

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 24/11/2026.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Katia Lirian Rocha Souza

Zootecnista

**EFEITO DO β -glucano NO SISTEMA IMUNE E
ANTIOXIDANTE EM TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis
niloticus*) EXPOSTAS AO GLIFOSATO**

Dracena

2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Katia Lirian Rocha Souza

Zootecnista

**EFEITO DO β -glucano NO SISTEMA IMUNE E
ANTIOXIDANTE EM TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis
niloticus*) EXPOSTAS AO GLIFOSATO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Orientador: Profa. Dra. Jaqueline Dalbello Biller

Dracena

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
Campus de Dracena

S729e

Souza, Katia Lirian Rocha

Efeito do β -glucano no sistema imune e antioxidante em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) expostas ao glifosato [recurso eletrônico] / Katia Lirian Rocha Souza. -- Dracena: [s.n.], 2025.

59 f. ; PDF.

Recurso educacional derivado de dissertação em Ciência e Tecnologia Animal - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. Orientada por Jaqueline Dalbello Biller. Área do conhecimento: Produção Animal, 2025.

1. Estresse oxidativo. 2. Herbicidas. 3. Sistema Imunológico. 4. Imunização. I. Título.

Bibliotecário Fábio S. Rosas
CRB 8/6665

IMPACTO ESPERADO NA SOCIEDADE

Esta pesquisa analisa os impactos do glifosato em tilápias para subsidiar políticas públicas e a educação ambiental. O herbicida ameaça a aquicultura e a saúde pública, mas o β -glucano surge como alternativa biotecnológica para mitigar danos e fortalecer a imunidade dos peixes, visando produtos seguros e novas bases para aditivos naturais.

EXPECTED IMPACT ON SOCIETY

This research analyzes the impacts of glyphosate on tilapia to support public policies and environmental education. The herbicide threatens aquaculture and public health, but β -glucan emerges as a biotechnological alternative to mitigate damage and strengthen fish immunity, aiming for safe products and new bases for natural additives.

IMPACTO ESPERADO EN LA SOCIEDAD

Esta investigación analiza los impactos del glifosato en la tilapia para apoyar políticas públicas y educación ambiental. El herbicida amenaza la acuicultura y la salud pública, pero el β -glucano surge como una alternativa biotecnológica para mitigar los daños y fortalecer la inmunidad de los peces, apuntando a productos seguros y nuevas bases para aditivos naturales.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Dracena




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeito do β -glucano no Sistema Imune e Antioxidante em Tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) Expostas ao Glifosato.

AUTORA: KÁTIA LIRIAN ROCHA SOUZA
ORIENTADORA: JAQUELINE DALBELLO BILLER


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências , pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JAQUELINE DALBELLO BILLER
Data: 25/11/2025 10:32:36-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Assoc. JAQUELINE DALBELLO BILLER (Participação Virtual)
Departamento de Produção Animal - DPA / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - FCAT - Unesp - Câmpus de Dracena

Documento assinado digitalmente
 MARCO ANTONIO DE ANDRADE BELO
Data: 24/11/2025 17:16:08-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. MARCO ANTONIO DE ANDRADE BELO (Participação Virtual)
Docente Colaborador do PPG / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV - Unesp - Câmpus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 VALQUIRIA CAÇÃO DA CRUZ
Data: 25/11/2025 13:40:41-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Assoc. VALQUIRIA CAÇÃO DA CRUZ (Participação Virtual)
Departamento de Produção Animal - DPA / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas - FCAT - Unesp - Câmpus de Dracena

Dracena, 24 de novembro de 2025.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Katia Lirian Rocha Souza, nascida no dia 15 de agosto de 1999, na cidade de Junqueirópolis, no estado de São Paulo. Em março de 2017, ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), na cidade de Dracena, estado de São Paulo. Em 2017 foi membro do Programa de Educação Tutorial - PET Zootecnia. Em maio de 2017, iniciou as atividades científicas no Laboratório de Rumenologia situado na FCAT, onde desenvolveu iniciações científicas sob orientação do Prof. Dr. Danilo Domingues Millen. Durante o período realizou treinamento no Confinamento Experimental de bovinos de corte da FCAT, acompanhando as pesquisas realizadas a campo pelo grupo e também participou de treinamentos laboratoriais no estudo de Histologia, Microbiologia e Bromatologia voltadas ao âmbito de Nutrição de Ruminantes. Durante sua graduação fez parte de diversos projetos pelo grupo, realizou cursos na área de produção animal, participou de vários congressos. Em fevereiro de 2023 iniciou o curso no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Animal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) – UNESP, Campus de Dracena, com estudo voltado a Imunologia Animal sob orientação da Profa. Dra. Jaqueline Dalbello Biller.

DEDICATÓRIA

A Deus, fonte de força e sabedoria, que me guiou em cada passo desta jornada de superação. Este trabalho é a prova de que, com fé e determinação, é possível vencer desafios e transformar sonhos em realidade.

Dedico esta conquista a todos que também enfrentaram suas batalhas e se levantaram. Que esta jornada inspire outros a acreditarem que, mesmo nas adversidades, é possível encontrar força interior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre me iluminou e me deu força para superar os desafios. Aos meus queridos pais, Avelino e Noemia, cuja dedicação, amor incondicional e apoio constante foram pilares fundamentais em minha jornada. Vocês sempre acreditaram em mim e me incentivaram a seguir meus sonhos, mesmo nos momentos mais difíceis. Sou eternamente grata por tudo que fizeram para que eu chegasse até aqui.

Ao meu amado esposo, Rodrigo, meu agradecimento mais profundo. Sua presença ao meu lado, seu amor e compreensão foram essenciais em cada passo dessa jornada. Você esteve comigo nos momentos de incerteza e celebração, sempre me encorajando a seguir em frente. Agradeço por sua paciência e por ser meu porto seguro, tornando esta experiência ainda mais significativa.

Um agradecimento especial às minhas amigas Flávia, Julia, Carol, Lucila, Laura e Gabriela, que me acompanharam em todas as coletas e estiveram presentes durante todo o mestrado. Fazendo que o período de pós graduação fosse mais leve e prazeroso. Vocês foram fundamentais para essa conquista.

Sou grata ao grupo Lia, incluindo todos os membros ativos e inativos, que não mediram esforços para me ajudar durante a realização do projeto. Um agradecimento especial às ex-orientandas Ingrid, que veio para me ensinar e compartilhou seu conhecimento de forma generosa e a Básia que não mediu esforços para me ajudar mesmo de longe.

Agradeço também a todos os funcionários da Unesp, que colaboram em todos os processos da pós-graduação.

Não posso deixar de mencionar minha orientadora, Prof. Jaqueline, cuja maneira de ensinar, paciência e simplicidade fizeram toda a diferença no meu aprendizado. Sou profundamente grata por tudo o que aprendi sob sua orientação, desde as análises até cada detalhe do grupo, e por sua compreensão durante meu tratamento.

A todos, meu sincero agradecimento!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo, fará coisas admiráveis”. (José de Alencar)

RESUMO

O crescente uso de herbicidas à base de glifosato na agricultura brasileira tem gerado preocupações quanto aos seus efeitos tóxicos sobre a saúde humana e os ecossistemas aquáticos, exigindo medidas para mitigar seus impactos ambientais e sanitários. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do β -glucano em mitigar o efeito do agente químico glifosato que comumente afeta o sistema de defesa, e antioxidante de peixes. O experimento foi conduzido no Laboratório de Imunologia Animal da Unesp, Campus de Dracena, com 300 juvenis de tilápias distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, com 8 tratamentos: 2 dietas (controle - livre de β -glucano e com β -glucano) \times 2 exposições (com exposição ao Glifosato e sem exposição ao Glifosato) \times 2 tempos (aos 15 e aos 30 dias de experimento), com 4 repetições para cada tratamento. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,5$). A suplementação com β -glucano promoveu valores mais estáveis, sugerindo efeito protetor e modulador frente aos impactos hematotóxicos do praguicida. A exposição ao glifosato reduziu a atividade respiratória de leucócitos, indicando efeito imunossupressor, enquanto a suplementação com β -glucano por 30 dias, estimulou a resposta imune inata e atenuou os efeitos do praguicida. A concentração de proteína total foi reduzida pela exposição ao glifosato, enquanto a suplementação com β -glucano elevou os níveis proteicos, especialmente nas fases iniciais, indicando efeito protetor metabólico frente ao pesticida. Peixes suplementados com β -glucano por 30 dias apresentaram maior altura das vilosidades intestinais, indicando efeito protetor frente ao glifosato, enquanto o grupo controle apresentou vilos mais largas, sugerindo alterações estruturais associadas ao estresse tóxico. Os resultados indicaram que o uso do β -glucano pode induzir melhoras consideráveis nas respostas antioxidantes, refletidas nas expressões relativas dos genes relacionados ao estresse oxidativo.

Palavras-chave: Estresse oxidativo. Herbicidas. Sistema Imunológico. Imunização.

ABSTRACT

The increasing use of glyphosate-based herbicides in Brazilian agriculture has raised concerns regarding their toxic effects on human health and aquatic ecosystems, highlighting the need for strategies to mitigate their environmental and sanitary impacts. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of β -glucan in mitigating the effects of glyphosate, a chemical agent known to impair immune and antioxidant responses in fish. The experiment was conducted at the Animal Immunology Laboratory of UNESP, Dracena Campus, using 300 juvenile tilapia distributed in a completely randomized design, arranged in a $2 \times 2 \times 2$ factorial scheme, totaling eight treatments: two diets (control— β -glucan-free and β -glucan-supplemented), two exposure conditions (glyphosate-exposed and non-exposed), and two experimental periods (15 and 30 days), with four replicates per treatment. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). Exposure to glyphosate altered the hematological parameters of tilapia, with increased hematocrit, hemoglobin, and erythrocyte counts in the control groups, indicating physiological stress. β -glucan supplementation resulted in more stable values, suggesting a protective and modulatory effect against the hematotoxic impacts of the pesticide. Glyphosate exposure reduced leukocyte respiratory activity, demonstrating an immunosuppressive effect, whereas β -glucan supplementation for 30 days stimulated innate immune responses and attenuated pesticide-induced suppression. Total protein concentration was reduced by glyphosate exposure, while β -glucan supplementation increased protein levels, particularly in the early stages, indicating a metabolic protective effect. Fish supplemented with β -glucan for 30 days exhibited greater intestinal villus height, indicating protective effects against glyphosate, whereas control groups presented broader villi, suggesting structural alterations associated with toxic stress. Overall, the results indicate that β -glucan supplementation can induce substantial improvements in antioxidant responses, reflected in the relative expression of genes associated with oxidative stress.

Keywords: Fish meat quality. Immune system. Aquatic feeding.

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

18S rRNA - Proteína ribossomal 18S
AChE - Acetilcolinesterase
ANOVA - Análise de variância
C - Dieta controle
CA - Conversão alimentar aparente
CAT - Catalase
CGE - Célula granulocítica especial
CHCM - Concentração de hemoglobina corpuscular média
ChE - Colinesterases
CL50 - Concentração letal
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT - Comprimento Total
DIC - Delineamento inteiramente casualizado
DNA - Ácido desoxirribonucleico
DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EROs - Espécies reativas de oxigênio
GAPDH - Gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase
GP - Ganho em peso
GPx - Glutaciona peroxidase
GR - Glutaciona redutase
GSH - Glutaciona
GSSG - Glutaciona oxidada
GST α - Glutaciona-S-transferase
H₂O - Água
H₂O₂ - Peróxido de hidrogênio
HCM - Hemoglobina corpuscular média
HOCl - Ácido hidrocloroso
HRO₂⁻ - Hidroperoxila
HSP70 - Proteína de choque térmico
LG-PAS - Leucócito granular PAS
LPO - Peroxidação lipídica
MDA – Malondialdeído

mRNA - Ácido ribonucleico mensageiro
NE - Número de eritrócitos
 O_2^- - Superóxido
 O_2 - Oxigênio
OH - Hidroxila
OP - Composto organofosforado
PCR - Reação em cadeia da polimerase
PF - Peso médio final
PGK - Fosfoglicerato quinase
pH - Potencial hidrogeniônico
qPCR-RT - Real time quantitative PCR
RLs - Radicais livres
RNA - Ácido ribonucleico
 RO_2 - Peroxila
ROS - Espécies reativas de oxigênio
RPL - Proteínas ribossomais
SOD – Superóxido Dismutase
TBARS – Substancias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico
TCE - Taxa de crescimento específico
TEP - Taxa de eficiência proteica
TLRs - Receptores Toll-Like
TRC - Triclorfon
UBQ - Ubiquitina
VCM - Volume corpuscular médio dos eritrócitos
 β G - Dieta β -glucano
 β P - Dieta β -glucano exposta com Glifosato.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Efeito do Glifosato na Piscicultura	18
3.2 Sistema Imune em Peixes	20
3.3 Sistema Antioxidante em Peixes.....	21
3.4 Tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	22
3.5 O Papel do β -glucano Como Imunomodulador em Peixes	23
4.1 Condições do Biotério.....	26
4.2 Aquisições dos Peixes	26
4.3 Dieta	26
4.4 Delineamento Experimental	28
4.5 Coleta de Dados	29
4.6 Variáveis Hematológicas, Imunológicas e Bioquímicas	30
Atividade respiratória de leucócitos sanguíneos - Burst	31
4.7 Análise da expressão relativa de genes do sistema oxidativo	32
4.6 Histologia	33
4.6.1 Histologia do Intestino.....	34
4.7 Análise Estatística.....	34
5. RESULTADOS	35
Variáveis hematológicas de tilápias alimentadas com β -glucano e expostas ao glifosato	35
Variáveis imunológicas de tilápias alimentadas com β -glucano e expostas ao glifosato	38
Variáveis bioquímicas de tilápias alimentadas com β -glucano e expostas ao glifosato	39

Expressão de genes por qPCR-RT no fígado de tilápias alimentadas com β -glucano e expostas ao glifosato	41
Histologia do intestino de tilápias alimentadas com β -glucano e expostas ao glifosato	45
6. DISCUSSÃO	48
7 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional mundial, intensifica-se o desafio de garantir a segurança alimentar global, especialmente em regiões onde o acesso a uma dieta saudável é limitado. Segundo o relatório "The State of Food Security and Nutrition in the World 2022" (FAO *et al.*, 2022), cerca de 22,5% da população da América Latina e Caribe não tinha acesso a uma alimentação saudável no ano de 2020, afetando 131,3 milhões de pessoas — um aumento de 8 milhões em relação a 2019. Esse cenário é agravado pelo elevado custo médio diário das dietas saudáveis na região, que atinge valores superiores à média global, alcançando USD 4,23 no Caribe, USD 3,61 na América do Sul e USD 3,47 na Mesoamérica.

Diante dessa realidade, o setor alimentício tem buscado alternativas para aumentar a produção de proteínas de origem animal, destacando-se a aquicultura como uma fonte sustentável e promissora. No Brasil, em 2022, a produção nacional de peixes de cultivo atingiu 860.355 toneladas, representando um aumento de 2,3% em relação às 841.004 toneladas produzidas em 2021. Com uma das mais ricas biodiversidades de peixes de água doce do mundo — estimada em mais de 2.500 espécies nativas (Buckup *et al.*, 2007) —, o país apresenta grande potencial para expansão desse setor.

No entanto, o avanço da produção intensiva de pescados vem acompanhado de desafios, muitos deles relacionados a fatores externos, como a contaminação ambiental por agrotóxicos utilizados na agricultura. A preocupação com o controle do uso desses produtos no Brasil ainda é considerada insuficiente, exposta a uma legislação frágil e à ampla disponibilidade de substâncias químicas no mercado (Albuquerque *et al.*, 2016). Os agrotóxicos podem contaminar organismos não-alvo, incluindo seres humanos e compartimentos abióticos dos ecossistemas, como solo, água e ar, comprometendo a saúde pública e a integridade ambiental.

Entre os agrotóxicos mais utilizados destaca-se o glifosato [N-(fosfonometil) glicina], herbicida não seletivo introduzido comercialmente em 1970 pela Monsanto, cujo modo de ação envolve a inibição da via biossintética de aminoácidos aromáticos essenciais — fenilalanina, tirosina e triptofano — precursores de compostos fundamentais como ligninas, flavonoides e alcaloides (Zulet-González *et al.*, 2020). Sua presença nos ambientes aquáticos pode comprometer a qualidade ambiental e

interferir nas cadeias tróficas essenciais ao equilíbrio dos ecossistemas (Lopes *et al.*, 2022). Peixes, por sua vez, são frequentemente expostos a esses resíduos, mesmo sem serem alvos diretos do uso de praguicidas. Sensíveis à poluição hídrica, tornam-se importantes bioindicadores de toxicidade ambiental (Burch *et al.*, 2025), com estudos apontando efeitos adversos, como a inibição da enzima acetilcolinesterase (AChE) em órgãos como rins, fígado e brânquias (Tresnakova *et al.*, 2021).

Diante disso, estratégias preventivas têm sido cada vez mais estudadas na aquicultura para mitigar os efeitos negativos da exposição a xenobióticos e melhorar a saúde dos peixes durante o processo produtivo. Entre elas, destacam-se boas práticas de manejo (Schwarz *et al.*, 2018), vacinação e o uso de imunomoduladores na alimentação, como o β -glucano (Zhang *et al.*, 2019). Este último, composto polissacarídico encontrado na parede celular de fungos, leveduras, bactérias e alguns cereais, é amplamente utilizado por sua capacidade de ativar receptores imunológicos intestinais em peixes (PRRs), fortalecendo a resposta imune inata (Hadiuzzaman *et al.* 2022).

Estudos demonstram que o β -glucano melhora a produção de linfócitos, auxilia na formação de anticorpos e aumenta a resistência a infecções. Além disso, age como antioxidante, protegendo tecidos contra danos oxidativos ao remover radicais livres (Zhong *et al.*, 2023). Pesquisas também indicam efeito hepatoprotetor, com modulação positiva de biomarcadores hepáticos, como alanina aminotransferase (ALT), aspartato aminotransferase (AST), fosfatase alcalina (ALP), além de redução de triglicerídeos e colesterol total (Dawood *et al.*, 2020; Eissa *et al.*, 2024). Adicionalmente, contribui para o desempenho zootécnico, melhorando a conversão alimentar e promovendo alterações benéficas na microbiota intestinal (Eissa *et al.*, 2024). Contudo, ainda são escassos os estudos que avaliam os efeitos do β -glucano em tilápias expostas especificamente ao glifosato, especialmente integrando parâmetros hematológicos, antioxidantes e expressão gênica. Assim, este trabalho busca preencher essa lacuna.

Portanto, diante da crescente pressão sobre os sistemas de produção de alimentos e da contaminação ambiental por agrotóxicos, a busca por alternativas nutricionais capazes de proteger e melhorar a saúde dos peixes é fundamental para assegurar a sustentabilidade da aquicultura e a qualidade dos pescados oferecidos ao consumidor final.

7 CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que a exposição ao glifosato compromete a saúde das tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), resultando em estresse oxidativo, imunossupressão e danos à integridade intestinal. Em contrapartida, a suplementação com β -glucano atua como um agente modulador eficaz, mitigando os efeitos citotóxicos e restaurando a homeostase fisiológica dos peixes. Os resultados confirmam que o uso de β -glucano é uma estratégia biotecnológica viável para fortalecer a imunidade e o bem-estar da tilápia em sistemas de produção suscetíveis à contaminação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-TAWWAB, M. Fish response to hypoxia stress: Growth, physiological, and immunological biomarkers. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 45, n. 3, p. 997–1013, 2019. DOI 10.1007/s10695-019-00614-9
- ACAR, Ü. Alterations in blood parameters, DNA damage, oxidative stress and antioxidant enzymes and immune-related genes expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to glyphosate-based herbicide. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 249, p. 109147, 2021. DOI 10.1016/j.cbpc.2021.109147.
- AHMED MONA M. Dietary Supplementation of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with panax ginseng essential oil: positive impact on animal health and productive performance, and mitigating effects on atrazine- induced toxicity. **Marine Science**. v. 9, 2022. DOI10.3389/fmars.2022.920057.
- ALHARBI, F. K. The mitigating effect of dietary β -glucan against fipronil-induced intoxication in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Histopathological, immunological, hematological, and biochemical analysis. **Open Veterinary Journal**, v. 15, n. 2, p. 965–976, 2025.
- ALBUQUERQUE, A. F. Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 18, p. 779–787, 2016. DOI 10.1039/C6EM00268D.
- ANDERSON, D. P. Immunostimulants, adjuvants, and vaccine carriers in fish: applications to aquaculture. **Annual Review of Fish Diseases**, v. 2, p. 281–307, 1992. DOI 10.1016/0959-8030(92)90067-8
- BILAL, S.; ETAYO, A.; HORDVIK, I. Immunoglobulins in teleosts. **Immunogenetics**, v. 73, p. 65-77, 2021.
- BILLER-TAKAHASHI, J. D. Leukocytes respiratory burst activity as indicator of innate immunity of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 2, p. 425–429, 2013. DOI 10.1590/S1519-69842013000200026
- BURCH, E. Assessing the Effects of Pesticides on Aquacultured Fish and Ecosystems: A Comprehensive Environmental Health Review. **Fishes** 10, 223. DOI 10.3390/fishes10050223
- BUCKUP, P. A. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007.
- BANCROFT, J. D.; GAMBLE, M. (Eds.). **Theory and Practice of Histological Techniques**. 6. ed. Philadelphia: Churchill Livingstone / Elsevier, 2008.
- COSTA, M. F. C. Avaliação de riscos ambientais do glifosato em ecossistemas aquáticos: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 4, p. 251-258, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/qPjYhVz7KzG8fXy5wL5sV5B/>. Acesso em: 4 set. 2025.

CONCEPCIÓN BRINDIS, A. Evaluation of an antioxidant diet for tilapia *Oreochromis niloticus* with mango and roselle by-products inclusion. **Biotecnia**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 69–76, 2022. DOI 10.18633/biotecnia.v24i2.1583. Disponível em: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1583>. Acesso em: 21 jun. 2025.

DAWOOD M.A. The role of β -glucan in the growth, intestinal morphometry, and immune-related gene and heat shock protein expressions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different stocking densities. **Aquaculture**, 523 735205, 2020.

DAWOOD, M. A. O.; KO, H. S. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. **Aquaculture**, v. 569, p. 739252, 2023. DOI 10.1111/raq.12209

DONG, F. Effects of glyphosate and its metabolite AMPA on aquatic organisms. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 19, p. 9004, 2021. DOI 10.3390/app11199004.

DUKE, S. O. Glyphosate: fate and impact. **Weed Science**, v. 68, n. 3, p. 201–207, 2020. DOI 10.1017/wsc.2019.28.

EISSA, E. H. Impact of a varied combinatorial mixture of β -1, 3 glucan and fructooligosaccharides on growth performance, metabolism, intestinal morphometry, expression of antioxidant-related genes, immunity, and protection against *Vibrio alginolyticus* in Red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). **Aquaculture Internacional**, v. 32, 6575–65952024. DOI 10.1007/s10499-024-01479-3.

FATH EL-BAB, M.; MAJRASHI, S.; SHEIKH, F Dietary supplementation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with β -glucan and *Bacillus coagulans*: effects on growth, antioxidant activity and immunological responses. **Frontiers in Veterinary Science**, 2022.

FIGUEIRAS, A.; DOMENECH-MASSONS, J. M.; CADARSO, C. Regression models: calculating the confidence interval of effects in the presence of interactions. **Statistics in medicine**, v. 17, n. 18, p. 2099-2105, 1998. DOI 10.1002/(SICI)1097-0258(19980930)17:18<2099::AID-SIM905>3.0.CO;2-6

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT; UNICEF; WORLD FOOD PROGRAMME; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2022**. [S.l.]: FAO, 2022.

FOLMAR, L. C.; SANDERS, H. O.; JULIN, A. M. Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 8, n. 3, p. 269–278, 1979. DOI 10.1007/BF01056243.

GARCIA, M. Pesticide residues in Brazil: Analysis of environmental legislation. Sustainability, **Basel**, v. 17, n. 6, p. 2583, 2023. DOI 10.3390/su17062583.

GHANNAM, H.E. Oxidative stress responses and histological changes in the liver of Nile tilapia exposed to silver bulk and nanoparticles. **Scientific Reports**, v. 15, 15390 2025. DOI 10.1038/s41598-025-97731-8

GOODRIDGE, H. S. Activation of the innate immune receptor Dectin-1 upon formation of a 'phagocytic synapse'. **Nature**, v. 472, n. 7344, p. 471-475, 2011. DOI 10.1038/nature10071

GOULART, C. Effects of glyphosate and its formulations on oxidative stress and reproductive toxicity in fish. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 49, p. 140–148, 2015. DOI 10.1021/es404258h.

GUERREIRO, I. Assessing the effect of β -glucan diets on innate immune response of tilapia macrophages against trichlorfon exposure: an in vitro study. **Aquatic Toxicology**, v. 259, p. 106979, 2023. DOI 10.1016/j.aquatox.2023.106979.

HADIUZZAMAN, M. β -Glucan: Mode of action and its uses in fish immunomodulation. **Marine Science**, v. 9, p. 905986, 2022. DOI 10.3389/fmars.2022.905986.

HAMED M. Antioxidants and molecular damage in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) after exposure to microplastics. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 13, p. 14581-14588, 2020. DOI 10.1007/s11356-020-07898-y

KOMAL, W.; FATIMA, S.; MINAHAL, Q.; LIAQAT, R. Enhancing growth, antioxidant capacity, and immune response in tilapia (*Oreochromis niloticus*) through curcumin supplementation across varied stocking density paradigms. **PLoS ONE**, v. 19, art. e0311146, 2024. DOI 10.1371/journal.pone.0311146

KORDON, A. O.; PINCHUK, L.; KARSI, A. Adaptive immune system in fish turkish **Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 22, n. 4, TRJFAS20235, 2022. DOI 10.4194/TRJFAS20235.

LIU, Y. Serum biochemistry, fatty acids, lipid metabolism, antioxidants, and inflammation response were significantly affected by feeding different marine red yeast supplementation in juvenile tilapia (GIFT strain, *Oreochromis niloticus*). **Marine Science**, v. 11, 2024. DOI 10.3389/fmars.2024.1426848.

LOPES, A. R. Effects of the herbicide glyphosate on fish from embryos to adults: a review addressing behavior patterns and mechanisms behind them. **Aquatic Toxicology**, v. 251, p. 106281, 2022.

MA, J. Biochemical and molecular impacts of glyphosate-based herbicide on the gills of common carp. **Environmental Pollution**, v. 251, p. 631–641, 2019. DOI 10.1016/j.envpol.2019.06.040.

MEENA, D. K. Dietary requirement of β -glucan for growth and innate immune response of Catla catla. **Fish & Shellfish Immunology**, 2013. DOI 10.1007/s10695-012-9710-5

MODESTO, K. A.; MARTINEZ, C. B. R. Roundup® causes oxidative stress in the liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish Prochilodus

lineatus. **Chemosphere**, v. 78, n. 3, p. 294–299, 2010. DOI 10.1016/j.chemosphere.2009.10.047.

BAWA, V.; KONDAL, J. K.; HUNDAL, S. S.; HARPINDER K. Biochemical and Histological Effects of Glyphosate on the Liver of *Cyprinus carpio* (Linn.). **American Journal of Life Sciences**, v. 5, n.3, p.147-153, 2017.

NOVAK, M.; VETVICKA, V. β -glucans, history, and the present: immunomodulatory aspects and mechanisms of action. **Journal of immunotoxicology**, v. 5, n. 1, p. 47-57, 2008. DOI 10.1080/15476910802019045.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Test No. 203**: fish, acute toxicity test. OECD Guidelines for the testing of chemicals, Section 2. Paris: OECD Publishing, 2019. DOI 10.1787/9789264069961-en.

PEILLEX, C.; PELLETIER, M. The impact and toxicity of glyphosate and glyphosate-based herbicides on health and immunity. **Journal of Immunotoxicology**, v. 17, n. 2, p. 163–174, 2020. DOI 10.1080/1547691X.2020.1804492.

PETIT, J.; WIEGERTJES, G. F. Long-lived effects of administering β -glucans: Indications for trained immunity in fish. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 64, p. 93–102, 2016. DOI 10.1016/j.dci.2016.03.003

PFAFFL, M. W. Quantification Strategies in Real-Time PCR. *In*: BUSTIN, S. A. (Ed.). **A-Z of Quantitative PCR**. La Jolla: International University Line (IUL), 2004. p. 89-113.

POMPERMAIER, A. Effects of glyphosate on fish from embryos to adults. **Scientific Reports**, London, v. 14, article 25652, 2024. DOI 10.1038/s41598-024-76338-5.

RAHMAN, M. M. Expression of immune-related genes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) following dietary supplementation with immunostimulants. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 80, p. 397–404, 2018. DOI 10.1016/j.fsi.2018.05.060

RODRIGUES, M. V. Yeast β -glucans as fish immunomodulators: a review. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 129, p. 114–123, 2023. DOI 10.1016/j.fsi.2022.114874.

RODRIGUES, M. V. Development of fish immunity and the role of β -glucan in immune responses. **Molecules**, v. 25, n. 22, 5378, 2020. DOI 10.3390/molecules25225378.

RODRIGUES, V. M.; GUEDES, M. C.; FINKLER, L.; LENCIONI, R.; COGO, C. K.; SOUZA, S. D. G.; KOCH, J. F. A. Assessing the effect of β -glucan diets on innate immune response of tilapia macrophages against trichlorfon exposure: an *in vitro* study. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 143, 109033.

SABIONI, R. E. β -Glucan enhances respiratory activity of leukocytes suppressed by stress and modulates blood glucose levels in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 629–640, 2020. DOI 10.1007/s10695-019-00739-x.

SAHOO, Sujata Immune system of fish: an evolutionary perspective. **Antimicrobial immune response**, v. 1, 2021.

SCHWARZ, M. H. Good aquaculture practices for efficient and sustainable fish production. **Virginia Cooperative Extension**, Publ. 600-054, 2018. Disponível em: <https://pubs.ext.vt.edu/600/600-054/600-054.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

STICKNEY, R. R. Status of research on tilápia. *In*: COSTAPIERCE, B. A.; RAKOCY, J. E. (Ed.). **Tilapia aquaculture in the Americas**. Louisiana: World Aquaculture Society, 2000. v. 2. p. 21-33.

STOSIK M, TOKARZ-DEPTUŁA B, DEPTUŁA W. Immunological memory in teleost fish. **Fish Shellfish Immunol.** v. 115, p. 95-103, 2021. DOI 10.1016/j.fsi.2021.05.022

SUWARDJI, S.; SUDANTHA, I. M. The fate of glyphosate in soil and water: a review. **Jurnal Penelitian Pendidikan IPA**, Jakarta, v. 7, n. special, p. 389–399, 2021. DOI 10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.971.

TEMPONI-SANTOS, R. AMPA and glyphosate residues impacts in the water of fish farms. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 11, n. 28, p. 655–676, ago. 2024. DOI 10.21438/rbgas(2024)112809

TKACZENKO, H.; KURHALUK, N.; GRUDNIEWSKA, J. Oxidative stress biomarkers in the cardiac and hepatic tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed the β -glucan-supplemented diet. **Aquaculture Research**, 2023. DOI 10.1111/are.14910.

TRESNAKOVA, N.; STARA, A.; VELISEK, J. Effects of Glyphosate and Its Metabolite AMPA on Aquatic Organisms. **Applied Sciences**, v. 11, 9004, 2021. DOI 10.3390/app11199004

VAN BRUGGEN, A. H. C. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. **Science of the Total Environment**, v. 616–617, p. 255–268, 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.10.309.

WHITTINGTON, R.; LIM, C.; KLESIOUS, P. H. Effect of dietary β -glucan levels on the growth response and efficacy of *Streptococcus iniae* vaccine in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 248, n. 1-4, p. 217-225, 2005. DOI 10.1016/j.aquaculture.2005.04.013.

WÓJCIK, R.; JANOWSKA, E.; MALACZEWSKA, J.; SIWICKI, A. K. Effect of β 1,3/1,6-D-glucan on the phagocytic activity and oxidative metabolism of peripheral blood granulocytes and monocytes in rats. **Bull Vet Inst Pulawy**, v. 53, p. 241-246, 2009.

XU, C. Recovery from hypersaline-stress-induced immunity damage and intestinal-microbiota changes through dietary β -glucan supplementation in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animals**, v. 10, art. 2243, 2020. DOI 10.3390/ani10122243.

ZHAI, S. Effect of dietary β -Glucan on growth performance, antioxidant capacity, and immunomodulation of coral trout. **Fishes**, 2024. DOI 10.3390/fishes9080298

ZHANG, Z.; CHI, H.; DALMO, R. A. Trained innate immunity of fish is a viable approach in larval aquaculture. **Frontiers in immunology**, v. 10, p. 42, 2019. DOI 10.3389/fimmu.2019.00042.

ZHANG, Y. Herbicide glyphosate: toxicity and microbial degradation. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 17, article 7519, 2020. DOI 10.3390/ijerph17207519.

ZHENG, T. Effects of chronic glyphosate exposure on antioxidative status, metabolism and immune response in tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 239, art. 108878, 2021. DOI 10.1016/j.cbpc.2020.108878.

ZHONG, X.; WANG G.; Li Immunomodulatory Effect and Biological Significance of β -Glucans. **Pharmaceutics**. 151615. DOI10.3390/pharmaceutics15061615.

ZULET-GONZÁLEZ, A. Increased glyphosate-induced gene expression in the shikimate pathway is abolished in the presence of aromatic amino acids and mimicked by shikimate. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 459, 2020.