 L/ton ao longo de 70 dias. A TCA melhorou significativamente com 1,0% de suplementação, principalmente em doses mais altas, atingindo o valor mais baixo com 2,5%, mas a TCE não variou significativamente entre o controle e as doses de 1,0% e 2,0%, entretanto foi maior no grupo de 2,5%. A taxa de sobrevivência variou de 74,8% a 84,4%, sem diferenças significativas entre os tratamentos. Após o desafio patogênico, a suplementação com BTL aumentou a sobrevivência em 25%, com aumento de quase 9% por litro de BTL. A tendência indica que doses superiores desse produto são benéficas para o crescimento e saúde da tilápia (BHUJEL *et al.*, 2022).

A suplementação dietética com a mistura de ácidos orgânicos AQUAGEST® OM, uma formulação comercial à base de ácido caprílico e cáprico dentre outros compostos, demonstrou ser uma estratégia eficiente para a melhoria do desempenho zootécnico de juvenis de dourada. Os melhores resultados foram obtidos com níveis entre 0,2% e 0,3%, promovendo crescimento otimizado e maior eficiência alimentar. A adição do produto à dieta contribuiu para a melhora da digestibilidade enzimática, além de

exercer efeitos imunomoduladores e favorecer uma microbiota intestinal equilibrada. A análise centesimal e os parâmetros hematobioquímicos indicam que a inclusão de AQUAGEST® OM na faixa de 0,18% a 0,28% na dieta proporciona benefícios significativos para a saúde intestinal e a performance produtiva da espécie, reforçando o potencial como aditivo promotor de crescimento na aquicultura (HUSSEIN *et al.*, 2023).

Os resultados do estudo que avaliou a suplementação dietética com ácido láctico na alimentação da carpa comum (*Cyprinus carpio*) estão em consonância com pesquisas anteriores. Após 65 dias de alimentação, os grupos suplementados com 2,5 e 5 g/Kg apresentaram TCE superiores ao grupo controle (1,06, 1,16 e 1,01, respectivamente). O GP foi maior nos grupos suplementados com o ácido, sendo 99,8% para 2,5 g/Kg e 113% para 5 g/Kg, enquanto o controle apresentou 93,1%. A menor TCA (1,66) foi observada no grupo com 5 g/Kg, seguido pelo grupo com 2,5 g/Kg (1,8), enquanto o controle e o grupo que recebeu 10 g/Kg do ácido não apresentaram diferenças significativas (1,88 e 1,86, respectivamente). Esse nível mais alto de suplementação não apresentou resultados significativamente diferentes do grupo controle, indicando que o excesso de acidificante não proporciona benefícios adicionais. Os autores não observaram mortalidade nos grupos analisados (MIRGHAED *et al.*, 2023).

O efeito de uma mistura sinérgica de ácidos orgânicos de cadeia curta e média (AOCC e AOCCM), comercializada com o nome de Bacti-nil®Aqua, foi avaliado no desempenho de crescimento, imunidade, microbiota intestinal e resistência ao desafio contra a franciselose. A suplementação dietética com 0,5% de Bacti-nil®Aqua, melhorou a sobrevivência de tilápias-do-Nilo desafiadas com *Francisella orientalis*. Embora as tilápias alimentadas com dieta não suplementada demonstraram aumento do GP em comparação com peixes alimentados com dietas suplementadas, esses resultados não foram significativamente diferentes. Nos grupos que receberam suplementação, os peixes alimentados com 0,5% tiveram TCE superior ao grupo com 0,3% e em TCA menor que o da dieta basal ($p < 0,05$). Esses achados demonstraram que os efeitos dos ácidos orgânicos no crescimento podem variar conforme a espécie, o tipo e a dose do ácido utilizado, além do período de suplementação (SILVA *et al.*, 2023).

MOHTASHEMIPOUR *et al.* (2024) avaliaram os efeitos de uma mistura acidificante (ácido butírico, ácido fúlvico e diformato de sódio) em dietas com diferentes teores de farinha de peixe para juvenis de robalo asiático (*Lates calcarifer*). Após 60 dias, a suplementação de 0,5% na dieta com alto teor de farinha e 1,0% no de baixo teor

resultou nos maiores ganhos de peso e crescimento. A TCA também foi mais eficiente nesses dois grupos e a sobrevivência variou entre 96,6% e 100%, sendo máxima nos grupos com alto teor de farinha, sem suplementação, e nos grupos que receberam dieta pobre em farinha suplementada com 0,5% da mistura. Esses resultados indicam que a suplementação com ácidos orgânicos, especialmente em 1,0%, ajudou a compensar os efeitos negativos da dieta com baixo teor de farinha de peixe.

NAYA-CATALÀ *et al.* (2024) avaliaram a interação entre genética e aditivos alimentares. A pesquisa teve duração de 98 dias e comparou duas linhagens de douradas: uma geneticamente selecionada para crescimento e outra de referência. A suplementação incluiu uma mistura de ácidos orgânicos composta por 70% de sal de sódio de ácido butírico, além de um probiótico e um fitogênico à base de alho e ácido graxo de cadeia média. Os peixes selecionados para crescimento apresentaram melhor desempenho zootécnico, enquanto a suplementação com ácidos orgânicos prejudicou o crescimento, reduziu a quantidade de células caliciformes e aumentou a resposta inflamatória no intestino anterior em comparação ao grupo controle. No entanto, não houve diferenças significativas na taxa de sobrevivência e a dieta não exerceu efeito significativo sobre outros parâmetros avaliados.

A suplementação de 0,5% de ácido succínico e láctico em dietas para trutas-arco-íris, com duração de 48 dias, resultou em aumentos significativos no PF (75,5 g), GP (61,86 g), TCE (3,09% ao dia), REP (1,37) e melhor TCA (1,21), comparado ao grupo controle. Embora o estudo não tenha avaliado o efeito individual dos ácidos sobre a resistência dos peixes, a combinação desses compostos aumentou a sobrevivência dos animais contra desafio de *Yersinia ruckeri*, com taxa de mortalidade de 24,4%, significativamente menor que o controle (64,66%) (FARSANI *et al.*, 2024).

3.3. Impactos dos ácidos orgânicos na saúde geral, desenvolvimento intestinal e imunidade dos organismos aquáticos

Os ácidos orgânicos são compostos capazes de reduzir o pH do trato intestinal e desestabilizar a membrana bacteriana, modulando a imunidade de organismos e oferecendo ação antibacteriana, como relatado por Ng *et al.* (2009), que observou redução significativa ($p > 0,05$) na quantidade de bactérias totais nas fezes das tilápias alimentadas com dietas de ácidos orgânicos.

As contagens totais de *Vibrio spp.* do pâncreas de camarões alimentados com ácidos orgânicos também diminuíram em teste de alimentação relatado por Romano *et al.*

(2015). Foram utilizadas as combinações de ácido fórmico, láctico, málico e cítrico, em doses de 1%, 2% e 4%. Observou-se que a digestibilidade de nutrientes e minerais aumentaram, e os camarões alimentados com as dietas de ácidos orgânicos apresentaram atividade de fenoloxidase significativamente maior do que o grupo controle, o que indica melhora na resposta imunológica. Devido esse comportamento, o autor sugeriu que pode ter mitigado o dano hepatopancreático, particularmente para o grupo alimentado com 1% e 2%. Após desafio bacteriano os camarões alimentados com ácidos orgânicos tiveram maior sobrevivência que o grupo controle, embora a dosagem de 4% tenha apresentado a maior taxa de mortalidade entre os tratamentos.

A capacidade dos ácidos orgânicos de prevenir a proliferação de bactérias patogênicas e modular a microbiota intestinal também foi comprovada por Omosowone *et al.* (2015). Após tratamento com dieta suplementada por ácido fumárico em doses distintas, foi observado diferenças significativas ($p < 0,05$) em todos os índices sanguíneos medidos e parâmetros imunológicos, em comparação ao controle, bem como aumento da resistência do jundiá africano, alimentado com diferentes níveis de ácido fumárico, ao desafio bacteriano. Os melhores índices sanguíneos foram encontrados no grupo suplementado com $0,5 \text{ g.kg}^{-1}$, enquanto o grupo que recebeu a dose de 1 g.kg^{-1} apresentaram índices hematológicos piores que o grupo controle. A suplementação com $1,5$ e $2,0 \text{ g.kg}^{-1}$ apresentaram valores levemente inferiores comparados ao controle.

Estudos têm demonstrado que a combinação de ácidos orgânicos pode promover efeitos sinérgicos significativos nos resultados zootécnicos e sanitários. Após 20 semanas de alimentação, os camarões alimentados com dietas suplementadas com uma combinação de ácidos orgânicos apresentaram redução significativa na contagem total de bactérias viáveis e na contagem presuntiva de *Vibrio spp.* em comparação ao grupo controle. Além disso, a digestibilidade aparente de todos os nutrientes, com exceção do lipídio bruto, foi significativamente superior nos grupos tratados. Observou-se ainda que, após 10 dias de desafio com *Vibrio harveyi*, os camarões alimentados com a dieta controle exibiram danos histopatológicos mais acentuados no hepatopâncreas, enquanto os camarões submetidos à suplementação de ácidos orgânicos apresentaram maior integridade tecidual, possivelmente associada à elevação na atividade da fenoloxidase (NG *et al.*, 2015).

O estudo de Koh *et al.* (2016) comparou o uso de ácidos orgânicos e oxitetraciclina, observando que, embora os tratamentos não apresentassem diferenças

significativas no crescimento, as dietas com 1,0% de OAB resultaram em maior digestibilidade do fósforo, da matéria seca e das cinzas. Além disso, os grupos suplementados com ácidos orgânicos apresentaram reduções significativas nas unidades formadoras de colônias de bactérias intestinais aderentes, enquanto os peixes alimentados com 1,0% de ácidos tiveram as menores contagens totais de bactérias fecais, em comparação aos grupos controle e tratados com antibióticos.

Após 60 dias de alimentação, Reda *et al.* (2016) observaram melhorias nos parâmetros hematológicos das tilápias alimentadas com ácidos e sais orgânicos e, em comparação ao controle e ao grupo tratado com oxitetraciclina. A suplementação de uma mistura de ácido fórmico e sal propiônico na ração demonstrou que doses elevadas são necessárias para aprimorar o estado imunológico. Enquanto uma dose mais baixa (0,1%) não apresentou efeitos imunológicos significativos, a dose mais alta (0,2%) resultou em melhorias, evidenciadas por maiores porcentagens de atividades bactericidas séricas, lisozima, ensaio de óxido nítrico e redução da contagem bacteriana gastrointestinal. Além disso, a mistura acidificante apresentou efeito antibacteriano *in vitro* e aumentou a resistência dos peixes desafiados com *Aeromonas sobria* após 30 dias de alimentação, reduzindo a mortalidade para 16,6%, em contraste com a mortalidade de 80% observada no grupo controle.

O Biotronic® Top3, um produto comercial que contém uma mistura de ácidos orgânicos (fórmico, propiônico e láctico), foi adicionado à ração em dose de 8 g/Kg e avaliado em teste de alimentação por Menanteau-Ledouble *et al.* (2017). Os peixes que receberam a ração suplementada com o produto apresentaram redução da carga bacteriana e melhoria do sistema imunológico. Segundo os autores, é possível que o suplemento possa atuar como um prebiótico e promover a presença de bactérias do ácido láctico, eliminando ou dificultando bactérias competitivas. O produto aumentou a resistência dos peixes ao desafio bacteriano, contudo, os grupos desafiados via injeção, que apresentaram taxa de mortalidade de 30% para o grupo tratamento e 75% para o grupo controle, foi o único que apresentou diferença significativa. Para os grupos desafiados por imersão (30% de mortalidade controle e tratamento) ou coabitação, não houve diferença significativa entre o controle e o tratamento.

Kumar *et al.* (2017) avaliaram uma mistura de ácido fórmico e propionato de cálcio adicionada à ração, demonstrando melhora significativa na atividade da microflora intestinal em juvenis de mrigal. Quinze dias após o desafio com *Aeromonas hydrophila*,

a porcentagem relativa de sobrevivência foi maior nos peixes alimentados com a dieta suplementada com 1,5%, seguidos pelas doses de 1% e 0,5% da mistura acidificante. Além disso, a atividade sérica da lisozima foi significativamente elevada ($p < 0,05$) durante a pesquisa em todos os grupos de tratamento, no período pré e pós-desafio. O estudo reforça a funcionalidade do acidificante na concentração de 1,5% na dieta de juvenis de mrigal, resultando em efeitos positivos no desempenho de crescimento, utilização de nutrientes, imunidade inata, microbiota intestinal benéfica e parâmetros hematológicos.

Outra pesquisa demonstrou que a administração de ácidos orgânicos levou a redução significativa nas contagens bacterianas intestinais, incluindo a diminuição de patógenos como *Vibrio spp.* e *Edwardsiella tarda*. Esses resultados sugerem que os ácidos orgânicos contribuem para a manutenção da saúde intestinal, favorecendo um ambiente menos propenso a infecções, e pode implicar na melhora na resposta imunológica geral dos peixes (KATYA *et al.*, 2018).

A utilização de ácido combinados presente no produto comercial SILOhealth 108Z foi avaliada por Rimoldi *et al.* (2018). Em um ensaio de alimentação com duração de 90 dias, os resultados indicaram que a suplementação dietética de 0,5% do acidificante não promoveu melhorias significativas no desempenho de crescimento dos peixes. Contudo, observou-se que a suplementação induziu um aumento relativo na abundância de *Firmicutes* no intestino, um grupo bacteriano importante na degradação de carboidratos indigestos, como amido resistente e fibras alimentares, contribuindo para utilização mais eficiente de energia. Além disso, as bactérias lácticas também foram positivamente influenciadas pelo aditivo, demonstrando uma modulação favorável da microbiota intestinal dos peixes, com aumento na abundância de bactérias benéficas do ácido láctico, como *Lactobacillus*. Os autores relataram ainda a redução de *Gammaproteobacteria*, que incluem bactérias potencialmente patogênicas.

Chen *et al.* (2018) conduziram um experimento de alimentação com juvenis de pregado durante 12 semanas, utilizando uma dieta suplementada com ácido cítrico (1,5% e 3,0%). Os resultados mostraram aumento na expressão gênica de enzimas antioxidantes e redução no estresse oxidativo. Além disso, foi relatado que o ácido cítrico dietético reduziu drasticamente a abundância relativa do gênero *Vibrio* no intestino distal dos peixes, diminuiu o estresse celular, aumentou a renovação celular, fortaleceu a barreira

protetora intestinal, melhorou a estrutura do intestino distal e alterou a composição da microbiota intestinal de forma benéfica.

Estudo avaliando a adição de ácido lático como suplementação dietética em dietas que substituem farinha de peixe por farelo de soja, demonstrou aumento na presença de bactérias benéficas e melhora no desempenho fisiológico em juvenis de esturjão beluga. Observou-se que a digestibilidade da proteína, gordura, matéria seca e fósforo foram reduzidas com a substituição da farinha de peixe por farelo de soja. Entretanto, a suplementação com ácido lático, especialmente na concentração de 2%, mostrou-se eficaz em promover a saúde intestinal dos peixes, estabilizando a microbiota benéfica e reduzindo a colonização por bactérias patogênicas, trazendo benefícios à imunidade e aos parâmetros metabólicos mesmo em dietas menos nutritivas (MATANI BOUR *et al.*, 2018).

Em estudo avaliando a suplementação de ácido transcinâmico e *Bacillus subtilis*, Yilmaz *et al.* (2019) obtiveram resultados consistentes, demonstrando que os ácidos orgânicos atuam como agentes promotores da melhoria na digestão e absorção de nutrientes, redução da carga microbiana intestinal e fortalecimento da imunidade em trutas-arco-íris, durante um teste de alimentação de 60 dias. Os peixes suplementados com a combinação de ácido transcinâmico e probiótico apresentaram aumento significativo na taxa de sobrevivência, após o desafio com *Yersinia ruckeri*. Esses achados sugerem que a combinação desses aditivos na dieta é uma estratégia eficaz para melhorar a imunidade e a sobrevivência de trutas-arco-íris em sistemas de aquicultura.

As dietas suplementadas com vinagre de maçã e ácido propiônico demonstraram potencial antimicrobiano e efeitos positivos na imunidade dos camarões. Foi observada redução significativa na contagem de *Vibrio spp.* e na população total de bactérias intestinais, contribuindo para a melhoria da saúde entérica. Verificou-se ainda aumento nos níveis de proteína e na concentração de cálcio, composto essencial para a osmorregulação, endurecimento da cutícula, ciclo de muda e redução nos níveis de colesterol e triglicerídeos. Entretanto, o tratamento resultou na diminuição das células R no hepatopâncreas, indicando menor reserva energética nos camarões, e não foi constatado impacto positivo no crescimento (POURMOZAFFAR *et al.*, 2019).

Addam *et al.* (2019) observaram melhorias na microbiota intestinal após suplementação dietética com ácidos orgânicos isolados ou em combinação com o óleo essencial, para tilápias-do-Nilo alimentadas com dietas suplementadas por 30 dias. Foi

relatada redução na concentração de bactérias heterotróficas e *Pseudomonas sp.* Além disso, a dieta suplementada influenciou parâmetros hematoimunológicos e estruturais do intestino, como o aumento da altura das vilosidades e do número de células caliciformes, características associadas à melhora da absorção de nutrientes e à resposta imune. Dessa forma, os ácidos orgânicos demonstraram potencial para aprimorar a saúde e a resistência dos peixes, podendo ser úteis na fase inicial de cultivo.

As dietas suplementadas com silagem de ácido fórmico na alimentação de robalo europeu demonstraram aumento significativo ($p < 0,05$) no número total de leucócitos e melhora na digestibilidade. Os animais alimentados com a suplementação acidificante apresentaram digestibilidade de matéria seca, proteína e energia de 58,03%, 88,7% e 77,3%, respectivamente. Esses resultados foram significativamente superiores ($p < 0,05$) aos observados no grupo controle, que registrou 32,47%, 83,8% e 56,5%, respectivamente. Em termos de morfologia intestinal, a suplementação com ácido fórmico melhorou a integridade das microvilosidades, apresentando dobras mucosas mais profundas e maior regularidade. A melhoria da área de superfície intestinal pode levar a maior eficiência nutricional para os peixes (DAVIES *et al.*, 2020).

Já é conhecido que os ácidos orgânicos podem atuar reduzindo o pH intestinal e modulando a microbiota, e pode ter impacto indireto na resistência a patógenos. O estudo conduzido por Villumsen *et al.* (2020) reforça achados anteriores sobre a influência da dieta na resistência a infecções, mas também aponta para a variabilidade dos resultados dependendo da composição da ração, do patógeno e do modelo de infecção. As taxas de risco encontradas indicaram efeito protetor significativo para β -glucano combinado com ácidos orgânicos, sugerindo possível melhora na resistência imunológica das truta-arco-íris. Os grupos suplementados também apresentaram reduções no risco relativo de mortalidade em comparação ao controle.

A inclusão de ácidos orgânicos e compostos idênticos aos da natureza na dieta de trutas arco-íris ao longo de 82 dias resultou em variações na expressão gênica de citocinas inflamatórias na mucosa intestinal, sem efeito de dose significativo. No entanto, após a exposição a alta temperatura da água, observou-se regulação positiva de genes pró-inflamatórios (IL-8 e TNF- α) no grupo submetido a maior concentração do suplemento. A análise da microbiota intestinal indicou tendência de modulação da comunidade bacteriana em resposta às dietas testadas, com alterações na composição relativa de alguns gêneros bacterianos. Apesar dessas variações, não foram identificadas mudanças

significativas na diversidade bacteriana entre os grupos alimentados com diferentes doses do suplemento. Os resultados indicam influência da suplementação na resposta imune dos peixes, desencadeada pelas condições de estresse térmico (PELUSIO *et al.*, 2020).

A suplementação dietética com ácidos orgânicos (cítrico e sórbico) e compostos idênticos à natureza (timol e vanilina) microencapsulados favoreceu a resposta anti-inflamatória intestinal em juvenis de robalo-legítimo, contribuindo para a preservação da integridade epitelial. Esses aditivos demonstraram propriedades prebióticas, estimulando o crescimento de bactérias benéficas, como *Lactobacillus*, *Leuconostoc* e *Bacillus sp.*, e reduzindo funções associadas à inflamação. No entanto, a exposição a condições ambientais não ideais, como alta temperatura e baixo oxigênio, alterou a microbiota intestinal, reduzindo a presença de bactérias ácido lácticas e aumentando a abundância de *Proteobacteria*, principalmente da família *Enterobacteriaceae*. Apesar do aumento geral da comunidade bacteriana intestinal α -biodiversidade observado após a condição subótima, a mistura microencapsulada pareceu mitigar esse efeito mantendo um nível comparável à condição normal de criação (BUSTI *et al.*, 2020).

A suplementação de ácidos orgânicos na dieta de peixes demonstrou efeitos benéficos sobre a saúde e a microbiota intestinal, contribuindo para melhorias na digestibilidade dos nutrientes. De acordo com Zare *et al.* (2020), a adição de ácido acético, isoladamente ou em combinação com protexina, estimulou a atividade enzimática digestiva, incluindo tripsina, lipase, amilase, pepsina e quimotripsina, favorecendo a absorção de nutrientes. Além disso, a suplementação influenciou a composição dos ácidos graxos teciduais, promovendo um perfil lipídico mais equilibrado. A dieta combinada com ácido acético e protexina apresentou efeito sinérgico sobre a microbiota intestinal, resultando em um ambiente intestinal mais saudável, contribuindo para o crescimento, a eficiência alimentar e a modulação da resposta imunológica do esturjão siberiano.

A suplementação da dieta com ácido benzoico demonstrou efeitos benéficos para a saúde geral da tilápia-do-Nilo, influenciando parâmetros hematológicos, imunológicos e a taxa de sobrevivência. Embora a maioria dos parâmetros sanguíneos tenha apresentado pouca alteração, a inclusão de 0,1% de ácido benzoico na dieta resultou em maior concentração de leucócitos totais e linfócitos, indicando estímulo ao sistema imunológico. Esse grupo apresentou aumento das proteínas totais na fase pré-infecção e maiores níveis de imunoglobulinas, sugerindo ativação do sistema imunológico adaptativo. A atividade antimicrobiana também foi intensificada na fase pós-infecção,

evidenciada pelo aumento dos peptídeos antimicrobianos. Esses efeitos combinados resultaram na maior taxa de sobrevivência dos peixes suplementados com 0,1% do ácido, reforçando o potencial dos ácidos orgânicos como promotores da saúde e resistência imunológica na aquicultura (LIBANORI *et al.*, 2021).

Peixes alimentados com combinação de ácidos orgânicos e óleos essenciais apresentaram maior comprimento de vilosidades, tanto no intestino proximal quanto no intestino distal. O estudo conduzido por Huyben *et al.* (2021) encontrou altas abundâncias relativas dos filos *Firmicutes*, que desempenham importante papel na microbiota intestinal, influenciando na digestão, saúde e imunidade, e *Proteobacteria*, especificamente dos gêneros *Fusobacterium*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas* e *Vagococcus*. Não houve sinais de edema, inflamação da lâmina própria e necrose no intestino distal nos peixes alimentados com a dieta de tratamento. A alimentação com mistura microencapsulada de ácidos orgânicos e óleo essencial reduziu a abundância de bactérias *Aeromonas* no intestino da truta arco-íris. Esses resultados sugerem melhor saúde intestinal, que pode levar a melhor capacidade oxidativa e função intestinal.

A suplementação dietética com ácido fumárico melhorou desempenho de crescimento, eficiência alimentar e REP de juvenis de tilápia-do-Nilo. No entanto, doses superiores a 15 g/Kg de ácido fumárico tenderam a reduzir o desempenho produtivo e o uso de ração e proteína. As bactérias Gram-negativas foram reduzidas, e as *Enterobacteriaceae* foram eliminadas, após 28 dias de suplementação. Os resultados encontrados no estudo reforçam a adição de ácido fumárico à dieta como estratégia confiável para promover a saúde intestinal e melhorar a produção de juvenis de tilápia-do-Nilo (NEVES *et al.*, 2021).

A suplementação com um complexo de ácidos orgânicos e óleos essenciais em dietas com redução de farinha de peixe (200 g/Kg para 100 g/Kg) influenciou a microbiota intestinal da truta-arco-íris, aumentando as proporções de *Firmicutes* e *Mycoplasma*, reduzindo a diversidade microbiana e elevando a atividade da amilase. A ausência de alterações na estrutura hepática foi evidenciada pela redução das atividades séricas de ALT e AST, enquanto a maior capacidade antioxidante e metabólica foi demonstrada pelo aumento das atividades de SOD e AKP. Foi relatado ainda que a suplementação melhorou a morfologia intestinal, a espessura muscular e elevou as

atividades da lisozima sérica e do T-NOS, indicando benefícios imunológicos, digestivos e metabólicos (CAO *et al.*, 2022).

A adição dietética do Biotronic® Top Liquid, composto por ácido fórmico, propiônico e acético, melhorou a saúde da tilápia-do-Nilo ao aumentar os níveis de glóbulos vermelhos, hemoglobina, hematócrito e proteína total, especialmente sob desafio bacteriano. O tratamento também resultou na diminuição gradual das colônias bacterianas com o aumento da dose do produto acidificante. No desafio com *Aeromonas hydrophila*, a dose mais alta (0,25%) manteve a sobrevivência acima de 80% até o 7º dia e acima de 65% até a estabilização entre os dias 11 e 14. Esses resultados demonstram que quanto maior a dose de BTL, menores serão as contagens bacteriana e maior a taxa de sobrevivência das tilápias (BHUJEL *et al.*, 2022),

A suplementação com o composto comercial AQUAGEST® OM, contendo ácidos caprílico, cáprico e outros compostos, promoveu melhorias significativas na saúde das douradas, especialmente nos parâmetros hematológicos e imunológicos, além de exercer ação antimicrobiana na microbiota intestinal. Os peixes que receberam suplementação com 0,2% e 0,3% do produto apresentaram aprimoramento na resposta imunológica, evidenciado pelo aumento da atividade da lisozima sérica e da fagocitose, além de maiores valores de hemoglobina, hematócrito e contagem de hemácias, sugerindo melhor oxigenação sanguínea e condição fisiológica. A análise de regressão polinomial revelou que os níveis ótimos de AQUAGEST® OM para maximizar as atividades lisozimas e fagocíticas foram 0,21% e 0,28%, respectivamente, reforçando o potencial na modulação imunológica e na promoção da saúde intestinal da dourada (HUSSEIN *et al.*, 2023).

A suplementação dietética com ácido láctico na alimentação da carpa comum resultou em melhor desempenho e saúde da espécie. Os tratamentos com 2,5 e 5 g/Kg de ácido láctico aumentaram significativamente os níveis plasmáticos de fósforo e cálcio, com o maior aumento no grupo de 5 g/Kg, e elevaram as concentrações desses minerais nos músculos e vértebras dos peixes tratados. Parâmetros hematológicos também foram beneficiados, com aumentos significativos nos níveis de zinco, ferro, hemoglobina, hemácias, leucócitos e hematócrito, especialmente nos tratamentos com 5 g/Kg. Esses resultados confirmam que a suplementação de 5 g/Kg de ácido láctico melhora desempenho zootécnico, saúde mineral e parâmetros hematoimunológicos da carpa comum (MIRGHAED *et al.*, 2023).

Após 21 dias de suplementação dietética com ácidos orgânicos, observou-se aumento na imunidade inata da tilápia-do-Nilo. A suplementação com 0,3% e 0,5% de Bacti-nil®Aqua demonstrou efeito bactericida, melhorando a utilização de nutrientes, parâmetros imunológicos e resistência dos peixes à infecção por *Francisella orientalis*. Os grupos suplementados e desafiados apresentaram vilosidades intestinais reduzidas e menos alinhadas, sugerindo ativação da resposta imune. Linfócitos foram detectados apenas nos grupos suplementados, tanto antes quanto após o desafio. A microbiota intestinal permaneceu equilibrada, com predominância de *Fusobacteria*, *Proteobacteria*, *Firmicutes* e *Bacteroidetes*, indicando que a suplementação não alterou drasticamente a comunidade microbiana, mesmo após o desafio com *F. orientalis* (SILVA *et al.*, 2023).

Dietas suplementadas com ácido benzoico (0,1, 0,2 e 0,3%) foram avaliadas ao longo de 54 dias sobre o impacto na saúde de tilápias-do-Nilo. A suplementação de 0,1% modulou positivamente a saúde intestinal dos peixes, promovendo o crescimento de bactérias benéficas e reduzindo patógenos, aumentou o comprimento e a altura das vilosidades intestinais, melhorando a digestão e absorção de nutrientes, o que favoreceu o crescimento dos peixes. A suplementação com maior concentração (0,3%) proporcionou aumento de bactérias heterotróficas, mas proporcionou diminuição das bactérias lácticas em comparação ao controle. Esses resultados indicam que a suplementação com ácido benzoico pode modular a microbiota intestinal de forma dose-dependente, sendo que concentrações elevadas podem impactar negativamente as bactérias lácticas (LIBANORI *et al.*, 2023).

Em estudo conduzido por Mohtashemipour *et al.* (2024), foi avaliado o efeito da adição de uma mistura acidificante, contendo ácido butírico, ácido fórmico e diformato de sódio, a uma dieta com baixo teor de farinha sobre os índices de saúde hepática e a transcrição de genes relacionados ao sistema imunológico em juvenis de robalo asiático. Os resultados demonstraram que a suplementação com 1% da mistura acidificante modulou positivamente a microbiota intestinal, reduziu a presença de enzimas hepáticas e diminuiu o tamanho das vesículas lipídicas, sugerindo impacto positivo na saúde hepática. Foi observado também aumento na expressão dos genes imunomoduladores IL-10 e GMCFC, indicando otimização na resposta imunológica e na integridade epitelial intestinal do robalo.

Em estudo que avaliou a relação entre suplementação dietética e fundo genético, foi observado que fitogênicos à base de alho e AOCM impactaram de forma positiva o

transcriptoma intestinal de peixes geneticamente melhorados para crescimento e a adição de ácidos orgânicos alterou a microbiota intestinal de peixes referência. Nesse último grupo, também foi relatado redução de *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Neisseria* e *Vibrio*. De acordo com os resultados relatados pelos autores, a eficácia dos ácidos orgânicos na promoção da saúde intestinal e no equilíbrio da microbiota de douradas é dependente da linhagem genética, reforçando a importância da interação entre genótipo e nutrição na aquicultura (NAYA-CATALÀ *et al.*, 2024).

Para mitigar a inflamação induzida pelo farelo de soja no peixe-zebra, foram adicionadas doses de 35 e 65 ppm de ácido gálico em dietas com 50% de substituição da farinha de peixe por farelo de soja, durante 42 dias. A suplementação com ácido gálico resultou em benefícios significativos na saúde intestinal e hepática dos peixes, incluindo aumento no comprimento das vilosidades intestinais, redução da inflamação e melhora na integridade da mucosa intestinal. Além disso, houve diminuição das gotículas lipídicas no fígado e dos marcadores inflamatórios, como células de defesa e macrófagos, sugerindo efeito imunomodulador. As análises metabolômicas indicaram mudanças em vias metabólicas associadas à homeostase intestinal e resposta imunológica. Esses resultados sugerem que o ácido gálico dietético pode mitigar a enterite induzida por alimentos nos peixes, possivelmente por meio da ativação do controle mediado por PPAR γ (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma) (ZHAO *et al.*, 2024).

O ácido succínico e láctico modulou positivamente a microbiota da truta-arco-íris alimentadas por 48 dias. Em relação aos parâmetros de desenvolvimento intestinal, a suplementação contribuiu para aumento significativo na contagem de bactérias lácticas e no número total de bactérias. Em paralelo, houve aumento na atividade de lisozima e de enzimas antioxidantes, como SOD, catalase e GPx (peroxidase de glutathione), bem como redução nos níveis de malondialdeído (MDA), sugerindo uma proteção contra o estresse oxidativo. A combinação do ácido com bactérias lácticas aumentou a sobrevivência da espécie a desafios patogênicos, indicando efeito sinérgico na modulação da resposta imunológica e na resistência a infecções, o que reforça os benefícios da suplementação na saúde geral e na resistência imunológica dos peixes (FARSANI *et al.*, 2024).

3.4. Efeitos dos ácidos orgânicos na qualidade da água e mitigação de resíduos em sistema de aquicultura

Embora o trabalho precursor encontrado nas bases de dados pesquisadas relacionado ao uso de ácidos orgânicos na aquicultura não abordou diretamente o termo

sustentabilidade, os parâmetros físico-químico da água foram encontrados dentro da faixa normal (PAGARKAR *et al.*, 2005). Por outro lado, há uma década, Romano *et al.* (2015) concluiu que a adição de ácidos orgânicos na alimentação de camarões pode mitigar a carga excessiva de fósforo na água, devido a melhora na digestibilidade desse composto, contribuindo para a produção sustentável, uma vez que em excesso, o fósforo pode ter efeitos prejudiciais quando liberado no ambiente aquático circundante.

O controle da microbiota intestinal pode reduzir a excreção de compostos orgânicos e patógenos para a água, o que melhora a qualidade ambiental. Os parâmetros da água permaneceram nas faixas aceitáveis recomendadas para a criação da maioria dos peixes tropicais, em pesquisa conduzida por Omosowone *et al.* (2015), mais uma indicação de que o ácido fumárico é potente alternativa aos antibióticos, pois melhorou o crescimento por meio de melhor utilização de nutrientes.

Em estudo de 22 semanas conduzido por Ng *et al.* (2015) com camarões-tigre em duas lagoas, o grupo alimentado com uma dieta microencapsulada contendo ácidos orgânicos (fórmico, láctico, málico e cítrico) apresentou parâmetros de qualidade da água semelhantes ou superiores a do grupo controle. As contagens de bactérias viáveis totais e *Vibrio spp.* foram significativamente menores na lagoa tratada. Embora o pH inicial fosse similar entre as lagoas, ele tornou consistentemente mais alto na lagoa com dieta suplementada a partir da segunda semana, sugerindo que a microencapsulação foi eficaz em minimizar a lixiviação dos ácidos, garantindo maior ingestão pelos camarões. Embora os resíduos nitrogenados tenham sido maiores na lagoa que recebeu o tratamento, pela adição de algicidas, os níveis de nitrito e nitrato foram mais baixos nesse ambiente. Além disso, o oxigênio dissolvido aumentou no grupo suplementado, enquanto os sólidos suspensos totais (TSS) foram mais baixos no controle a partir da sexta semana.

Jamis *et al.* (2018), após ensaio de alimentação de camarão branco realizou o teste de lixiviação para avaliar a estabilidade dos diferentes tipos de rações experimentais (contendo vinagre da seiva de coco, maçã, cana-de-açúcar e acetato de sódio) na água, em relação à liberação de compostos ácidos ao longo do tempo. Nos primeiros 30 minutos, não foram observadas diferenças significativas entre as dietas em termos de lixiviação, indicando que os compostos ácidos estavam relativamente estáveis neste período inicial, entretanto, após 60 minutos, a dieta contendo acetato de sódio apresentou lixiviação significativamente maior (acidez total de 0,053 mg/L) em comparação às demais dietas (que variaram de 0,043 a 0,045 mg/L). Isso indica que o acetato de sódio

tem maior tendência a liberar compostos na água com o tempo, enquanto as dietas à base de vinagre podem ser mais adequadas para uso em cultivos visando manutenção da qualidade da água.

3.5. Aumento da resistência a desafio patogênico

Embora nem todos os estudos tenham sido conduzidos com desafio patogênico, aqueles que o incluíram demonstraram, em sua maioria, maior resistência dos organismos expostos. A Tabela 1 apresenta os estudos com maior fator de impacto que avaliaram a resistência de diferentes espécies, após a suplementação dietética com ácidos orgânicos, indicando também os patógenos aos quais foram submetidos.

AO	Dose (%)	Espécie suplementada	Desafio patogênico	TS (%)	Ref
Mistura de ácido fórmico, láctico, málico e cítrico	1 2 4 0,05	Camarão branco (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	<i>Vibrio harveyi</i>	73,3 81,7 76,7 *60	Romano et al. (2015)
Ácido Fumárico	0,1 0,15 0,2	Bagre (<i>Clarias gariepinus</i>)	<i>Aeromonas sobria</i>	*93,33 *100 *86,67	
Orgacids-AQUA™ (ácido fórmico, láctico, málico e cítrico)	2	Camarão -tigre (<i>Penaeus monodon</i>)	<i>Vibrio harveyi</i>	*70	
Ácido fórmico, propiônico e propionato de Ca	0,1 0,2	Tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	<i>Aeromonas sobria</i>	*66,7 *83,4	
Biotronic® Top3 (ácidos fórmico, propiônico e láctico)	0,08	Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<i>Aeromonas salmonicida</i>	*70	Menanteau-Ledouble et al. (2017)
Mistura proprietária de ácidos orgânicos	0,1	Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<i>Yersinia ruckeri</i>	98	Ohtani et al. (2020)
Mistura proprietária de β-glucanos e ácidos orgânicos	-	Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<i>Yersinia ruckeri</i>	*50	Villumsen et al. (2020)
Ácido Benzoico	0,1 0,2 0,3	Tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	<i>Streptococcus agalactiae</i>	94,99 92,5 98,75	Libanori et al. (2021)
Biotronic® Top Liquid (ácidos fórmico, propiônico e acético)	0,05 0,1 0,15 0,2 0,25	Tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	<i>Aeromonas hydrophila</i>	83,7 81,5 84,4 83,7 84,4	
Bacti-nil®Aqua (ácido silícico, propiônico, sórbico, fórmico, caprílico e cáprico)	0,3 0,5	Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	<i>Francisella orientalis</i>	26,9 *43,5	Silva et al. (2023)
Ácido láctico	0,1			~55	Farsani et al. (2024)
Ácido succínico	0,5	Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	<i>Yersinia ruckeri</i>	~65	
Ácido láctico e succínico	0,1 e 0,5			*75,6	

Tabela 1: AO: ácidos orgânicos TS: taxa de sobrevivência *: efeito significativo comparado ao controle (p<0,05) Ref: referência.

3.6. Efeitos dos ácidos orgânicos em diferentes espécies aquáticas

Os ácidos orgânicos dietéticos exerceram fortes efeitos antimicrobianos e têm o potencial de melhorar o crescimento, a utilização de nutrientes e a resistência a doenças na tilápia híbrida vermelha (*Oreochromis sp.*) (NG *et al.*, 2009; KOH *et al.* 2016). Observou-se o mesmo efeito sinérgico em alimentação de camarões (*Litopenaeus vannamei*) com uma mistura de ácidos orgânicos (fórmico, láctico, málico e cítrico): maior crescimento, maior digestibilidade da matéria seca e do fósforo, maior sobrevivência após desafio bacteriano. Os ácidos orgânicos apresentaram ainda propriedades protetoras hepatopancreáticas contra vibriose (ROMANO *et al.*, 2015).

A adição de ácido fumárico às dietas experimentais também não teve efeitos negativos na composição corporal geral do jundiá africano (*Clarias gariepinus*). As análises das carcaças dos peixes indicaram maior retenção de proteína no corpo ao final do experimento, sugerindo que a proporção proteína-energia usada na dieta estava adequada, inclusão de 0,5 g/Kg melhorou parâmetros hematológicos e a inclusão de 1,0 g/Kg desse ácido na dieta de *C. gariepinus* levou a melhor utilização de nutrientes quando comparado a níveis mais altos de inclusão. Além disso, a incorporação de ácido fumárico nas dietas do jundiá aumentou a sobrevivência após o desafio com *Aeromonas sobria*. (OMOSOWONE *et al.*, 2015).

As propriedades protetoras dos ácidos também foram relatadas por Ng *et al.* (2015) em um experimento de alimentação com camarões-tigre (*Penaeus monodon*). Embora o crescimento dos animais não tenha apresentado diferença significativa entre os grupos controle e tratamento, os camarões alimentados com uma dieta microencapsulada contendo mistura de ácidos orgânicos (fórmico, láctico, málico e cítrico) demonstraram maior resistência ao desafio bacteriano, melhor resposta imunológica e digestibilidade, além de menor contagem bacteriana.

De forma semelhante, as tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com combinação de ácidos orgânicos (fórmico e propiônico) e propionato de cálcio, apresentaram melhor desempenho em comparação ao grupo controle. Os peixes tratados com doses de 1 g/Kg e 2 g/Kg obtiveram ganhos de peso de 47,62% e 53,23%, respectivamente, enquanto o grupo controle teve apenas 27,37%. A TCA também foi reduzida, de 8,43 no controle para 5,6 (1 g/Kg) e 5,20 (2 g/Kg) nos tratamentos. Além disso, os peixes tratados demonstraram melhora nos índices hematológicos e

imunológicos, maior resistência a desafios patogênicos e, conseqüentemente, taxas mais altas de sobrevivência (REDA *et al.*, 2016).

O produto comercial conhecido por Biotronic® Top3 foi avaliado como aditivo alimentar em teste de alimentação truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Em termos de desempenho agríco, os peixes que receberam a dieta suplementada apresentaram melhora no ganho de e no PF (rever a frase), embora essas mudanças não foram estatisticamente significativas. Da mesma forma, não foi observada diferença significativa na TCA. Entretanto, o suplemento pode ser eficaz na proteção da truta arco-íris, uma vez que ao ser desafiada por *Aeromonas salmonicida*, a taxa de mortalidade diminuiu significativamente para o grupo alimentado com o suplemento (MENANTEAU-LEDOUBLE *et al.*, 2017).

A suplementação dietética de juvenis de mrigal (*Cirrhinus mrigala*) resultou em melhorias significativas em todos os parâmetros analisados. Os tratamentos superaram o grupo controle em GP, TCE, TCA, eficiência de conversão de proteína e sobrevivência ao desafio patogênico. Nos peixes alimentados com 1% e 1,5% de acidificante, observou-se aumento significativo nos níveis de glóbulos vermelhos e brancos ($p < 0,05$). Após o desafio, o grupo com 1% apresentou maior conteúdo de hemoglobina e plaquetas ($p < 0,05$). No pré-desafio, o grupo com 0,5% destacou-se por apresentar níveis mais altos de proteína total e albumina ($p < 0,05$), enquanto, no pós-desafio, o grupo com 1% mostrou os maiores níveis de proteína total e globulina. Em contrapartida, o grupo com 0,5% registrou os menores valores para albumina e relação albumina-globulina (KUMAR *et al.*, 2017).

As respostas encontradas em outra pesquisa, que concentrou no linguado-oliva (*Paralichthys olivaceus*), sugerem que os ácidos orgânicos podem ser uma alternativa promissora aos antibióticos dietéticos para o manejo preventivo e curativo da saúde na aquicultura de linguado-oliva, devido ao potencial de redução da carga patogênica intestinal destes compostos e aumento na sobrevida (KATYA *et al.*, 2018).

As dietas experimentais contendo diferentes vinagres e acetato de sódio apresentaram variações significativas em termos de lixiviação, crescimento e atratividade para o camarão branco do Pacífico (*Penaeus vannamei*). O teste crescimento demonstrou que os camarões alimentados com dietas contendo vinagre da seiva de coco exibiram GP e TCE superiores aos demais tratamentos, seguido do vinagre de maçã, sendo os grupos com o melhor desempenho observado. No teste de atratividade, as dietas com vinagre da

seiva de coco e vinagre de maçã também se mostraram mais atrativas, possivelmente pela presença de aminoácidos específicos e compostos voláteis (JAMIS *et al.*, 2018).

Rimoldi *et al.* (2018) confirmaram o potencial dos aditivos acidificantes na modulação da microbiota intestinal em douradas (*Sparus aurata*). No entanto, não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros de desempenho zootécnico, exceto naTCA, que foi reduzida de 1,53 no grupo controle para 1,47 no grupo que recebeu a dieta suplementada com 0,5% de SILOhealth 108Z. Os autores também relataram aumento na proporção de *lactobacilos* (8,75% no controle para 40,90% no tratamento), os quais podem desempenhar papel importante na defesa do hospedeiro contra a invasão de bactérias patogênicas no nível intestinal.

A suplementação com ácido cítrico foi avaliada em um teste de alimentação com juvenis de pregado (*Scophthalmus maximus*), sendo adicionado a dietas contendo farinha de peixe ou farelo de soja. Os resultados do estudo demonstraram que o ácido pode proteger o intestino do animal contra danos oxidativos, aumentando a capacidade antioxidante total e reduzindo os níveis de MDA, além de regular positivamente a expressão de genes relacionados à proliferação celular e barreiras intestinais, enquanto inibiu a expressão de genes pró-apoptóticos, como p53 e Caspase-3. A integridade estrutural do intestino também foi preservada e a microbiota intestinal modulada de forma benéfica, com uma redução significativa de patógenos do gênero *Vibrio*. Os autores sugerem que espécies de peixes com maior sensibilidade ao uso de farelo de soja na dieta ou predisposição a desequilíbrios intestinais, podem ser particularmente beneficiadas pelo uso de ácidos orgânicos (CHEN *et al.*, 2018).

Matani Bour *et al.* (2018) avaliou os efeitos da substituição parcial da farinha de peixe por farelo de soja e da suplementação com ácido lático em juvenis de esturção beluga (*Huso huso*) ao longo de 60 dias. A substituição da farinha de peixe por farelo de soja reduziu o crescimento e alterou negativamente os perfis de ácidos graxos e parâmetros sanguíneos, mas a suplementação com ácido lático, especialmente na concentração de 2%, melhorou o desempenho zootécnico, a digestibilidade de nutrientes e a saúde intestinal. A combinação de 350 g/Kg de farelo de soja e 20 g/Kg de ácido lático mostrou-se eficaz sem prejudicar os índices biológicos e fisiológicos dos peixes.

Juvenis de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentados com a combinação de probiótico (*Bacillus subtilis*) e ácido transcinâmico demonstraram maior resistência à bactéria *Yersinia ruckeri*, além de aumento significativo na atividade do sistema

imunológico. Esse efeito incluiu elevação na porcentagem de granulócitos, na atividade respiratória explosiva, na atividade fagocítica, na atividade da mieloperoxidase e na atividade da antiprotease total. Após 20 dias de desafio com o patógeno, os grupos suplementados com a mistura de *B. subtilis* e ácido transcinâmico apresentaram taxas de sobrevivência significativamente maiores em comparação com o grupo controle, bem como níveis mais elevados de anticorpos (YILMAZ *et al.*, 2019).

A suplementação dietética com vinagre de maçã e ácido propiônico, em ensaio de alimentação de 60 dias, demonstrou benefícios à saúde dos camarões branco (*Litopenaeus vannamei*) incluindo a redução da contagem total de bactérias viáveis e *Vibrio spp.* no intestino, além do aumento dos níveis de proteínas totais na hemolinfa e de cálcio, essencial para processos fisiológicos como a osmorregulação e o endurecimento da cutícula (POURMOZAFFAR *et al.*, 2019).

Os produtos orais não antibióticos, incluindo probióticos, ácidos orgânicos e ácido húmico, apresentam efeitos distintos entre espécies de peixes. Em tambaquis (*Colossoma macropomum*), a suplementação com o produto comercial Biotronic Top 3 (composto por ácido acético, fórmico e propiônico) e probióticos promoveu um padrão de excreção intermitente de *Salmonella Hadar* na segunda semana de tratamento, resultando em redução de 50% no número de peixes positivos até o 20º dia pós-desafio. No entanto, nenhum dos produtos testados foi capaz de eliminar completamente o patógeno do trato intestinal (SANTOS *et al.*, 2019). Já em tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), a suplementação dietética com ácidos orgânicos melhorou a saúde intestinal, aumentando a altura das vilosidades intestinais e reduzindo a concentração de bactérias heterotróficas totais e *Pseudomonas sp.*, além de promover maior taxa de sobrevivência (ADDAM *et al.*, 2019).

O potencial dos ácidos orgânicos combinados com probióticos (OHTANI *et al.*, 2020) ou combinados com β -glucano (VILLUMSEN *et al.*, 2020) na melhoria da resistência imunológica e sobrevivência de trutas-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) frente à infecção por *Yersinia ruckeri*, também foi avaliado. Enquanto nos dois estudos observaram aumento na sobrevivência com a suplementação da mistura acidificante, Yilmaz *et al.* (2019) relataram que a combinação de *Bacillus subtilis* e ácido transcinâmico não apenas elevou a resistência ao patógeno, mas também estimulou significativamente a atividade imunológica.

Os resultados experimentais relatados por Davies *et al.* (2020) indicaram que a alimentação de robalo-europeu (*Dicentrarchus labrax*) com dietas à base de silagem de peixe não melhorou significativamente o desempenho zootécnico em comparação com a dieta à base de farinha de peixe, apresentando, inclusive, efeitos inferiores em alguns parâmetros. No entanto, a suplementação com silagem de ácido fórmico influenciou positivamente a morfologia intestinal, promovendo dobras mucosas mais estruturadas e maior relação de perímetro intestinal, podendo estar associado a maior capacidade de absorção de nutrientes no trato digestório.

Os ácidos orgânicos e compostos idênticos à natureza melhoraram a TCE e a TCA durante a segunda metade do experimento (dias 40–82) de alimentação truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Ao final do ensaio, a eficiência da proteína e a eficiência lipídica aumentaram com o nível crescente de inclusão na dieta. A análise da diversidade e composição da microbiota intestinal, bem como da expressão de genes de citocinas, não mostrou diferenças significativas entre os peixes alimentados com doses crescentes do tratamento ao longo de 82 dias, indicando ausência de atividade inflamatória na mucosa intestinal (PELUSIO *et al.*, 2020).

Em contraste, Busti *et al.* (2020) observaram que os ácidos orgânicos e compostos idênticos aos naturais não promoveram melhora significativa no desempenho zootécnico do robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*). Não foi encontrado efeito de dose entre os tratamentos na composição corporal total, na REP, na eficiência proteica bruta, na REL e na eficiência lipídica bruta. No entanto, os resultados da expressão gênica de citocinas indicam que a mistura dietética parece exercer efeito benéfico na resposta anti-inflamatória ao nível intestinal, além de apresentar propriedades prebióticas, promovendo o desenvolvimento de bactérias benéficas, como *Lactobacillus*, *Leuconostoc* e *Bacillus sp.*

A suplementação dietética com ácido acético (2%) e a combinação com protexina (0,01%) melhoraram significativamente o desempenho do esturjão siberiano (*Acipenser baerii*). Os peixes desses grupos apresentaram maior PF, GP e TCE, além de menor TCA no grupo alimentado com a dieta combinada ($P < 0,05$). A dieta combinada reduziu o pH intestinal, aumentou a população de bactérias do ácido lático e elevou a atividade de enzimas digestivas, como quimotripsina, tripsina, lipase e amilase. Já a dieta contendo apenas ácido acético estimulou a resposta imune, aumentando a atividade da lisozima, que exerce ação antibacteriana, e do complemento alternativo, que é um mecanismo

fundamental da imunidade inata, além de influenciar a modulação da composição dos ácidos graxos (ZARE *et al.*, 2021).

Huyben *et al.* (2021) não observaram diferenças significativas na sobrevivência e no desempenho zootécnico de trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentadas com a combinação de ácidos orgânicos (ácido sórbico, ácido fumárico, ácido málico e ácido cítrico) e óleos essenciais (timol, vanilina e eugenol) comparados ao controle. No entanto, a suplementação com esses compostos afetou significativamente a histologia intestinal e a abundância de patógenos bacterianos específicos. O estudo indicou benefícios na utilização de ácidos orgânicos e óleos essenciais, evidenciados pelo aumento do comprimento das vilosidades intestinais e pela ausência de inflamação no intestino dos peixes tratados.

O ácido benzoico influenciou de forma positiva o desempenho zootécnico, a resposta imunológica e a sobrevivência da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). A suplementação com 0,1% de ácido benzoico resultou em melhores níveis de crescimento, conversão alimentar, parâmetros hematoimunológicos e taxa de sobrevivência após o desafio com *Streptococcus agalactiae* (LIBANORI *et al.*, 2021). Resultados semelhantes foram observados por Neves *et al.* (2021) com a suplementação de ácido fumárico. Doses de 14-15 g/Kg de dieta promoveram melhorias no GP, REP, TCA e morfometria das vilosidades intestinais. Além disso, a população de bactérias Gram-negativas intestinais foi reduzida, independentemente do nível de suplementação, que variou de 5 a 30 g/Kg.

A suplementação de um complexo de ácidos orgânicos e óleos essenciais, composto por ácido fumárico (16%), ácido sórbico (8%), ácido málico (7%), ácido cítrico (7%) e óleos essenciais como timol, vanilina e eugenol, isoladamente ou em combinação com um complexo multienzimático e um prebiótico, em dieta com baixo teor de farinha de peixe (100 g/Kg), melhorou o desempenho de crescimento, a utilização de nutrientes e a função imunológica da truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). No entanto, não foi observado efeito sinérgico na combinação dos três suplementos (CAO *et al.*, 2022).

O desempenho de crescimento da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi aprimorado com a suplementação dietética de BTL. De forma semelhante, a REP e a eficiência da conversão alimentar foram potencializadas, resultando na redução da TCA, especificamente na faixa de 1,5 a 2,5 L/ton. Os peixes que receberam doses mais altas apresentaram aumento de 25% na sobrevivência global, após desafio patogênico com *A. hydrophila*, além de apresentar menor contagem bacteriana (BHUJEL *et al.*, 2022).

Durante 90 dias foram avaliados os efeitos da suplementação dietética da mistura de ácidos orgânicos AQUAGEST® OM sobre o desempenho produtivo, eficiência alimentar, parâmetros hematobioquímicos, imunidade e microbiota intestinal de juvenis de dourada (*Sparus aurata*). Os resultados observados nos grupos alimentados com suplementação 0,2% e 0,3% do produto demonstraram maior GP, menor TCA, aumento dos valores de hemoglobina, hematócrito e hemácias, além de melhora na atividade da lisozima e fagocitose. Os peixes suplementados também apresentaram menores contagens bacterianas totais, incluindo *Vibrio spp.* e *Escherichia coli*, indicando efeito antimicrobiano. Com base na análise de regressão polinomial, os níveis ótimos de AQUAGEST® OM para maximizar o desempenho e a saúde intestinal de douradas são estimados entre 0,18% e 0,28% (HUSSEIN *et al.*, 2023).

A alimentação da carpa comum (*Cyprinus carpio*) com suplementação dietética de ácido láctico proporcionou melhorias significativas no desempenho de crescimento, na saúde mineral e em parâmetros hematológicos, evidenciados pelo aumento dos níveis plasmáticos de fósforo e cálcio, além de melhorias nos níveis de zinco, ferro, hemoglobina, hemácias, leucócitos e hematócrito. Os resultados do estudo indicaram que a carpa comum também é uma das espécies beneficiadas pela suplementação de ácidos orgânicos, particularmente quando administrada a doses de 5 g/Kg (MIRGHAED *et al.*, 2023).

A inclusão de 0,5% da mistura de ácidos orgânicos de cadeia curta e média (Bactinil®Aqua) melhorou a sobrevivência da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) ao desafio com *Francisella orientalis*, além de fortalecer a resposta imune e manter o equilíbrio da microbiota intestinal. O estudo demonstrou que o produto acidificante possui efeito bactericida e a suplementação dietética pode otimizar a utilização de nutrientes, além de aumentar a resistência da tilápia a infecções patogênicas (SILVA *et al.*, 2023).

Em um novo estudo, Libanori *et al.* (2023) avaliaram o efeito da suplementação de ácido benzoico na alimentação de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre a microbiologia intestinal, a histologia intestinal e hepática, e a composição da microbiota intestinal dessa espécie. Os resultados mostraram que a concentração de 0,1% favoreceu bactérias benéficas, reduziu patógenos e aumentou o comprimento e a altura das vilosidades intestinais, contribuindo para melhor digestão e absorção de nutrientes, sem interferir nas funções hepáticas. O sequenciamento de alto rendimento (HTS) confirmou

a atividade bactericida e bacteriostática, beneficiando a microbiota intestinal das tilápias.

A suplementação com ácidos orgânicos influenciou positivamente a atividade antioxidante hepática no robalo asiático (*Lates calcarifer*), aumentando os níveis de glutathione, catalase e a superóxido dismutase, especialmente nas dietas com alto teor de farinha suplementada com 0,5% e baixo teor de farinha suplementada com 1,0%. Esses grupos também apresentaram maior GP, maior TCE e menor TCA (MOHTASHEMIPOUR *et al.*, 2024).

Em juvenis de dourada (*Sparus aurata*) foram observados resultados distintos entre espécies geneticamente melhoradas para crescimento e grupos de referência. Esses grupos foram suplementados com mistura de ácidos orgânicos com 70% de sal de sódio de ácido butírico e um fitogênico à base de alho e AOCM. Os grupos melhorados apresentaram o melhor desempenho de crescimento, maiores taxas de GP e menor TCA. Os grupos referência foram impactados de forma negativa com a suplementação de ácidos orgânicos. Apesar de esses compostos demonstrarem efeito positivo na microbiota das douradas, a eficácia dos aditivos é resultado também do genótipo dos peixes (NAYA-CATALÀ *et al.*, 2024).

A suplementação de ácido gálico na dieta de peixe-zebra (*Danio rerio*), com substituição parcial da farinha de peixe por farelo de soja, demonstrou benefícios significativos para a saúde intestinal e hepática. Embora não tenham sido realizadas avaliações sobre o impacto no desempenho zootécnico da espécie, foram observadas redução da inflamação, melhoria da integridade da mucosa intestinal e modulação da resposta imunológica. A integridade da mucosa intestinal é preservada pelo aumento da abundância de *Verrucomicrobia* e pelo reequilíbrio da razão *Firmicutes/Bacteroides*. O potencial terapêutico do ácido gálico na enterite de peixes está associado à interação com o PPAR γ , contribuindo para mecanismos anti-inflamatórios, imunomoduladores e antioxidantes (ZHAO *et al.*, 2024).

Em estudo conduzido por Farsani *et al.* (2024) com suplementação dietética para *Oncorhynchus mykiss*, foi observada uma resistência aumentada à infecção por *Yersinia ruckeri*, com até 65% de proteção na truta-arco-íris suplementada com a combinação de 0,5% de ácido succínico e 0,1% de ácido láctico. A modulação da microbiota intestinal, juntamente com a melhoria dos parâmetros imunológicos no soro e nas mucosas, como a contagem de leucócitos e o aumento da capacidade antioxidante, desempenhou papel

importante no incremento da resistência à doença. Os parâmetros de desempenho zootécnico também foram otimizados com a suplementação dos ácidos, corroborando com outros achados que avaliaram a resposta dessa espécie à suplementação dietética com ácidos orgânicos (FARSANI et al., 2024).

3.7. Estudos que utilizaram método de microencapsulamento: Benefícios na Aquicultura

A microencapsulação consiste na formação de uma camada protetora entre o conteúdo central e o material de revestimento, com o objetivo de impedir interações químicas e físicas indesejadas, preservando as características biológicas, funcionais e físico-químicas dos compostos encapsulados (BAKRY *et al.*, 2016). A microencapsulação apresenta-se como uma estratégia promissora para a indústria alimentícia ao permitir a incorporação de compostos bioativos e funcionais, promovendo sua proteção, estabilidade e biodisponibilidade, além de mascarar sabores indesejados e evitar interações com outros ingredientes (CALDERÓN-OLIVER & PONCE-ALQUICIRA, 2022).

A incorporação de ácidos orgânicos microencapsulados na dieta demonstrou benefícios significativos em diversas áreas fisiológicas e imunológicas de camarões brancos (*Litopenaeus vannamei*). Este método permitiu melhores resultados no crescimento, maior digestibilidade da matéria seca e do fósforo e reforço da resposta imunológica. Além disso, a técnica preservou a integridade hepatopancreática e contribuiu para maior resistência a infecções causadas pelo patógeno *Vibrio harveyi*, conhecido por afetar a saúde de camarões em sistemas de cultivo (ROMANO *et al.*, 2015).

Há uma tendência crescente no uso de ácidos orgânicos microencapsulados para alimentação de peixes. Ng et al. (2015) relatou que a água dos grupos tratados com ácidos orgânicos apresentou pH mais elevado do que o grupo controle, contrariando a expectativa de maior acidificação. Esse resultado foi atribuído à microencapsulação, que reduz a lixiviação desses compostos. Esse método é especialmente importante para camarões que mastigam a ração e, conseqüentemente, promovem maior lixiviação de nutrientes em comparação a peixes que ingerem a ração inteira.

Pelusio *et al.* (2020) utilizaram o método de microencapsulamento em uma matriz de gorduras hidrogenadas para uma mistura de ácidos orgânicos e compostos idênticos aos naturais, observando aumento na TCE e melhora na TCA. O mesmo método foi

empregado por Busti *et al.* (2020), entretanto, de forma divergente, não foram observadas melhoras no desempenho zootécnico. Apesar disso, os autores relataram uma reconfiguração funcional potencialmente significativa na microbiota intestinal, promovendo a diminuição de funções promotoras de inflamação e o aumento de funções homeostáticas à medida que a dose da combinação de ácidos e compostos idênticos aos naturais foi elevada.

Huyben *et al.* (2021), ao utilizar uma combinação de ácidos orgânicos e óleos essenciais com microencapsulação, também não observaram diferenças significativas no desempenho zootécnico de trutas arco-íris, mas destacaram benefícios na saúde intestinal dos peixes, como o aumento do comprimento das vilosidades intestinais e a ausência de inflamação. Adicionalmente, a redução de *Aeromonas hydrophila* e *Acinetobacter spp.* sugere que o método de microencapsulação é eficaz para proteger os compostos ativos no trato gastrointestinal inicial, evitando a destruição ou absorção precoce, permitindo a liberação em regiões específicas do intestino para ação direcionada e eficiente.

Cao *et al.* (2022) também discutiram sobre a tecnologia de microencapsulação, um método que pode retardar a liberação de ácidos orgânicos no trato gastrointestinal e evitar a perda de óleos essenciais durante o processamento da ração, aprimorando assim o efeito de ácidos orgânicos e óleos essenciais nas dietas dos peixes. Esse método foi utilizado por eles em uma dieta suplementada com um complexo de ácidos orgânicos e óleos essenciais na alimentação de truta-arco-íris, e os resultados demonstraram melhor desempenho de crescimento e a utilização de ração para os peixes que receberam a suplementação.

Em síntese, o microencapsulamento é uma tecnologia promissora e em constante avanço na indústria alimentícia, permitindo a proteção, liberação controlada e maior biodisponibilidade de compostos bioativos em matrizes alimentares. Entretanto, apesar de inúmeros benefícios, desafios relacionados à escolha de materiais encapsulantes, custo, escalabilidade e regulamentações ainda limitam sua plena aplicação (ARENAS-JA *et al.*, 2020). Em comparação aos compostos não microencapsulados, alguns estudos sugerem uma tendência dos ácidos orgânicos a apresentarem maior estabilidade frente a condições adversas, melhor palatabilidade, maior eficácia na liberação intestinal e, conseqüentemente, melhores resultados zootécnicos. Contudo, ainda há necessidade de mais pesquisas que contrastem os efeitos dos ácidos orgânicos microencapsulados com os não microencapsulados, a fim de validar melhor o uso dessa tecnologia.

3.8. Principais lacunas na literatura sobre o uso de ácidos orgânicos como aditivos alimentares

Em sua maioria, os artigos aqui analisados, investigam os efeitos dos ácidos orgânicos combinados entre si, muitas vezes associados a probióticos ou óleos essenciais (ADDAM *et al.*, 2019; YILMAZ *et al.*, 2019; PELUSIO *et al.*, 2020; CAO *et al.*, 2022), sem avaliar isoladamente os efeitos de cada ácido. São necessários estudos comparativos sobre a eficácia individual de diferentes ácidos orgânicos, considerando parâmetros como desempenho zootécnico, modulação da microbiota e resistência a patógenos.

É importante ainda que a avaliação seja feita sem nenhum viés, como realizado por Mohtashemipour *et al.* (2024), que reduziu a farinha de peixe para 21%, e compensou essa substituição aumentando farinha de aves, glúten de milho e trigo e farelo de soja, este último diretamente associado a processos inflamatórios (MATANI BOUR *et al.*, 2018).

Há ainda uma variabilidade nas concentrações testadas e espécies avaliadas, por diferentes pesquisadores, como a utilização do ácido fumárico por OMOSOWONE *et al.* (2015) e NEVES *et al.* (2021), sem padronização das doses. Os testes de alimentação não avaliaram as mesmas espécies, sendo bagres (*Clarias gariepinus*) e tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), respectivamente, o que pode impedir a comparabilidade dos resultados. O primeiro estudo adicionou doses baixas, variando entre 0,05% a 0,2% enquanto o segundo adicionou concentrações mais altas do ácido, variando de 0,5% a 3%, os autores que adicionaram o ácido na dieta de *Clarias gariepinus* concluíram que a inclusão de 0,1% de desse composto aumentou o crescimento sem causar efeitos negativos na composição da carcaça, enquanto a inclusão de 0,05% melhorou os parâmetros hematológicos dos peixes. Os resultados do último estudo indicaram que a inclusão de 1,5% (15 g/Kg) de ácido fumárico na dieta de *Oreochromis niloticus* é o ideal para melhorar o desempenho de crescimento e reduzir bactérias Gram-negativas.

Poucos estudos avaliam os impactos do uso prolongado dos ácidos orgânicos na saúde intestinal, digestibilidade e possíveis efeitos adversos. Os testes de alimentação podem ter durações curtas de apenas 28 dias, como relatado por Ohtani *et al.* (2020), ou médias com duração de 90 dias, conduzido por Rimoldi *et al.* (2018) ou períodos mais longos, de 175 dias (MENANTEAU-LEDOUBLE *et al.*, 2017). A suplementação dietética de *Sparus aurata* durante 90 dias não apresentaram diferenças significativas no

desempenho de crescimento. Os estudos com duração mais curta (28 dias) e mais longa (175 dias) foram planejados com indução de infecção bacteriana, ambos avaliando o desempenho e resistência de *Oncorhynchus mykiss*. O mesmo tipo de infecção, por injeção intraperitoneal, demonstrou resultados diferentes. O estudo de 28 dias indicou mortalidade superior a 86%, e os estudos conduzidos por 175 dias obtiveram 30% de mortalidade após desafio patogênico (*Yersinia ruckeri* e *Aeromonas salmonicida*).

Os resultados não podem ser relacionados, uma vez que utilizam produtos diferentes, como a mistura de ácidos orgânicos combinados com probiótico (*Pediococcus acidilactici*) e ácidos orgânicos combinados entre si (Biotronic® Top3), além de analisarem infecções por patógenos distintos. Outra observação, é quanto a utilização prolongada do produto que, apesar de aumentar a sobrevivência, não apresentaram efeitos significativos no desempenho de crescimento.

Os resultados da suplementação de ácidos orgânicos também podem ser influenciados por fatores ambientais, e poucos estudos avaliaram as respostas ao tratamento com condições ambientais subótimas (BUSTI *et al.*, 2018). Na maioria dos casos, os relatos indicam que as condições ambientais e a qualidade da água foram monitoradas diariamente para se manterem dentro dos parâmetros ideais para a espécie cultivada (KUMAR *et al.*, 2017; RIMOLDI *et al.*, 2018; POURMOZAFFAR *et al.*, 2019; DAVIES *et al.*, 2020; FARSANI *et al.*, 2024).

O efeito na qualidade da carne de espécies que recebem dietas suplementadas com ácidos também deve ser avaliado. Há poucos estudos que investigaram como a suplementação com ácidos orgânicos impactaram as características sensoriais, como cor, sabor, textura, odor (PALECKAITIS *et al.*, 2017) e nutricionais como a composição lipídica e teor de proteína (ZARE *et al.*, 2021) dos peixes cultivados.

O impacto ambiental e a viabilidade econômica dos ácidos orgânicos em larga escala também foram avaliados em poucas pesquisas. Ocasionalmente os autores sugerem que a inclusão dietética desses ácidos pode reduzir custos com a alimentação e diminuir a descarga de nutrientes no ambiente (NG *et al.* (2015) ou ainda mitigar efeitos da substituição de farinha de peixe por resíduos da indústria pesqueira, contribuindo para uma produção econômica e sustentável, tornando a aquicultura mais eficiente (DAVIES *et al.*, 2020).

A falta de padronização nos testes e metodologias para a utilização de ácidos orgânicos como aditivos alimentares impede a replicabilidade dos estudos e a comparação

dos resultados, dificultando um uso comercial mais efetivo. Os resultados deste estudo sugerem um nível de complexidade em relação à suplementação dietética com ácidos orgânicos, refletindo a diversidade dessa classe de aditivo. Fatores como duração da suplementação, tipo e concentração do ácido orgânico, bem como a espécie e o genótipo, devem ser alvo de futuras investigações para a consolidação de dados sobre essa classe de aditivos.

4. Discussão

Os artigos científicos analisados nesta revisão avaliaram diversos parâmetros em comum, embora, em alguns casos, tenham considerado variáveis distintas. A maior parte dos trabalhos investigou o desempenho zootécnico dos animais que receberam a suplementação de ácidos, juntamente com a modulação da microbiota intestinal, desempenho de saúde e a resistência a patógenos. Em alguns estudos, foram mencionados impactos positivos no meio ambiente, destacando os ácidos orgânicos como uma alternativa sustentável na aquicultura.

Dentre os artigos selecionados, 83,78% avaliaram o impacto dos ácidos orgânicos adicionados à dieta de organismos aquáticos sobre parâmetros de saúde intestinal, desempenho zootécnico, como GP, TCE e TCA. Os resultados dos estudos nem sempre são consonantes. Por exemplo, Libanori *et al.* (2021) e Hussein *et al.* (2023) relataram resultados excelentes na otimização dos parâmetros de crescimento e aumento da resistência a patógenos com a utilização de ácido benzoico e dos ácidos succínico/lático, respectivamente, enquanto Busti *et al.* (2020) e Hyuben *et al.* (2021) não observaram melhorias no crescimento dos animais tratados com ácido cítrico/sórbico e com a combinação de ácidos orgânicos e óleos essenciais. Dentre os 31 artigos analisados (83,78%) que avaliaram o desempenho, 22 abordaram paralelamente a sobrevivência dos peixes. O total de 13 artigos (39,4%) relataram aumento significativo na sobrevivência dos animais que receberam a suplementação acidificante, 2 artigos (6%) indicaram aumento na mortalidade dos animais tratados, e 7 artigos (21,2%) não observaram diferença significativa em relação à mortalidade.

O microbioma desempenha papel fundamental na modulação de diversas características do hospedeiro, e um ambiente intestinal saudável está diretamente associado a melhor desempenho zootécnico e a maior resistência do animal (ZARE *et al.*, 2020). Os resultados dos artigos analisados indicam uma modulação significativa da microbiota intestinal em diferentes espécies. Na truta-arco-íris, por exemplo, foi

observado aumento nos filos *Firmicutes*, que desempenham papel essencial na microbiota intestinal (HUYBEN *et al.*, 2021; CAO *et al.*, 2022). Além disso, verificou-se ação antimicrobiana na microbiota intestinal da dourada (HUSSEIN *et al.*, 2023) e a manutenção de um perfil microbiano equilibrado na tilápia-do-Nilo, mesmo após desafio patogênico, conforme reportado por Silva *et al.* (2023). No esturjão-siberiano, a suplementação resultou em um ambiente intestinal mais saudável (ZARE *et al.*, 2020) e no robalo-legítimo, Busti *et al.* (2020) descreveram uma modulação positiva da microbiota e aumento nas funções anti-inflamatórias sob condições ambientais normais. No entanto, quando submetidos a altas temperaturas e baixos níveis de oxigênio, foi observada a redução das bactérias ácido-láticas, indicando que fatores ambientais podem impactar a resposta da microbiota à suplementação. De maneira semelhante, Libanori *et al.* (2023) relataram diminuição das bactérias ácido-láticas em tilápias-do-Nilo alimentadas com altas doses de ácido benzoico. Embora esse ácido tenha demonstrado eficiência no crescimento dos peixes em todas as doses testadas, os melhores resultados foram obtidos com a menor dose. Isso sugere que o uso excessivo do ácido benzoico pode comprometer a microbiota intestinal, destacando a importância da determinação de doses adequadas para otimizar os benefícios sem prejuízos à saúde intestinal dos animais.

A utilização de aditivos alimentares que tenham ação antimicrobiana, que promovam a saúde dos animais, também tem sido alvo de estudos que avaliam estratégias para reduzir o uso de antibióticos. Os ácidos orgânicos reúnem essas características, uma vez que conseguem diminuir o pH do trato gastrointestinal (RATHNAYAKE *et al.*, 2021) desestabilizando a membrana bacteriana, levando ao rompimento e à permeabilização da membrana externa de bactérias Gram-negativas (MENANTEAU-LEDOUBLE *et al.*, 2017). Koh *et al.* (2016) relataram que a suplementação com ácido benzoico foi eficaz na inibição do crescimento de *Streptococcus agalactiae* enquanto Ng *et al.* (2009) observaram maior taxa de sobrevivência em tilápias desafiadas por esse patógeno quando alimentadas com a combinação de ácidos orgânicos. O produto comercial Biotronic® Top3, com ação voltada para bactérias Gram-negativas, foi utilizado por Menanteau-Ledouble *et al.* (2017). Os resultados do estudo indicaram maior resistência de *Streptococcus agalactiae* em testes *in vitro*, que pode ser explicado visto que o produto foi menos eficaz contra o único patógeno Gram-positivo testado, e foi observada paralelamente maior resiliência de *Aeromonas hydrophila*. Em dissonância, Bhujel *et al.* (2022) relataram maior sobrevivência de tilápias-do-Nilo desafiadas por esse patógeno,

quando tratadas com BTL, sugerindo efeito mais eficaz contra *A. hydrophila* com o produto à base de ácido fórmico, propiônico, acético e impermeabilizante. Kumar *et al.* (2017) encontraram resultados semelhantes em juvenis de mrigal alimentados com uma mistura de ácido fórmico e propionato de cálcio. Camarões também apresentaram maior taxa de sobrevivência quando desafiados por *Vibrio harveyi*, sendo os resultados atribuídos à suplementação combinada de ácidos fórmico, láctico, málico e cítrico (NG *et al.*, 2015; ROMANO *et al.*, 2015).

A suplementação dietética com ácidos orgânicos demonstrou eficácia na redução da contagem do gênero *Vibrio spp.* no intestino do linguado-oliva (KATYA *et al.*, 2018), camarão (POURMOZAFFAR *et al.*, 2019), tilápias-do-Nilo (SILVA *et al.*, 2023), douradas (NAYA-CATALÀ *et al.*, 2024) e peixe-zebra (ZHAO *et al.*, 2024). De forma oposta e positiva, a adição dos acidificantes induziu um aumento relativo na abundância de *Firmicutes* no intestino de douradas (RIMOLDI *et al.*, 2018) e da truta-arco-íris (HUYBEN *et al.*, 2021; CAO *et al.*, 2022). *Firmicutes* é um grupo bacteriano importante na degradação de carboidratos indigestos, contribuindo para uma utilização mais eficiente de energia e melhor digestibilidade.

As avaliações feitas com *Oreochromis niloticus* demonstraram otimização na saúde e no desempenho zootécnico. Resultados semelhantes foram observados para *Oncorhynchus mykiss*, embora nem todos tenham sido significativos. Rimoldi *et al.* (2018) não observaram impactos significativos em *Sparus aurata* que receberam a suplementação acidificante, ao contrário de Hussein *et al.* (2023), que relataram melhora no desempenho, na atividade antioxidante e na ação antimicrobiana dessa espécie, enquanto Naya-Català *et al.* (2024) demonstraram que os ácidos orgânicos podem impactar *Sparus aurata* de forma dependente do genótipo. Para *Litopenaeus vannamei*/*Penaeus vannamei*, Romano *et al.* (2015), Jamis *et al.* (2018) e Pourmozaffar *et al.* (2019) relataram que a adição dos ácidos impactou positivamente os parâmetros de crescimento e a microbiota intestinal. De forma distinta Davies *et al.* (2020) e Busti *et al.* (2020) não indicaram melhora significativa no crescimento de *Dicentrarchus labrax*, mas observaram impacto positivo na morfologia intestinal.

Métodos como o microencapsulamento têm ganhado espaço na aquicultura pelos avanços na compreensão dos benefícios dessa técnica. O método é capaz de proteger os compostos ativos dos ácidos e retardar a liberação no trato gastrointestinal, evitando a absorção precoce (HUYBEN *et al.*, 2021; CAO *et al.*, 2022). Essa prática também age de

forma sustentável, diminuindo a carga de poluentes que alteram o ambiente aquático, devido à redução da lixiviação (JAMIS *et al.*, 2018). A utilização dos ácidos orgânicos como antimicrobianos substitutos de antibióticos também contribui para a mitigação de resíduos contaminantes desses compostos e aumenta a segurança quanto aos riscos de resistência bacteriana (OMOSOWONE *et al.*, 2015; KOH *et al.*, 2016; KATYA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2023).

Os resultados dessa revisão sistemática demonstram que as pesquisas raramente avaliam os efeitos individuais de ácidos orgânicos, como o ácido cítrico (Chen *et al.*, 2018), o ácido benzoico (LIBANORI *et al.*, 2021, 2023) e o ácido gálico (ZHAO *et al.*, 2024). Na maioria, são estudadas as combinações de ácidos orgânicos entre si ou com seus sais (KUMAR *et al.*, 2017), além de serem combinados com probióticos e óleos essenciais. Esses complexos são formulados com o objetivo de obter resultados mais sinérgicos. A interação entre ácidos orgânicos e óleos essenciais apresentou benefícios como melhora no desempenho de crescimento e na atividade imunológica (CAO *et al.*, 2022), além de redução de patógenos (HUYBEN *et al.*, 2021) e modulação positiva da microbiota intestinal (ADDAM *et al.*, 2019). Os efeitos da interação entre ácidos orgânicos e probióticos demonstraram maior resistência a desafios bacterianos e melhoria na resposta imune, com maior capacidade de eliminação de patógenos e proteção celular (YILMAZ *et al.*, 2019), promoção de melhorias nas bactérias intestinais e nas enzimas digestivas (ZARE *et al.*, 2021), o que resultou em melhor desempenho de crescimento (FARSANI *et al.*, 2024).

Os resultados obtidos indicam que a suplementação com ácidos orgânicos pode ter efeitos benéficos na performance de crescimento, saúde e sobrevivência em peixes. No entanto, as variações nos protocolos experimentais e a falta de padronização nas condições de teste limitam a capacidade de comparação e replicação dos estudos.

5. Consideração Final

A utilização de ácidos orgânicos como aditivos alimentares em organismos aquáticos tem se mostrado uma estratégia eficiente para a promoção do crescimento, modulação da microbiota intestinal, digestibilidade, resistência e saúde dos organismos cultivados. No entanto, os resultados demonstram dependência da dose, do tipo de ácido, da espécie, do genótipo e das condições ambientais. Apesar das evidências de eficácia, ainda são necessárias investigações mais aprofundadas sobre os efeitos a longo prazo da suplementação com ácidos orgânicos, especialmente em diferentes condições de manejo

e ambiente. A análise detalhada de seus efeitos, tanto individuais quanto em combinações, é fundamental para otimizar as aplicações na aquicultura. Estudos adicionais que avaliem diferentes estratégias de suplementação, adaptadas a espécies específicas, são essenciais para a compreensão dos mecanismos de ação e a definição das doses ideais para cada contexto produtivo.

Referências bibliográficas

1. ADDAM, K. G. S.; PEREIRA, S. A.; JESUS, G. F. A.; CARDOSO, L.; SYRACUSE, N.; LOPES, G. R.; MOURIÑO, J. L. P. Dietary organic acids blend alone or in combination with an essential oil on the survival, growth, gut/liver structure and de hemato-immunological in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture research*, v. 50, n. 10, p. 2960-2971, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.14250>> Acesso em 04 fev. 2025.
2. ARENAS-JAL, M.; SUÑÉ-NEGRE, J. M.; GARCÍA-MONTOYA, E. An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, v. 246, p. 1371-1382, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>> Acesso em 06 mai. 2025.
3. BAKRY, A. M.; ABBAS, S.; ALI, B.; MAJEED, H.; ABOUELWAF, M. Y.; MOUSA, A.; LIANG, L. Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 15, n. 1, p. 143-182, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>> Acesso em 06 mai. 2025.
4. BHUJEL, R. C.; PERERA, A. D.; TACCONI, A.; GONÇALVES, R. A. Effect of Biotronic® Top Liquid Supplementation on the Growth Performance and Disease Resistance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Studies*, v. 23, n. 1, 2022. Disponível em: <<https://www.aquast.org/abstract.php?id=549>> Acesso em 24 fev. 2025.
5. BOYD, C.E.; MCNEVIN, A.A.; DAVIS, R.P. A contribuição da pesca e da aquicultura para o fornecimento global de proteínas. *Segurança alimentar*, v. 14, n. 3, p. 805-827, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>> Acesso em 02 jan. 2025.
6. BUSTI, S.; ROSSI, B.; VOLPE, E.; CIULLI, S.; PIVA, A.; D'AMICO, F.; PARMA, L. Efeitos de ácidos orgânicos dietéticos e compostos idênticos à natureza no crescimento, parâmetros imunológicos e microbiota intestinal do robalo europeu. *Relatórios científicos*, v. 10, n. 1, p. 21321, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-78441-9>> Acesso em 09 fev. 2025.
7. CALDERÓN-OLIVER, M.; PONCE-ALQUICIRA, E. The role of microencapsulation in food application. *Molecules*, v. 27, n. 5, p. 1499, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/molecules27051499>> Acesso em 05 mai. 2025.
8. CAO, K.; WANG, Y.; LI, M.; ZHANG, C.; LAHAYE, L.; CHOWDHURY, M. K.; LENG, X. Supplementation of a Multienzyme Complex, an Organic Acid-Essential Oil Complex, and Prebiotic Alone or in Combination Affects Growth, Nutrient Utilization, and Immune Function of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*,

- v. 2022, n. 1, p. 1068537, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2022/1068537>> Acesso em 22 fev. 2025.
9. CHEN, L.; LI, X.; LOU, X.; SHU, W.; HAI, Y.; WEN, X.; YANG, H. NMR-based metabolomics reveals the antibacterial effect of electrolysed water combined with citric acid on *Aeromonas* spp. in barramundi (*Lates calcarifer*) fillets. *Food Research International* 2022, 162, 112046.
 10. CHEN, Z.; ZHAO, S.; LIU, Y.; YANG, P.; AI, Q.; ZHANG, W.; MAI, K. Dietary citric acid supplementation alleviates soybean meal-induced intestinal oxidative damage and micro-ecological imbalance in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture Research*, v. 49, n. 12, p. 3804-3816, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.13847>> Acesso em 27 jan. 2025.
 11. DAVIES, S. J.; GUROY, D.; HASSAAN, M. S.; EL-AJNAF, S. M.; EL-HAROON, E. Evaluation of co-fermented apple-pomace, molasses and formic acid generated sardine based fish silages as fishmeal substitutes in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) production. *Aquaculture*, v. 521, p. 735087, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735087>> Acesso em 06 fev. 2025.
 12. DELIEPHAN, A.; DHAKAL, J.; SUBRAMANYAM, B.; ALDRICH, C. G. Mitigação de *Salmonella* em superfícies de contato com alimentos usando misturas de ácidos orgânicos contendo ácido 2-hidroxi-4-(metiltio)butanoico (HMTBa). *Foods*, v. 12, n. 4, p. 874, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods12040874>> Acesso em 03 mar. 2025.
 13. DOSSOU, S.; DAWOOD, M. A.; ZAINELDIN, A. I.; ABOUELSAAD, I. A.; MZENGEREZA, K.; SHADRACK, R. S.; EL BASUINI, M. F. Dynamical hybrid system for optimizing and controlling efficacy of plant-based protein in aquafeeds. *Complexity*, v. 2021, n. 1, p. 9957723, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2021/9957723>> Acesso em 23 fev. 2025.
 14. EMA COMMITTEE FOR MEDICINAL PRODUCTS FOR VETERINARY USE (CVMP) AND EFSA PANEL ON BIOLOGICAL HAZARDS (BIOHAZ) et al. EMA and EFSA Joint Scientific Opinion on measures to reduce the need to use antimicrobial agents in animal husbandry in the European Union, and the resulting impacts on food safety (RONAFA). *EFSA Journal*, v. 15, n. 1, p. e04666, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4666>> Acesso 01 mar. 2025.
 15. EUR-LEX. Regulamento (CE) nº 429/2008 da Comissão, de 25 de abril de 2008, relativo às regras de execução do Regulamento (CE) nº 1831/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho no que se refere à preparação e apresentação de pedidos e à avaliação e autorização de aditivos destinados à alimentação animal. *Jornal Oficial da União Europeia* (JO L 133 de 22.05.2008, p. 1). Alterado por: [27 mar. 2021]. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/reg/2008/429/2021-03-27>>. Acesso em: 1 mar. 2025.
 16. FABAY, R.V.; SERRANO JR, A.E.; ALEJOS, M.S.; FABAY, J.V. Effects of dietary acidification and acid source on fish growth and feed efficiency. *World Academy of Sciences Journal*, v. 4, n. 3, p. 1-15, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3892/wasj.2022.156>> Acesso em 03 jan. 2025.
 17. FARSANI, M. N.; AHANI, S.; AHANI, S.; GHAFARIFARSANI, H. Interactive effects of dietary probiotic and succinic acid on the growth performance, digestive enzyme activities, immunomodulation, antioxidative capacity, and disease resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Annals of Animal Science*, v. 24, n. 4, p. 1237-1249, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0036>> Acesso em 28 fev. 2025.

18. FDA – U.S. Food and Drug Administration (2024). Code of Federal Regulations, Title 21, Part 573 – Food Additives Permitted in Feed and Drinking Water of Animals. Disponível em: <<https://www.govinfo.gov/app/collection/cfr/2024/title21/chapterI/subchapterE/part573/subpartB>> Acesso em 02 mar. 2025.
19. GULE, T. T.; GEREMEW, A. Dietary strategies for better utilization of aquafeeds in Tilapia farming. *Aquaculture Nutrition*, v. 2022, n. 1, p. 9463307, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2022/9463>> Acesso em 03 jan. 2025.
20. HEIR, E.; LILAND, K. H.; CARLEHÖG, M.; HOLCK, A. L. Reduction and inhibition of *Listeria monocytogenes* in cold-smoked salmon by Verdad N6, a buffered vinegar fermentate, and UV-C treatments. *International journal of food microbiology*, v. 291, p. 48-58, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.10.026>> Acesso em 03 mar. 2025.
21. HOSSAIN, M. S.; SMALL, B. C.; KUMAR, V.; HARDY, R. Utilization of functional feed additives to produce cost-effective, ecofriendly aquafeeds high in plant-based ingredients. *Reviews in Aquaculture*, v. 16, n. 1, p. 121-153, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/raq.12824>> Acesso em 02 jan. 2025.
22. HUANG, Z.; YE, Y.; XU, A.; LI, Z.; WANG, Z. Dietary supplementation with an acidifier blend (citric, lactic, and phosphoric acids) influences growth, digestive enzymes, and blood chemistry of juvenile Japanese sea-bass (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture international*, p. 1-14, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00703-8>> Acesso em 01 abr. 2025.
23. HUSSEIN, E. E.; HABIBA, M. M.; ASHRY, A. M.; AL-ZAYAT, A. M.; TEIBA, I. I.; SHEHATA, A. I.; EL BASUINI, M. F. Effects of dietary supplementation with organic acids mixture on growth, feed efficiency, hematobiochemical parameters, immunity, and intestinal microbiota of Gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture Reports*, v. 33, p. 101846, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101846>> Acesso em 23 fev. 2025.
24. HUYBEN, D.; CHIASSEON, M.; LUMSDEN, J. S.; PHAM, P. H.; CHOWDHURY, M. A. K. Dietary microencapsulated blend of organic acids and plant essential oils affects intestinal morphology and microbiome of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microorganisms*, v. 9, n. 10, p. 2063, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/microorganisms9102063>> Acesso em 22 fev. 2025.
25. JAMIS, J.O.; TUMBOKON, B.L.M.; CAIGOY, J.C.C.; BUNDA, M.G.B.; SERRANO, A.J. Efeitos de vinagres e acetato de sódio no desempenho de crescimento do camarão branco do Pacífico, *Penaeus vannamei*. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, v. 70, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.46989/001c.20929>> Acesso em 25 de jan. 2025.
26. KOH, C. B.; ROMANO, N.; ZAHRAH, A. S.; NG, W. K. Effects of a dietary organic acids blend and oxytetracycline on the growth, nutrient utilization and total cultivable gut microbiota of the red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., and resistance to *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture Research*, v. 47, n. 2, p. 357-369, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.12492>> Acesso em 18 jan. 2025.
27. KUMAR, P.; JAIN, K. K.; SARDAR, P.; SAHU, N. P.; GUPTA, S. Dietary supplementation of acidifier: effect on growth performance and haemato-biochemical parameters in the diet of *Cirrhinus mrigala* juvenile. *Aquaculture international*, v. 25, p. 2101-2116, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-017-0176-4>> Acesso em 25 jan. 2025.
28. LIBANORI, M. C. M.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S. A.; LOPES, G. R.; OWATARI, M. S.; SOLIGO, T. A.; MOURIÑO, J. L. P. Dietary supplementation with benzoic organic acid improves the growth performance and survival of Nile tilapia (*Oreochromis*

- niloticus*) after challenge with *Streptococcus agalactiae* (Group B). *Aquaculture*, v. 545, p. 737204, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737204>> Acesso em 11 fev. 2025.
29. LIBANORI, M. C. M.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S. A.; FERRAREZI, J. V. S.; FERREIRA, M. B.; CARDOSO, L.; MOURIÑO, J. L. P. Organic benzoic acid modulates health and gut microbiota of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, v. 570, p. 739409, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739409>> Acesso em 25 fev. 2025.
 30. MATANI BOUR, H.A.; ESMAEILI, N.; ABEDIAN KENARI, A. Desempenho de crescimento, composição muscular e hepática, características sanguíneas, digestibilidade e bactérias intestinais de juvenis de beluga (*Huso huso*) alimentados com diferentes níveis de farelo de soja e ácido láctico. *Aquaculture nutrition*, v. 24, n. 4, p. 1361-1368, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/anu.12673>> Acesso em 27 jan. 2025.
 31. MENANTEAU-LEDOUBLE, S.; KRAUSS, I.; GONCALVES, R. A.; WEBER, B.; SANTOS, G. A.; EL-MATBOULI, M. Simon et al. Antimicrobial effect of the Biotronic® Top3 supplement and efficacy in protecting rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from infection by *Aeromonas salmonicida subsp. salmonicida*. *Research in Veterinary Science*, v. 114, p. 95-100, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.03.010>> Acesso em 25 jan. 2025.
 32. MIRGHAED, A. T.; MIRZARGAR, S. S.; GHELICHPOUR, M.; MOGHADDAM, A. A.; EL-HAROUN, E.; HOSEINI, S. M. Effects of dietary lactic acid supplementation on growth performance, hemato-immunological parameters, and calcium and phosphorus status of common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture Reports*, v. 29, p. 101499, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101499>> Acesso em 23 fev. 2025.
 33. MOHTASHEMIPOUR, H.; MOHAMMADIAN, T.; MESBAH, M.; REZAIE, A.; TABANDEH, M.; MOZANZADEH, M.T. Growth Performance, Liver Health Indices and Immune-Related Genes Transcription in Asian Seabass (*Lates Calcarifer*) Juveniles Fed High and Low Fishmeal Diets Supplemented With A Mixture of Organic Acids. *Annals of Animal Science*, v. 24, n. 3, p. 867-880, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0015>> Acesso em 26 fev. 2025.
 34. NAYA-CATALÀ, F.; TORRECILLAS, S.; PIAZZON, M. C.; SARIH, S.; CALDUCHGINER, J.; FONTANILLAS, R.; MONTERO, D. Can the genetic background modulate the effects of feed additives? Answers from gut microbiome and transcriptome interactions in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed with a mix of phytogenics, organic acids or probiotics. *Aquaculture*, v. 586, p. 740770, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740770>> Acesso em 27 fev. 2025.
 35. NEVES, S. C.; SILVA, S. M.; COSTA, G. K.; CORREIA, E. S.; SANTOS, A. L.; SILVA, L. C.; BICUDO, Á. J. Dietary supplementation with fumaric acid improves growth performance in nile tilapia juveniles. *Animals*, v. 12, n. 1, p. 8, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ani12010008>> Acesso em 03 jan. 2025.
 36. NG, W. K.; LIM, C. L.; ROMANO, N.; KUA, B. C. Dietary short-chain organic acids enhanced resistance to bacterial infection and hepatopancreatic structural integrity of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Int Aquat Res* 9, 293–302 (2017). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40071-017-0177-y>> Acesso em 29 mar. 2025.
 37. NG, W. K.; KOH, C. B. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, v. 9, n. 4, p. 342-368, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/raq.12141>> Acesso em 01 abr. 2025.
 38. NG, W. K.; KOH, C. B.; SUDESH, K.; SITI-ZAHRAH, A. Effects of dietary organic acids on growth, nutrient digestibility and gut microflora of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.*, and subsequent survival during a challenge test with *Streptococcus*

- agalactiae*. Aquaculture research, v. 40, n. 13, p. 1490-1500, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02249.x>> Acesso em 17 jan. 2025.
39. NG, W. K.; KOH, C. B.; TEOH, C. Y.; ROMANO, N. Farm-raised tiger shrimp, *Penaeus monodon*, fed commercial feeds with added organic acids showed enhanced nutrient utilization, immune response and resistance to *Vibrio harveyi* challenge. Aquaculture, v. 449, p. 69-77, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.006>> Acesso em 22 jan. 2025.
 40. OHTANI, M.; VILLUMSEN, K.R.; FORBERG, T.; LAURITSEN, A.H.; TINSLEY, J.; BOJESEN, A.M. Avaliação dos efeitos de suplementos alimentares na resistência contra infecção por *Yersinia ruckeri* em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) usando diferentes modelos de infecção. Aquaculture, v. 519, p. 734744, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734744>> Acesso em 05 fev. 2025.
 41. OMOSOWONE, O.; DADA, A.; ADEPARUSI, E. Effects of dietary supplementation of fumaric acid on growth performance of African catfish *Clarias gariepinus* and *Aeromonas sobria* challenge. Croatian Journal of Fisheries, v. 73, n. 1, p. 13-19, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.14798/73.1.782>> Acesso em 20 jan. 2025.
 42. PAGARKAR, A. U.; MITRA, A.; BASU, S. AN EVALUATION OF THE SUITABILITY OF CROAKER FISH (*Otolithus* sp.) WASTE PRODUCTS SILAGES IN FEED *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). Biosciences, Biotechnology Research Asia, v. 3, n.2, p. 297-306, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288140502_An_evaluation_of_the_suitability_of_croaker_fish_Otolithes_sp_waste_products_silages_in_feed_Macrobrachium_rosebergii_de_Man> Acesso em 16 jan. 2025.
 43. PALECKAITIS, M.; MIEŽELIENĖ, A.; ALENČIKIENĖ, G.; GRUŽAUSKAS, R.; BUCKIŪNIENĖ, V.; BANYŠ, A. Efeito da adição de manano oligossacarídeos e ácidos orgânicos na alimentação de carpa (*Cyprinus carpio* L.) características de cor da carne, propriedades tecnológicas e sensoriais. Veterinarija ir Zootechnika, v. 73, n. 95, 2016. Disponível em: <[311433315_Effect_of_addition_of_mannan_oligosaccharides_and_organic_acids_in_the_feed_on_carp_Cyprinus_Carpio_L_flesh_colour_characteristics_technological_and_sensory_properties](https://doi.org/10.311433315_Effect_of_addition_of_mannan_oligosaccharides_and_organic_acids_in_the_feed_on_carp_Cyprinus_Carpio_L_flesh_colour_characteristics_technological_and_sensory_properties)> Acesso em 04 mar. 2025.
 44. PELUSIO, N. F.; ROSSI, B.; PARMA, L.; VOLPE, E.; CIULLI, S.; PIVA, A.; GRILLI, E. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. Fish & shellfish immunology, v. 107, p. 324-335, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.10.021>> Acesso em fev. 2025.
 45. PIEROZAN, M.B.; ALVES, J.D.S.; HORN, L.D.; SANTOS, P.A.D.; SILVA, M.A.P.D.; EGEE, M.B.; MINAFRA, C.; CAPPATO, L.P.; COSTA, A.C. Inactivation of *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia Coli*, and *Staphylococcus Aureus* in Tilapia Fillets (*Oreochromis Niloticus*) with Lactic and Peracetic Acid through Fogging and Immersion. Foods 2024, 13, 1520. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods13101520>> Acesso em 03 mar. 2025.
 46. POURMOZAFFAR, S.; HAJIMORADLOO, A.; PAKNEJAD, H.; RAMESHI, H. Efeito da suplementação dietética com vinagre de maçã e ácido propiônico na química da hemolinfa, microbiota intestinal e estrutura histológica do hepatopâncreas em camarão branco, *Litopenaeus vannamei*. Fish & crustfish immunology, v. 86, p. 900-905, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.019>> Acesso em 30 jan. 2025.
 47. RATHNAYAKE, D.; MUN, H.S.; DILAWAR, M.A.; BAEK, K.S.; YANG, C.J. Impact of a paradigm shift in animal nutrition metabolic pathway: Dietary inclusion of organic acids

- on the production parameters, nutrient digestibility, and meat quality traits of swine and broilers. *Life*, v. 11, n. 6, p. 476, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/life11060476>> Acesso em 03 jan. 2025.
48. REDA, R. M.; MAHMOUD, R.; SELIM, K. M.; EL-ARABY, I. E. Effects of dietary acidifiers on growth, hematology, immune response and disease resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish & shellfish immunology*, v. 50, p. 255-262, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.01.040>> Acesso em 22 jan. 2025.
 49. PRANCKUTĖ, Raminta. Web of Science (WoS) and Scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, v. 9, n. 1, p. 12, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/publications9010012>> Acesso em 03 mar. 2025.
 50. REN, X.; QIN, Y.; ZHANG, Y.; XIE, J.; DIAO, X.; ALTAF, M. M. Regional distribution differences of antibiotics in tropical marine aquaculture area: Insights into antibiotic management and risk assessment. *Science of The Total Environment*, v. 954, p. 176391, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176391>> Acesso em 18 jan. 2025.
 51. RIMOLDI, S.; GLIOZHENI, E.; ASCIONE, C.; GINI, E.; TEROVA, G. Effect of a specific composition of short-and medium-chain fatty acid 1-Monoglycerides on growth performances and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *PeerJ*, v. 6, p. e5355, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.7717/peerj.5355>> Acesso em 26 jan. 2025.
 52. ROMANO, N.; KOH, C. B.; NG, W. K. Dietary microencapsulated organic acids blend enhances growth, phosphorus utilization, immune response, hepatopancreatic integrity and resistance against *Vibrio harveyi* in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 435, p. 228-236, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.037>> Acesso em 18 jan. 2025.
 53. SANTOS, R.R.; XAVIER, R.G.C.; OLIVEIRA, T.F.; LEITE, R.C.; FIGUEIREDO, H.C.P.; LEAL, C.A.G. Ocorrência, diversidade genética e controle de *Salmonella enterica* em peixes nativos brasileiros cultivados. *Aquicultura*, v. 501, p. 304-312, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.034>> Acesso em 04 fev. 2025.
 54. SIDIQ, M. J.; JAYARAJ, E. G.; RATHORE, S. S.; BHAT, R. A. H.; MAMUN, M. A. A.; KHANDAGALE, A. S. Ameliorative role of dietary acidifier potassium formate on growth metrics, blood chemistry, gut health and well-being indices of rohu, *Labeo rohita* fingerlings. *Fish Physiol Biochem* 49, 19–37 (2023). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10695-023-01171-y>> Acesso em 29 mar. 2025.
 55. SILVA, B. C.; JESUS, G. F. A.; MARTINS, M. L.; MOURIÑO, J. L. P. Ácidos Orgânicos: Uma nova ferramenta nutricional para a aquicultura. *Aquaculture Brasil*, p. 32-39, 2017. Disponível em: <https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Cedap/Trabalho-Periodico/71-Trab_periodico-aquicultura-sanidade-nutricao.pdf> Acesso em 03 mar. 2025.
 56. SILVA, V. G.; FAVERO, L. M.; MAINARDI, R. M.; FERRARI, N. A.; CHIDEROLI, R. T.; DI SANTIS, G. W.; PEREIRA, U. P. Effect of an organic acid blend in Nile tilapia growth performance, immunity, gut microbiota, and resistance to challenge against francisellosis. *Research in Veterinary Science*, v. 159, p. 214-224, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.04.019>> Acesso 23 fev. 2025.
 57. SOTOUDEH, E.; ESMAEILI, N. Effects of Biotronic® Top3, a feed additive containing organic acids, cinnamaldehyde and a permeabilizing complex on growth, digestive enzyme activities, immunity, antioxidant system and gene expression of barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture Reports*, v. 24, p. 101152, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101152>> Acesso em 18 fev 2025.

58. União Europeia. Regulamento (UE) N.º 231/2012 da Comissão, de 9 de março de 2012, que estabelece especificações para aditivos alimentares enumerados nos anexos II e III do Regulamento (CE) N.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia (JO L 83), 22.3.2012, pp. 1-284. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/reg/2012/231/2024-10-27>> Acesso em 01 mar. 2025.
59. U.S. Food and Drug Administration. (2024, September 5). 21 CFR § 573 - Food additives permitted in feed and drinking water of animals. Electronic Code of Federal Regulations. Disponível em: < <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-E/part-573>> Acesso em 01 mar. 2025.
60. VIJAYARAM, S.; SUN, Y. Z.; ZUORRO, A.; GHAFARIFARSANI, H.; VAN DOAN, H.; HOSEINIFAR, S. H. Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, v. 130, p. 294-308, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.09.011>> Acesso em 03 jan. 2025.
61. VILLUMSEN, K. R.; OHTANI, M.; FORBERG, T.; TINSLEY, J.; BOYE, M.; BOJESSEN, A. M. Citrus flavonoids, β -Glucan and organic acid feed additives decrease relative risk during *Yersinia ruckeri* O1 biotype 2 infection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *PeerJ*, v. 8, p. e8706, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.7717/peerj.8706>> Acesso 07 fev. 2025.
62. YANG, C.; SONG, G.; LIM, W. A review of the toxicity in fish exposed to antibiotics. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 237, p. 108840, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108840>> Acesso em 03 jan. 2025.
63. YILMAZ, S.; ERGUN, S.; YIGIT, M.; ÇELİK, E. Ş. Efeito da combinação de *Bacillus subtilis* dietético e ácido transcinâmico nas respostas imunes inatas e resistência da truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss*, à *Yersinia ruckeri*. *Aquaculture Research*, v. 51, n. 2, p. 441-454, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.14379>> Acesso em 28 jan. 2025.
64. ZHANG, L.; ZHANG, P.; XIA, C.; CHENG, Y.; GUO, X.; LI, Y. Effects of malic acid and citric acid on growth performance, antioxidant capacity, haematology and immune response of *Carassius auratus gibelio*. *Aquaculture Research*, v. 51, n. 7, p. 2766-2776, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.14616>> Acesso em 30 mar. 2025.
65. ZARE, R.; ABEDIAN KENARI, A.; YAZDANI SADATI, M. Influência do ácido acético dietético, protexina (probiótico) e sua combinação no desempenho do crescimento, microbiota intestinal, enzimas digestivas, parâmetros imunológicos e composição de ácidos graxos no esturjão siberiano (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). *Aquaculture International*, v. 29, n. 3, p. 891-910, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00652-2>> Acesso em fev. 2025.
66. ZHAO, X.; ZHANG, L.; WU, N.; LIU, Y.; XIE, J.; SU, L.; XIA, X.Q. Gallic acid acts as an anti-inflammatory agent via PPAR γ -mediated immunomodulation and antioxidation in fish gut-liver axis. *Aquaculture*, v. 578, p. 740142, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740142>> Acesso em 28 fev. 2025.

CAPÍTULO III – Práticas sustentáveis no ensino de química: ácidos orgânicos, produção animal e educação para o futuro

Resumo

Este capítulo aborda a inserção dos princípios da Química Verde no ensino de Química, com foco na sustentabilidade na produção animal, abordando conhecimentos de compostos orgânicos em busca da formação crítica de estudantes do Ensino Médio. A partir de uma abordagem interdisciplinar, foi desenvolvido um produto educacional que consistiu na aplicação de um questionário diagnóstico, seguido de uma palestra sobre o uso de ácidos orgânicos como suplementos alimentares sustentáveis na aquicultura, e posterior reaplicação do mesmo instrumento. A proposta visou promover a compreensão de conceitos da Química Orgânica em um contexto aplicado, despertando a capacidade de análise e o engajamento dos estudantes com temáticas atuais da ciência e da produção sustentável. Os resultados indicam que a contextualização dos conteúdos químicos por meio de temas relevantes, como o uso de ácidos orgânicos como alternativas aos antibióticos na produção animal, favorece a aprendizagem significativa, além de contribuir para uma educação científica mais ética, inclusiva e voltada para os desafios socioambientais da atualidade.

Palavras-chaves: ácidos orgânicos; educação; ensino; química verde; sustentabilidade.

Abstract

This chapter discusses the integration of Green Chemistry principles into Chemistry education, with an emphasis on sustainability in animal production and the knowledge application about organic compounds to foster critical thinking among high school students. Through an interdisciplinary approach, an educational intervention was developed consisting of a diagnostic questionnaire, a lecture about the use of organic acids as sustainable feed additives in aquaculture, and a subsequent reapplication of the same instrument. The initiative aimed to promote the understanding of Organic Chemistry concepts within an applied context, encouraging analytical thinking and student engagement with current topics in science and sustainable production. The results indicate that contextualizing chemical content through relevant themes—such as the use of organic acids as alternatives to antibiotics in animal production—fosters meaningful

learning and contributes to a more ethical, inclusive, and socially and environmentally responsive science education.

Keywords: education; green chemistry; organic acids; sustainability; teaching.

1. Introdução

Diante do rápido avanço tecnológico e do agravamento das questões ambientais, faz-se imperioso que as instituições escolares assumam papel mais ativo nas práticas educacionais voltadas ao desenvolvimento sustentável. Embora o conhecimento sobre a natureza e a preservação ambiental esteja estabelecido há décadas, as condições políticas, ambientais e demandas educacionais modificaram ao longo do tempo, exigindo novas abordagens e compromissos pedagógicos (SIVEVSKA *et al.*, 2025). A Química Verde propõe a conciliação entre avanço científico, tecnológico e social com minimização dos impactos ambientais, por intermédio de práticas que promovam a redução de resíduos e efluentes tóxicos, a substituição de solventes nocivos, o uso de matérias-primas biodegradáveis e a mitigação de emissão de gases poluentes (CARLOS & ECHEVARRIA, 2024).

Para Aubrecht *et al.* (2019) o ensino de Química deve incorporar os princípios da Química Verde, promovendo uma abordagem baseada no pensamento sistêmico e na análise do ciclo de vida dos produtos químicos. Essa perspectiva permite aos estudantes compreenderem os impactos ambientais e sociais das substâncias químicas e desenvolverem soluções mais seguras e sustentáveis. A inserção da Química Verde no currículo, especialmente nos cursos de Química Geral e Orgânica, contribui para a formação de profissionais capacitados a enfrentar os desafios contemporâneos da sustentabilidade.

Embora os autores citados acima refiram-se ao ensino superior, os princípios discutidos são relevantes ao ensino médio. A adoção desses elementos na educação básica favorece o desenvolvimento de competências sustentáveis desde os primeiros contatos dos estudantes com a ciência, e já é contemplada no documento de Bimestralização da Formação Geral Básica – Documento Curricular para Goiás – Etapa Ensino Médio (GOIÁS, 2021), que orienta a organização dos conteúdos escolares em conformidade com a BNCC, distribuindo-os ao longo dos bimestres letivos. No componente curricular de Química, especialmente na terceira série, são propostos conteúdos relacionados à

Química Orgânica, impactos ambientais, sustentabilidade e análise crítica dos processos produtivos. Tais abordagens estão alinhadas aos princípios da Química Verde, promovendo, portanto, uma educação científica voltada para o desenvolvimento de práticas sustentáveis, em sintonia com os desafios contemporâneos da produção animal e da conservação ambiental.

Essa abordagem está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, os quais estabelecem metas para garantir que todos os estudantes desenvolvam conhecimentos e competências voltados à promoção do desenvolvimento sustentável e de estilos de vida responsáveis (ODS 4). Contemplam ainda a aprendizagem sobre a gestão ambientalmente adequada de produtos químicos ao longo de seu ciclo de vida (ODS 12), a redução da poluição marinha e a preservação dos ecossistemas aquáticos (ODS 14), bem como o incentivo à pesquisa científica e à inovação tecnológica sustentável (ODS 9). O uso de ácidos orgânicos como substitutos aos antibióticos na aquicultura (SILVA *et al.*, 2023) é um exemplo de como conhecimentos químicos podem ser aplicados de forma ética e sustentável no setor produtivo, estimulando o pensamento crítico e o protagonismo dos estudantes. Além disso, a abordagem contextualizada favorece a compreensão de conceitos estruturais da química, como funcionalidade, polaridade e reatividade, dentro de uma lógica de aplicação socialmente relevante.

Fundamentada nesses preceitos, foi desenvolvida uma proposta pedagógica no ambiente escolar que integrou os conteúdos da Química Orgânica à temática da sustentabilidade na produção animal. A proposta didático-metodológica apresentada apoia-se no fundamento de que o ensino de Química deve ir além da abordagem puramente técnica, estabelecendo um diálogo com os desafios contemporâneos, como a produção de alimentos de origem animal livres de contaminantes. Essa abordagem busca promover uma educação transformadora, crítica e socialmente responsável e objetiva conscientizar os estudantes sobre o papel da ciência na resolução dos problemas ambientais e na implementação de práticas sustentáveis na produção animal.

A pesquisa aplicada envolveu estudantes do Ensino Médio e consistiu na aplicação de um questionário diagnóstico sobre sustentabilidade, ácidos orgânicos e produção animal, seguido por uma palestra sobre o uso de ácidos orgânicos como suplementos alimentares sustentáveis na aquicultura. Ao final, o mesmo questionário foi reaplicado, permitindo avaliar a evolução do conhecimento e o impacto da intervenção

pedagógica. Tal experiência configurou como um produto educacional que evidencia a viabilidade e a relevância de integrar temas científicos contemporâneos ao currículo escolar de forma contextualizada e crítica.

2. Metodologia

O estudo foi conduzido na unidade escolar estadual Colégio Estadual Miltes Furquim de Oliveira, localizada na cidade de Rio Verde (GO), no período matutino, durante os primeiros horários do dia 16 de abril de 2025. A instituição conta com quatro turmas da terceira série do Ensino Médio e, nesta data, em razão da dinâmica das aulas eletivas, os alunos estavam organizados de forma mesclada. Participaram da aplicação do questionário estudantes das eletivas de Biotecnologia e Poética das Artes, contemplando discentes provenientes das quatro turmas, totalizando 32 participantes.

O planejamento do estudo foi organizado em três etapas distintas: I. Aplicação do primeiro questionário (Q1), impresso, composto por 11 questões objetivas abordando conteúdos de Química Orgânica, Química Verde e sustentabilidade na produção animal. Os participantes foram orientados a responder apenas as dez primeiras questões de forma anônima. II. Realização de uma palestra com duração de 30 minutos, utilizando recursos lúdicos para a apresentação dos ácidos orgânicos de cadeia curta e média, bem como projeção de imagens contendo os resultados da pesquisa desenvolvida ao longo dos dois anos de mestrado, com ênfase no uso desses compostos como alternativas sustentáveis aos antibióticos na aquicultura. III. Reaplicação do questionário diagnóstico (Q2), com as mesmas 11 questões, sendo solicitado aos estudantes que respondessem, de forma anônima, todas as perguntas, possibilitando a comparação dos resultados antes e após a intervenção.

O questionário diagnóstico inicial foi recolhido antes do início da palestra, com o objetivo de garantir que as respostas não fossem influenciadas pelas informações apresentadas durante a exposição. Na sequência, a palestra foi conduzida pela professora regente da disciplina de Química das turmas participantes, com o acompanhamento da coordenação pedagógica da escola. A apresentação abordou a utilização de ácidos orgânicos como suplementos alimentares sustentáveis na aquicultura. Ao término da atividade, foi entregue uma nova impressão do questionário, com as mesmas 11 questões. Desta vez, os estudantes foram orientados a responder também a última pergunta.

Foi realizado a tabulação dos dados, coletando as respostas dos 32 participantes para cada uma das questões, permitindo, assim, a análise comparativa e a avaliação da evolução do conhecimento e do impacto da intervenção pedagógica.

3. Resultados

3.1 Desempenho Inicial dos Estudantes – Aplicação do Questionário (Q1)

As dez questões respondidas pelos estudantes antes da palestra, de forma anônima, foram analisadas, e os resultados foram organizados e apresentados na Tabela 1. Essa tabela apresenta os enunciados das questões juntamente com a porcentagem de respostas atribuídas a cada alternativa. Ressalta-se que um estudante deixou a questão 2 em branco e outro não respondeu à questão 8.

Questões	Perguntas	Alternativas	Resultado (%)
1	Você já ouviu falar nos 12 princípios da Química Verde?	Sim	12,5
		Não	87,5
2		Verdadeiro	90,62

	A produção sustentável busca reduzir impactos ambientais na produção de alimentos	Falso	6,25
3	O uso de antibióticos em animais de forma indiscriminada pode gerar resistência bacteriana em humanos.	Verdadeiro	50
		Falso	50
4	Você sabe o que é um ácido orgânico?	Sim	50
		Não	50
5	Caso você já tenha ouvido falar de ácidos orgânicos, saberia quais são as propriedades desses compostos?	Sim	15,63
		Não	84,37
6	Os ácidos orgânicos podem ser utilizados como aditivos alternativos aos antibióticos na alimentação animal.	Verdadeiro	6,25
		Falso	12,5
		Nunca pensei sobre isso	81,25
7	Você acredita que o uso de substâncias naturais na nutrição animal pode reduzir impactos ambientais?	Verdadeiro	71,87
		Falso	12,5
		Nunca pensei sobre isso	15,63
8	A Química Verde propõe o uso de substâncias químicas seguras, renováveis e com menor impacto ambiental.	Verdadeiro	68,75
		Falso	28,12
9	Você considera importante discutir sustentabilidade na produção de alimentos em sala de aula?	Sim	87,5
		Não	12,5
10	Você acredita que a Química pode ajudar a resolver problemas ambientais e de saúde pública?	Sim	93,75
		Não	6,25
11	Responder somente após a palestra: você se sente mais consciente sobre o papel da Química na produção animal?	Sim	0
		Não	0

Tabela 1: Resultado em (%) das alternativas escolhidas pelos estudantes antes da palestra sobre sustentabilidade na produção animal.

3.2 Aplicação da Palestra Educacional: Contextualizando o Ensino de Química na Produção Animal

Durante a palestra, observou-se alto nível de engajamento por parte da maioria dos estudantes, que participaram ativamente, respondendo e comentando sobre os conteúdos apresentados. A abordagem iniciou com conceitos básicos sobre aquicultura, e muitos estudantes expressaram não ter familiaridade com a prática dessa atividade. Em seguida, foi apresentada a justificativa do estudo, o que despertou o interesse dos alunos, especialmente ao abordar a questão da resistência bacteriana e o surgimento das superbactérias devido ao uso indiscriminado de antibióticos. Foram também introduzidas moléculas de ácidos orgânicos, utilizando kits de modelagem atômica, o que integrou

teoria e prática e facilitou a compreensão de como identificar esses compostos. Os estudantes demonstraram não conhecer o potencial antimicrobiano dos ácidos orgânicos, nem estavam cientes de que estes compostos são frequentemente utilizados como aditivos alimentares e conservantes. Com o acompanhamento e autorização da coordenação pedagógica, foram feitos alguns registros fotográficos e são demonstrados abaixo.



Figura 1: Momento da palestra em que foi dado início à discussão sobre importância da pesquisa para o ensino de química (A), trazendo para os alunos os 12 princípios da Química Verde (B, C, D), seguido da apresentação dos ácidos orgânicos de cadeia curta e média (E e F).

3.3 Desempenho Final dos Estudantes: Reaplicação do Questionário (Q2)

O mesmo questionário foi aplicado após a palestra e as respostas assinaladas pelos alunos, de forma anônima, são apresentadas na Tabela 2. Três alunos deixaram de responder à questão 3 e um aluno não respondeu à questão 11.

Questões	Perguntas	Alternativas	Resultado (%)
1	Você já ouviu falar nos 12 princípios da Química Verde?	Sim Não	87,5 12,5
2	A produção sustentável busca reduzir impactos ambientais na produção de alimentos	Verdadeiro Falso	96,88 3,12
3	O uso de antibióticos em animais de forma indiscriminada pode gerar resistência bacteriana em humanos.	Verdadeiro Falso	68,75 21,87
4	Você sabe o que é um ácido orgânico?	Sim Não	96,87 3,13
5	Caso você já tenha ouvido falar de ácidos orgânicos, saberia quais são as propriedades desses compostos?	Sim Não	78,12 21,88
6	Os ácidos orgânicos podem ser utilizados como aditivos alternativos aos antibióticos na alimentação animal.	Verdadeiro Falso Nunca pensei sobre isso	75 9,37 15,63
7	Você acredita que o uso de substâncias naturais na nutrição animal pode reduzir impactos ambientais?	Verdadeiro Falso Nunca pensei sobre isso	93,75 0 6,25
8	A Química Verde propõe o uso de substâncias químicas seguras, renováveis e com menor impacto ambiental.	Verdadeiro Falso	90,62 9,38
9	Você considera importante discutir sustentabilidade na produção de alimentos em sala de aula?	Sim Não	93,75 6,25
10	Você acredita que a Química pode ajudar a resolver problemas ambientais e de saúde pública?	Sim Não	100 0
11	Responder somente após a palestra: você se sente mais consciente sobre o papel da Química na produção animal?	Sim Não	93,75 3,12

Tabela 2: Resultado em (%) das alternativas escolhidas pelos estudantes após a palestra sobre sustentabilidade na produção animal.

4. Discussão

A comparação entre os resultados obtidos nos dois momentos de aplicação do questionário (antes e depois da palestra) evidencia mudanças no conhecimento dos estudantes. Observando as respostas da questão 1, em que é perguntado aos alunos sobre se já ouviram falar nos 12 princípios da Química Verde, as marcações entre sim e não se inverteram. Embora o esperado fosse que todos os alunos pudessem ao final falar que já haviam ouvido falar, sendo este um dos assuntos abordados na palestra, 12,5% dos alunos ainda afirmam nunca terem ouvido falar. A não obtenção de 100% das repostas afirmando conhecer os princípios da Química Verde pode ser atribuída, em parte, à priorização dos estudantes, da aprovação escolar e em vestibulares, em detrimento da compreensão crítica e contextualizada dos conteúdos, como em relatado por Sousa & Ibiapina (2021). Os autores destacam ainda a importância de esclarecer aos estudantes que a química é, uma disciplina fundamental na formação cidadã e cabe aos docentes buscarem temas relevantes, de respaldo nacional, como o aquecimento global, mudanças climáticas, poluição do ar, rios e mares, invenção de novas tecnologias oriundas de novos materiais. A metodologia utilizada na palestra vai de encontro a estes critérios, uma vez que abordou o uso de ácidos orgânicos como uma nova tecnologia sustentável em substituição aos antibióticos, entretanto, isso não foi suficiente para alcançar a todos os alunos participantes que responderam ao questionário.

A questão número 2, que investigava o conhecimento prévio dos estudantes sobre sustentabilidade na produção animal, já apresentou inicialmente elevado índice de respostas positivas (90,62%). Após a intervenção pedagógica, verificou-se um crescimento nesse percentual, alcançando 96,88%, e indica um fortalecimento da compreensão dos alunos acerca do tema. Sobre essa temática, Fellipetto *et al.* (2021), ao refletir sobre as práticas pedagógicas voltadas para a Educação Ambiental, afirma que não basta adotar atividades pontuais ou baseadas em livros didáticos que, muitas vezes, se mostram desconectadas da realidade socioambiental dos estudantes. Em vez disso, é fundamental que as ações pedagógicas sejam fundamentadas em uma base teórica sólida, com uma metodologia estruturada que considere as questões locais e culturais, de modo a promover uma compreensão mais profunda da relação entre homem e natureza.

De maneira semelhante, a questão número 3 apresentou maior assertividade após a intervenção pedagógica. Essa questão abordava a relação entre o uso indiscriminado de antibióticos e o desenvolvimento da resistência microbiana. No primeiro momento (Q1),

as respostas estavam igualmente divididas: 50% dos estudantes responderam afirmativamente e 50% negativamente. Após a palestra, observou-se aumento nas respostas corretas (68,75%), enquanto as respostas incorretas caíram para 21,87%. Três estudantes deixaram de responder essa questão no segundo momento. A questão 3 revela-se de grande relevância, pois aborda um dos principais desafios da saúde pública: a resistência microbiana decorrente do uso indiscriminado de antibióticos. No Brasil, a Resolução RDC nº 20/2011 da Anvisa regulamenta a venda desses medicamentos, exigindo prescrição médica como forma de controle. Essa legislação visa coibir práticas que favorecem a seleção de cepas resistentes, as quais comprometem tratamentos futuros. Nesse contexto, discutir esse tema em sala de aula permite não apenas a compreensão de conceitos químicos e biológicos, mas também o desenvolvimento da consciência crítica dos estudantes sobre o uso racional de medicamentos. Conforme apontado pelos autores Finger & Bedin (2019), a contextualização no ensino de Química é essencial para aproximar os alunos da ciência, instigando reflexões sobre temas do cotidiano e fortalecendo a formação docente comprometida com uma aprendizagem significativa.

Os resultados das questões 4 e 5 revelam evolução significativa no conhecimento dos participantes sobre ácidos orgânicos após a palestra. Antes da intervenção, metade dos participantes (50%) sabia o que era um ácido orgânico, e apenas 15,63% estavam familiarizados com as propriedades, o que indicava um conhecimento limitado sobre o tema. No entanto, após a palestra, houve aumento expressivo: 96,87% dos participantes passaram a afirmar saber o que é um ácido orgânico, enquanto o conhecimento sobre as propriedades desses compostos também subiu consideravelmente, com 78,12% dos participantes demonstrando agora entendimento sobre as características dos ácidos orgânicos. A diferença de 46,87% nas respostas positivas da primeira questão e de 62,49% na segunda destaca o impacto efetivo da palestra na compreensão dos conceitos abordados, evidenciando que os participantes não só aprenderam sobre a definição de ácidos orgânicos, mas também se aprofundaram em suas propriedades. Embora esses resultados demonstrem que a palestra foi eficaz, ainda não foi possível alcançar o conhecimento de 100% dos alunos. Isso traz à reflexão a conclusão de Batista & Wenzel (2020), de que o ensino de química pode ser limitado diante das dificuldades dos alunos em transitar entre níveis macro e submicroscópico dessa ciência, afirmando que é necessário atenção às diferentes linguagens e compreensões necessárias ao ensinar

química, pois sem compreender tais níveis o aluno também não é motivado ao estudo e aprendizado.

Na questão 6, antes da palestra, a maioria dos participantes (81,25%) nunca havia pensado sobre o uso de ácidos orgânicos como aditivos alternativos aos antibióticos, com apenas 6,25% afirmando que isso era verdadeiro. Após a palestra, essa percepção foi impactada de forma positiva, com 75% dos participantes agora reconhecendo os ácidos orgânicos como alternativa viável aos antibióticos, e apenas 9,37% negando essa possibilidade. A diferença de 68,75% nas respostas positivas reflete aumento considerável na conscientização e no entendimento do papel potencial dos ácidos orgânicos na alimentação animal. Na questão 7, que abordava o impacto ambiental das substâncias naturais na nutrição animal, antes da palestra, 71,87% dos participantes acreditavam que essas substâncias poderiam reduzir os impactos ambientais, enquanto 15,63% nunca haviam pensado sobre isso. Após a palestra, o apoio à ideia de que substâncias naturais podem reduzir impactos ambientais aumentou significativamente, com 93,75% dos participantes concordando com essa afirmação e nenhum discordando. A mudança de 22,88% nas respostas positivas revela forte alinhamento dos participantes com a ideia de que a utilização de substâncias naturais tem potencial para mitigar danos ambientais.

Os dados obtidos na questão 8 evidenciam um avanço significativo na compreensão dos participantes sobre os princípios fundamentais da Química Verde. Antes da palestra, 68,75% reconheceram como verdadeira a afirmação de que a Química Verde propõe o uso de substâncias químicas seguras, renováveis e com menor impacto ambiental, enquanto 28,12% ainda acreditavam que a afirmação era falsa, o que revela certo desconhecimento ou confusão conceitual sobre o tema. Após a palestra, esse índice de acerto subiu para 90,62%, com apenas 9,38% discordando da proposição, o que representa a melhora de 21,87% no reconhecimento da definição correta. Esse resultado demonstra que, quando bem instruídos, os estudantes conseguem compreender a importância de práticas sustentáveis e se posicionar de forma crítica frente a questões ambientais. Tal constatação dialoga com a perspectiva de que é importante que os alunos desenvolvam habilidades para comunicar e dialogar com não especialistas, contribuindo para o fortalecimento do apoio social às prioridades da Química Verde. Para que a Química Verde seja um componente da prática social, é necessário construir uma

comunidade bem-informada, composta por profissionais, professores, alunos e o público (ARMSTRONG *et al.*, 2018).

Os resultados das questões 9 e 10 demonstram que, mesmo antes da palestra, os participantes já apresentavam predisposição favorável à discussão de sustentabilidade e ao reconhecimento do papel da Química na resolução de problemas ambientais e de saúde pública. Na questão 9, 87,5% consideravam importante abordar a sustentabilidade na produção de alimentos em sala de aula, índice que aumentou para 93,75% após a intervenção, evidenciando valorização ainda maior do tema no contexto educacional. Já na questão 10, o reconhecimento da Química como ferramenta para enfrentar desafios socioambientais e sanitários passou de 93,75% para 100%, mostrando que a palestra consolidou essa percepção entre os participantes. Esses resultados indicam que, embora já houvesse um entendimento inicial sobre a relevância dos temas, a abordagem proposta na palestra foi capaz de fortalecer a consciência crítica dos alunos, ampliando o entendimento de que a Química, quando orientada por princípios sustentáveis, tem papel fundamental na construção de soluções para problemas reais e contemporâneos.

A resposta à questão 11, aplicada exclusivamente após a palestra, revela que 93,75% dos participantes sentiram-se mais conscientes sobre o papel da Química na produção animal, enquanto apenas 3,12% declararam não perceber essa mudança. De modo geral, os percentuais de acertos aumentaram, especialmente nas questões relacionadas aos princípios da Química Verde e à utilização de ácidos orgânicos como alternativas sustentáveis na produção animal. Essa evolução aponta para a eficácia da intervenção pedagógica em promover maior compreensão conceitual sobre os temas abordados. Isso evidencia como o percurso formativo vivenciado ao longo do mestrado contribuiu significativamente para o aprofundamento do conhecimento, ampliando a bagagem teórica e prática. Esse processo é capaz de preparar discentes para mediar discussões complexas em sala de aula, integrando os saberes da Química à realidade dos alunos e às demandas contemporâneas por meio de uma educação científica crítica e contextualizada.

5. Conclusão

Embora os resultados das questões analisadas demonstrem aumento no conhecimento dos participantes sobre ácidos orgânicos, princípios da Química Verde e produção animal sustentável, não foi possível impactar 100% dos estudantes, o que foi

observado nas respostas coletadas. Esses resultados não absolutos podem ser atribuídos a fatores como diversidade de conhecimentos prévios dos participantes ou ainda à complexidade dos temas abordados e a diferenciação no nível de compreensão de cada participante. Sabe-se que nem todos possuem a mesma base conceitual sobre os temas e, apesar do avanço positivo, é evidente que há um longo processo investigativo em busca de refinamento nas estratégias de ensino e diferenciação nas abordagens pedagógicas, com a intenção de mobilizar o intelecto dos alunos, estruturar seu pensamento em torno da temática e consolidar o ensino da sustentabilidade como eixo central da aprendizagem.

Referências bibliográficas

ARMSTRONG, L. B.; RIVAS, M. C.; DOUSKEY, M. C.; BARANGER, A. M. Teaching students the complexity of green chemistry and assessing growth in attitudes and understanding. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 13, p. 61-67, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.003>> Acesso em 03 mai. 2025.

BATISTA, L. S.; WENZEL, J. S. O que dizem as pesquisas acerca da motivação para o ensino de química?. *Vivências*, v. 17, n. 32, p. 57-67, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.31512/vivencias.v17i32.137>> Acesso em 03 mai. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 20, de 5 de maio de 2011. Dispõe sobre o controle de medicamentos à base de substâncias classificadas como antimicrobianos de uso sob prescrição. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 86, p. 37, 6 Maio 2011. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/rdc0020_05_05_2011.html> Acesso em: 2 maio 2025.

CARLOS, M. F. L. P.; ECHEVARRIA, A. As chalconas no ensino da química orgânica experimental no contexto da química verde. *Química Nova*, v. 47, n. 5, p. e-20240007, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20240007>> Acesso em 01 mai. 2025.

FELLIPETTO, I. F.; MALDANER, O. A.; ARAÚJO, M. C. P. Estado do conhecimento sobre sustentabilidade, educação ambiental e agrícola no ensino de Química no Ensino Médio. *Revista Insignare Scientia*, v. 4, n. 6, p. 127-144, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.36661/2595-4520.2021v4i6.11801>> Acesso em 03 mai. 2025.

FINGER, I.; BEDIN, E. A contextualização e seus impactos nos processos de ensino e aprendizagem da ciência química. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 2, n. 1, p. 8-24, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5335/rbecm.v2i1.9732>> Acesso em 03 mai. 2025.

GOIÁS. Secretaria de Estado da Educação. Bimestralização da Formação Geral Básica – Documento Curricular para Goiás – Etapa Ensino Médio. Goiânia: SEDUC-GO, 2021.

Disponível em: <<https://goias.gov.br/educacao/wp-content/uploads/sites/40/files/documentos/PEDAGOGICO/Bimestralizacao%20Formacao%20Geral%20Basica%20DC%20GOEM.pdf>> Acesso em 01 mai. 2025.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Tradução de Ana Maria Andrada. Brasília, DF: Ipea, 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>> Acesso em: 1 maio 2025.

SILVA, V. G.; FAVERO, L. M.; MAINARDI, R. M.; FERRARI, N. A.; CHIDEROLI, R. T.; DI SANTIS, G. W.; PEREIRA, U. P. Effect of an organic acid blend in Nile tilapia growth performance, immunity, gut microbiota, and resistance to challenge against francisellosis. *Research in Veterinary Science*, v. 159, p. 214-224, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.04.019>> Acesso 01 mai. 2025.

SIVEVSKA, D.; VESELINOVSKA, S. S.; PETROVSKA, S. From environmental education to sustainable development-a new global paradigm. In: *INTED2025 Proceedings*. IATED, 2025. p. 1611-1618. Disponível em: <<https://library.iated.org/view/SIVEVSKA2025FRO>> Acesso em 01 mai. 2025.

SOUSA, J. A.; IBIAPINA, B. R. S. A química e o cotidiano: concepções sobre o ensino de química nas salas de aula. *Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, v. 13, n. 2, jul-dez, p. 209-227, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/9112>> Acesso em 03 mai. 2025.

CONCLUSÃO GERAL

Com base nos resultados apresentados na presente dissertação, foi observado aumento progressivo no número de publicações sobre a utilização de ácidos orgânicos na aquicultura, como demonstrado na análise bibliométrica, evidenciando o interesse crescente da comunidade científica na busca por alternativas sustentáveis que sejam eficientes na higienização de utensílios utilizados na produção aquícola, bem como a segurança alimentar dos produtos provenientes do cultivo, livres de contaminantes indesejáveis, que tenham ainda impacto positivo na saúde, resistência e desempenho zootécnico de organismos aquáticos.

A revisão sistemática corrobora com essa conceituação, mas com um estudo focalizado na incorporação dos ácidos orgânicos como aditivos alimentares de espécies aquáticas. Esses compostos apresentam efeitos promissores no desempenho zootécnico, na modulação da microbiota intestinal, na otimização da saúde e na resistência a patógenos, destacando-se como aditivos funcionais com potencial para melhorar a eficiência produtiva na aquicultura

No entanto, a variabilidade metodológica entre os estudos e a falta de padronização nos protocolos experimentais, dificultam a replicabilidade do trabalho e a comparação dos resultados, impossibilitando a mensuração dos efeitos, a definição de concentrações ideais e os efeitos a longo prazo na fisiologia dos animais suplementados. Outro fator observado é a pontualidade que os artigos abordam a viabilidade econômica e ambiental no uso de ácidos orgânicos.

Além das aplicações na aquicultura, os conceitos abordados neste estudo podem ser inseridos no ensino da Química no Ensino Médio, promovendo a conscientização sobre alternativas sustentáveis no setor produtivo. A abordagem dos ácidos orgânicos, como agentes antimicrobianos e aditivos funcionais, permite que os estudantes compreendam a relação entre química, meio ambiente e produção de alimentos, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da segurança alimentar. Essa integração pode favorecer um ensino mais contextualizado e alinhado às demandas atuais da ciência e da sociedade.

Em síntese, os resultados deste estudo reforçam a importância dos ácidos orgânicos como aditivos alimentares na aquicultura, para variados fins e tratamentos. Contudo, também evidenciam a necessidade de estudos mais robustos para consolidar seu uso comercial. A continuidade das investigações sobre esses compostos contribuirá para melhor entendimento da eficácia e segurança, auxiliando no desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis, favorecendo a redução de impactos ambientais e maior qualidade dos produtos aquícolas.