

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

ALINE VICTÓRIA SAMPAIO

SUBSTITUIÇÃO DE ZINCO, MANGANÊS E COBRE INORGÂNICOS POR
GLICINATOS SOBRE A COMPOSIÇÃO CORPORAL, A DIGESTIBILIDADE E
EXCREÇÃO FECAL EM JUVENIS DE TILÁPIAS DO NILO

PONTA GROSSA

2023

ALINE VICTÓRIA SAMPAIO

SUBSTITUIÇÃO DE ZINCO, MANGANÊS E COBRE INORGÂNICOS POR
GLICINATOS SOBRE A COMPOSIÇÃO CORPORAL, A DIGESTIBILIDADE E
EXCREÇÃO FECAL EM JUVENIS DE TILÁPIAS DO NILO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção de título de Bacharel em
Zootecnia na Universidade Estadual de Ponta
Grossa, Área de Ciência Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu
Furuya.

PONTA GROSSA

2023

Aos meus pais Tania Emília Sampaio e Anderson Sampaio, por toda ajuda e amparo, à minha finada avó Eugenia Gonçalves, que sempre se orgulhou e acreditou em mim, ao meu noivo Bryan Dillan Ferreira de Siqueira que me incentivou e aconselhou, ao meu Orientador Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya pelo acompanhamento nessa trajetória.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser minha fonte de vida, meu refúgio bem presente e amparador nesse período, permitindo que eu me mantivesse forte e perseverante para a conclusão desse ciclo. Que em meus momentos de desânimo, me trazia sempre a lembrança de Suas promessas, de que sempre estaria comigo e que tudo está sobre Seu comando.

Ao meu Orientador, Professor Doutor Wilson Massamitu Furuya, o qual permitiu que todo esse trabalho fosse concluído e por todo período de orientação deste TCC. Meus sinceros agradecimentos pela oportunidade que me foi dada e a preocupação para que eu me torne uma profissional capacitada, sempre me direcionando, corrigindo, ensinando e me iniciando na caminhada acadêmico científica.

Aos meus pais Tania Emília Sampaio e Anderson Sampaio, por me apoiarem e incentivarem em todos os momentos, não medindo esforços para me auxiliar de forma emocional, financeira e psicológica. Por todos os ensinamentos que carrego e levo tanto para minha vida pessoal como profissional, formando quem eu sou.

Ao meu noivo Bryan Dillan Ferreira de Siqueira, que me animou e deu forças nas minhas fraquezas, me ajudando em todos os momentos, sendo meu porto seguro e incentivador. Por todos os conselhos e por todos os momentos que mesmo em silêncio se manteve comigo.

À Professora Doutora Valéria Rossetto Barriviera Furuya, pelo auxílio nesse trabalho de conclusão de curso, por toda ajuda, conselhos e conversas nesse período.

À Doutora Thais Pereira da Cruz, por todos os ensinamentos, paciência e carinho, estando sempre disponível para ajudar no que fosse necessário. Agradeço por todas as conversas, ensinamentos de vida e pela amizade linda que foi formada nesse período.

À minha amiga e companheira de graduação Eduarda Aparecida Rubik, que mesmo decidindo não dar continuidade ao curso, foi essencial para minha formação, sendo um exemplo para mim.

Aos meus avós Zilda de Oliveira Sampaio e José Jaime Sampaio, por todas as orações que fizeram por mim durante esse período, e por desde a minha infância terem acreditado em mim.

À minha querida avó do coração Terezinha de Jesus Ferreira de Siqueira, que em todos os dias me esperava carinhosamente com almoço para que eu não precisasse gastar com alimentação.

Ao grupo de pesquisa *Fish Nutrition*, que auxiliaram e estiveram presentes no desenvolvimento desse experimento.

À BASF S.A., pelo fornecimento dos minerais orgânicos utilizados na execução do experimento e pelo apoio ao projeto de pesquisa.

Aos colegas e familiares que auxiliaram de alguma forma nesse período.

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com objetivo de avaliar substituição de zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu) inorgânicos por minerais orgânicos na forma de glicinatos sobre a digestibilidade, composição corporal e excreção fecal de microminerais em juvenis de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Foram utilizados juvenis ($432 \pm DP$) de tilápia do Nilo, distribuídos em 16 caixas (90 L cada) em sistema de recirculação de água (RAS) e alimentados com dieta controle MTI100, de forma a atender as exigências de Zn, Mn e Cu na forma inorgânica (sulfatos), e com dietas experimentais MTO100 de fonte orgânica (glicinatos) para atender 100% das exigências dos respectivos minerais da dieta controle, MTO75 suprimindo 75% das exigências da dieta controle com glicinatos e MTO50 atendendo 50% da dieta controle com glicinatos. Os peixes foram alimentados manualmente, oito vezes por dia, durante 56 dias. Após o período de experimentação, a composição corporal não foi afetada pela dose e tipo de suplementação mineral. No entanto, a excreção fecal de Zn, Mn e Cu diminuiu nos peixes alimentados com dieta MTO75 e MTO50. O coeficiente de digestibilidade teve aumento positivo em peixes alimentados com dieta MTO50. Os tratamentos MTI100 e MTO100 não demonstraram resultados significativos para excreção fecal e digestibilidade. A substituição de microminerais orgânicos em doses de 75% e 50% não altera a composição corporal, como favorece a minimização da excreção fecal e o aumento da digestibilidade, sendo uma alternativa alimentar eficiente para a utilização em tilápias do Nilo, aliada a redução do impacto ambiental.

Palavras-chave: composição corporal; disponibilidade; excreção fecal; glicinatos; microminerais inorgânicos; tilápia do Nilo.

ABSTRACT

The present work was carried out with the objective of evaluating the replacement of inorganic zinc (Zn), manganese (Mn), and copper (Cu) by organic minerals in the form of glycines on the digestibility, body composition, and fecal excretion of microminerals in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Juveniles ($432 \pm \text{SD}$) of Nile tilapia were used, distributed in 16 boxes (90 L each) in a water recirculation system (RAS), and fed with a control diet MTI100, in order to meet the requirements of Zn, Mn, and Cu in inorganic form (sulfates), and with experimental diets MTO100 from an organic source (glycines) to meet 100% of the requirements of the respective minerals of the control diet, MTO75 supplying 75% of the requirements of the control diet with glycines and MTO50 meeting 50% of the control diet with glycines. The fish were manually fed eight times a day for 56 days. After the trial period, body composition was not affected by dose and type of mineral supplementation. However, fecal excretion of Zn, Mn, and Cu decreases in fish fed the MTO75 and MTO50 diet. The digestibility coefficient had a positive increase in fish fed the MTO50 diet. The MTI100 and MTO100 treatments did not show significant fecal excretion and digestibility results. The replacement of organic microminerals in doses of 75% and 50% does not change the body composition, as it favors the minimization of fecal excretion and the increase of digestibility, being an efficient food alternative for use in Nile tilapia, combined with the reduction of the impact environmental.

Keywords: body composition; availability; fecal excretion; glycines; inorganic trace minerals; Nile tilapia.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes, níveis de inclusão e composição analisada dos minerais das dietas experimentais (mg/kg, matéria seca).	16
Tabela 2 - Composição corporal de Zn, Mn e Cu em juvenis de tilápias do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas. ¹	19
Tabela 3 - Coeficiente de digestibilidade aparente (%) de Zn, Mn e Cu em juvenis de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas. ¹	20
Tabela 4 - Valores de Zn, Mn e Cu nas fezes de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas. ¹	21

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Complexo Metal Aminoácido Específico de glicina14
- Figura 2** - Barras com letras distintas para Zn ou Cu indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Barra representam valores são médias \pm desvio padrão de quatro repetições. 22

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	9
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 - Tilápia do Nilo	10
2.2 – Minerais	10
2.3 - Quelatos	13
2.4 - Glicinatos.....	14
3- MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Comitê de ética e local de realização do experimento.....	15
3.2 Dietas e alimentação dos peixes	15
3.3 Peixes e manejo	17
3.4 Coleta de amostras.....	18
3.5 Determinação da digestibilidade	18
3.6 Análises químicas	18
3.7 Análise estatística	19
4- RESULTADOS	19
4.1- Composição corporal	19
4.2- Coeficiente de digestibilidade aparente	19
4.3- Valor de mineral nas fezes	20
5- DISCUSSÃO.....	22
6- CONCLUSÕES	24
7- REFERÊNCIAS	26

1- INTRODUÇÃO

As tilápias (*Oreochromis* spp.) são o segundo maior grupo de peixes de água doce utilizado na piscicultura mundial, sendo a *Oreochromis niloticus* a espécie mais utilizada comercialmente (EL-SAYED, 2019; FAO, 2020). O Brasil é o quarto produtor global de tilápias, com 534 mil toneladas em 2021, sendo a maior produção no estado do Paraná (PEIXE BR, 2022).

Devido a demanda crescente de pescado, a aquicultura vem se expandindo, e para tal intuito, a indústria tem buscado e utilizado novas tecnologias. Visando uma maior produtividade, para atender a procura global, como também objetivando a obtenção de produtos com alto valor nutricional, sem deixar de lado a sustentabilidade na criação (TIAN et al., 2019).

A carne de pescado é uma rica fonte de minerais importantes para a saúde humana (TILAMI; SAMPELS, 2018), onde particularmente, manganês (Mn), selênio (Se) e zinco (Zn) são microminerais abundantes no músculo dos peixes (AUBOURG; LOSADA; PREGO, 2007). O filé é o corte comercial mais valorizado na industrialização de tilápias, portanto, a retenção mineral no filé é importante para a saúde humana (MOHANTY et al., 2019). No entanto, existem poucos estudos sobre a retenção corporal de microminerais em tilápias do Nilo alimentadas com fontes orgânicas de microminerais.

Os microminerais Mn, Cu, e Zn são nutrientes essenciais para o crescimento e metabolismo dos peixes, servindo como cofatores importantes para as enzimas celulares (NRC, 2011). Como também estão envolvidos na resposta imune e como antioxidantes (LALL, 2002).

Apesar de amplamente utilizados em dietas para organismos aquáticos, os minerais inorgânicos possuem baixa disponibilidade, principalmente pelo antagonismo entre os minerais (WATANABE; KIRON; SATOH, 1997). Além disso, a utilização de alimentos de origem vegetal pode indisponibilizar a maior parte dos minerais catiônicos em dietas para tilápias. Assim, apenas uma pequena quantidade de minerais é absorvida pelo intestino, e o restante é excretado no meio ambiente, o que pode levar à bioacumulação no solo e potencialmente aumentar o potencial poluente das fontes de água (DOVE; EWAN, 1990).

Os minerais orgânicos, por sua vez, não formam complexos com outros compostos da dieta e são mais disponíveis em relação aos minerais inorgânicos (NGUYEN et al., 2019), consequentemente, ocorre maior retenção desses minerais, sendo uma alternativa para a alimentação animal. (PIERRI et al., 2021). Além disso, estudos realizados em aves e suínos evidenciaram a menor excreção de minerais em animais que receberam dieta com minerais

orgânicos, comparativamente aos que foram alimentados com minerais inorgânicos (NOLLET et al., 2007). No entanto, ainda não há informações sobre a disponibilidade, retenção corporal e excreção de microminerais em tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo minerais orgânicos na forma de glicinato.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Tilápia do Nilo

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é um peixe de água doce amplamente produzido em regiões tropicais e subtropicais devido à sua importância econômica. Sua produção comercial tem tido um crescimento significativo devido à crescente demanda por essa espécie (HU et al., 2020; FAO, 2022). A sustentabilidade na aquicultura tornou-se uma preocupação, juntamente com o objetivo de aumentar a produtividade e obter produtos de melhor qualidade nutricional (TIAN et al., 2019).

Para garantir o sucesso da produção de tilápia, é crucial compreender e atender às suas exigências nutricionais. Essas exigências podem variar dependendo de fatores como a linhagem, o sexo, o ambiente de cultivo, as condições experimentais, a saúde dos peixes e a composição da ração (FURUYA et al., 2013).

Tradicionalmente, os estudos de nutrição animal concentravam-se principalmente nos macronutrientes, devido à sua influência nos custos de alimentação (SONODA, FRANÇA e CYRINO, 2016). No entanto, com o avanço do conhecimento da nutrição da tilápia, os estudos de aditivos e micronutrientes, como vitaminas e minerais tem sido crescente. Esses nutrientes desempenham um papel fundamental no metabolismo e no desempenho dos peixes, e pesquisas recentes têm explorado seu uso de maneira mais detalhada (PRABHU, SCHRAMA e KAUSHIK, 2016).

2.2 – Minerais

Os minerais podem ser definidos como compostos químicos homogêneos formados a partir da interação de processos físico-químicos naturais geralmente de origem inorgânica. Dentre 90 desses elementos químicos, 10 são essenciais ao desenvolvimento e manutenção de todos os organismos vivos, sendo eles carbono, Cu, enxofre, fósforo, hidrogênio, oxigênio, potássio e Zn, e 20 são essenciais aos animais, indicando a carência de minerais nas dietas, por serem nutrientes fundamentais (JOBBLING, 2001).

A essencialidade dos minerais vem pela produção insuficiente pelo corpo e necessidade de suplementação. Está associada à participação ativa desses minerais em diversas funções do metabolismo animal, na composição estrutural de moléculas, cooperando como cofator enzimático e interferindo no crescimento e manutenção dos tecidos. Esses nutrientes podem interferir positivamente ou negativamente na produção animal, já que a presença de minerais no tecido e fluidos corporais sofre interferência de dietas desbalanceadas, com deficiência ou excesso desses componentes, podendo gerar disfunções fisiológicas e redução de desempenho.

Na constituição física dos animais cerca de 20 elementos são fundamentais para o funcionamento regular, sendo os minerais cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloro, enxofre e fósforo presentes em maior concentração em relação à ferro (Fe), Cu, Zn, cobalto (Co), Mn, iodo (I), selênio (Se) e molibdênio (Mo). Nesse sentido, apresenta-se a importância da suplementação em relação às exigências específicas dos animais, para um melhor desempenho e bem-estar.

Diferente de outras espécies, os peixes de água doce são hiper osmóticos, absorvendo e perdendo minerais de forma passiva no ambiente aquático através das brânquias, nadadeiras e pele. Contudo, essas concentrações de minerais absorvidos acabam sendo insuficientes, necessitando de fontes de suplementação alimentar para absorção dos micronutrientes pelo trato gastrointestinal. Em decorrência disso, é difícil prever com exatidão a absorção e disponibilidade desses nutrientes obtidos na dieta, devido a interferência do meio sob esses fatores (LALL, 1989; 2002).

A exigência e função dos minerais serve como parâmetro para classificação, de acordo com a quantidade determinada presente na estrutura física de cada espécie e exigida pelo organismo. De maneira geral se utiliza um número de minerais essenciais padrão para todas as espécies, onde os macrominerais têm exigência superior a 100 mg/dl e os microminerais são exigidos em escala menor.

Os microminerais apesar de exigidos em menor quantidade são fundamentais para os animais, auxiliando na otimização das reações químicas que ocorrem no corpo. É comprovado que a suplementação dos elementos catiônicos como Zn, Cu e Mn melhoram a disponibilidade de minerais para os peixes (PIERRE, 2020), estando diretamente ligados ao desenvolvimento de tecido muscular e ósseo (UNDERWOOD e SUTTLE, 1999), contudo as informações para essa categoria são escassas em relação a outros grupos de animais (NRC, 2011).

O Zn é um micromineral de extrema importância para o organismo, sendo absorvido de forma ativa pelo intestino anterior e sua absorção pode ser afetada pela presença de outros

minerais. (NRC, 2011). As funções do Zn são diversas e abrangem diferentes aspectos do organismo, como no desempenho fundamental para equilíbrio ácido-base, na replicação celular, na calcificação óssea e na expressão gênica de ácido nucléico.

Além disso, o Zn atua como constituinte da enzima anidrase carbônica, bem como de outras metaloenzimas, e participa do metabolismo de aminoácidos (NRC, 2011). Essas múltiplas funções do Zn destacam sua importância na manutenção de diversos processos vitais do organismo, desde a regulação do pH até a síntese de proteínas e a resposta imunológica.

O Cu desempenha um papel crucial em diversos sistemas enzimáticos do organismo, como também ele está associado a absorção de Fe, sendo necessário para a regulação adequada desse mineral (CHANDRA, 1990). O Cu também é componente de proteínas sanguíneas e está envolvido na formação dos ossos e cartilagem, bem como na formação da bainha de mielina no sistema nervoso (LEESON e SUMMERS, 2001).

Em suínos, há evidências de que a suplementação de Cu possa ter efeitos metabólicos benéficos, resultando em melhorias nos processos enzimáticos e na eficiência produtiva (DOVE e HAYDON, 1992). Esses efeitos podem estar relacionados ao estímulo à produção de superóxido dismutase, uma enzima antioxidante, que por sua vez pode levar a um aumento na produção de hormônio do crescimento (GH) e à deposição corporal de minerais.

O Mn é verificado principalmente no fígado, pois sua absorção no trato intestinal é baixa. Esse micromineral desempenha um papel importante na ativação das glicosiltransferases, enzimas envolvidas na formação da matriz orgânica da cartilagem epifisária (UNDERWOOD e SUTTLE, 1999). Além disso, o Mn é fundamental para a síntese de ácidos graxos, a inclusão de acetato ao colesterol e a fosforilação oxidativa na mitocôndria, processos essenciais para o metabolismo celular (UNDERWOOD e SUTTLE, 1999).

Esses minerais, por se tratar de micronutrientes de carga positiva, estão englobados na mesma classificação em relação às rotas de excreção (BUCKLEY, 2000). A excreção de Zn, Mn e Cu tem como via principal a excreção pelas fezes, onde o acúmulo de minerais nas fezes é interferido pela concentração destes na dieta, pelo consumo, como também pela interação entre os minerais e fatores intrínsecos ao animal.

A quantidade de minerais nas fezes reflete a biodisponibilidade do elemento, pois quanto maior a fração do nutriente excretado menor foi a fração utilizada pelo animal (AMMERMAN; BEKER; LEWIS, 1995). Essa disponibilidade é afetada pela correlação entre o ambiente, a genética e a nutrição, levando em consideração a fonte mineral utilizada (BAKER, 2001).

Na suplementação dietética de microminerais, a fonte tipicamente é a partir de carbonatos e sulfatos, sendo estes, compostos inorgânicos geológicos ou industriais. Contudo, devido a estrutura química desses minerais eles se tornam uma fonte de baixa disponibilidade, gerando interesse em fontes alternativas orgânicas mais disponíveis, como em forma de estruturas quelatadas ligadas a outros nutrientes, possuindo maior estabilidade (SARKER ET AL., 2007).

Os minerais orgânicos por sua vez são caracterizados por íons metálicos quimicamente ligados a uma molécula orgânica. Possuem rápida absorção, estabilidade e biodisponibilidade, não interferindo na absorção de outros nutrientes. Dentro dessa categoria, os microminerais orgânicos podem ser suplementados na forma de metais complexados ou quelatados, havendo cinco categorias diferentes de microminerais quelatados, dependendo da estrutura química (AAFCO, 1999).

2.3 - Quelatos

Os quelatos são definidos tecnicamente como compostos formados quando um mineral se liga a uma molécula orgânica, como aminoácidos ou proteínas, por meio de ligações coordenadas. Essa ligação coordenada ocorre quando o mineral doa elétrons para a molécula orgânica, formando uma estrutura estável.

Nos quelatos orgânicos, os agentes quelantes ou carreadores se ligam ao átomo de metal por mais de um ponto, formando uma estrutura química estável e neutra (OLIVEIRA, 2006). Essa estrutura estável aumenta a disponibilidade do mineral e favorece sua absorção, resultando em uma menor excreção.

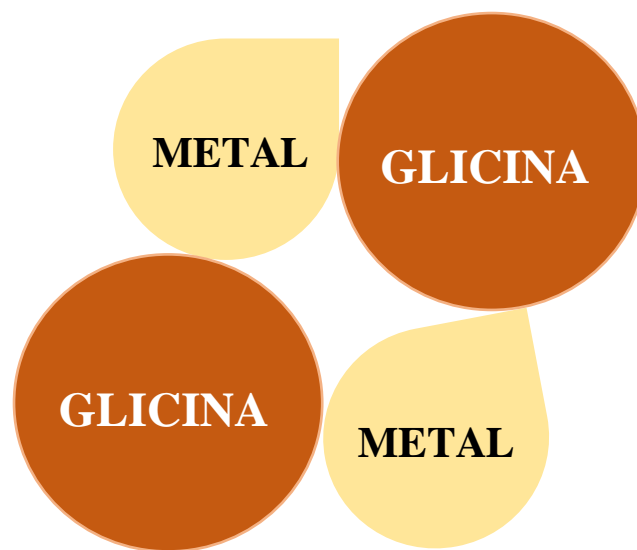
Os minerais quelatados, tem elevada capacidade de transposição, baixa toxicidade, favorece ativação da microbiota intestinal e da secreção de enzimas digestivas, além de atuar na regulação da absorção, tornando-a mais eficiente (POWER e HORGAN, 2000). Em estudos realizados por Izquierdo (2017) e Liang (2020) foi comprovada a maior disponibilidade de microminerais quando substituídos fontes inorgânicas por orgânicas em douradas (*Sparus aurata*) e em carpas comuns (*Cyprinus carpio*), respectivamente.

É evidente que a suplementação alimentar de microminerais geram o aumento da disponibilidade mineral, o acréscimo de deposição desses nutrientes nos tecidos musculares (NGUYEN, L et al., 2019), como também, atuando na melhoria do desempenho produtivo de peixes (DOMÍNGUEZ et al., 2019; KATYA et al., 2017). Contudo, há limitações quando falamos de estudos com fontes orgânicas de glicinato, sobre a disponibilidade, excreção fecal e retenção corporal em tilápia do Nilo.

2.4 – Glicinatos

Os minerais orgânicos na forma de glicinatos estão englobados dentro da classificação de quelato metal aminoácido. O quelato de aminoácido específico refere-se a um complexo formado entre um íon metálico e um aminoácido específico, nesse contexto a glicina (AAFCO). Nesse complexo, o aminoácido atua como um agente quelante, ou seja, ele forma ligações coordenadas com o íon metálico, envolvendo-o e estabilizando-o, como exemplo na Figura 1.

Figura 1 - Complexo Metal Aminoácido Específico de glicina.



Fonte: A autora.

Ao complexar o íon metálico com o aminoácido, a formação do quelato aumenta a solubilidade do metal e melhora sua absorção. Além disso, o complexo quelato de aminoácido protege o íon metálico contra interações indesejáveis e perdas no trato digestivos, fazendo com que ele chegue intacto até o local exato de absorção no intestino (HAN et. al, 2019).

O quelato de glicina é um complexo formado pela ligação coordenada de um íon metálico com o aminoácido glicina. A glicina é um aminoácido não essencial encontrado em várias proteínas e desempenha funções importantes no organismo. Quando utilizado como agente quelante, a glicina apresenta alguns benefícios específicos.

A glicina pode formar complexos quelatos com íons metálicos, como Fe, Zn, Cu e Mn. Esses complexos são mais estáveis e solúveis do que as formas não quelatadas dos minerais, o que facilita sua absorção. O uso de quelatos de glicina permite fornecer micronutrientes essenciais de forma mais biodisponível. Isso ajuda a prevenir e corrigir deficiências

nutricionais, que podem afetar negativamente o crescimento e o desenvolvimento (WANG, et. Al, 2017).

Ainda, os quelatos de glicina são mais estáveis em uma ampla faixa de pH e temperatura, o que aumenta sua eficácia em diversas aplicações. Essa estabilidade permite que os quelatos sejam utilizados em diferentes sistemas, com diferentes características e pH, e garante que os nutrientes permaneçam disponíveis para absorção ao longo do tempo.

O uso de quelatos de glicina pode reduzir a toxicidade dos íons metálicos, uma vez que o complexo quelato é mais suave e menos reativo do que as formas não quelatadas dos minerais. Além disso, a maior disponibilidade e absorção dos nutrientes pelos organismos resulta em uma utilização mais eficiente, reduzindo a quantidade de resíduos minerais liberados no meio ambiente (LIU, et. al, 2017).

Em resumo, o quelato de glicina oferece benefícios na melhoria da absorção de nutrientes, prevenção de deficiências nutricionais, estabilidade em diferentes condições e menor toxicidade e impacto ambiental. Essas propriedades tornam os quelatos de glicina uma opção vantajosa para suplementação na aquicultura. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a substituição de microminerais inorgânicos por orgânicos na forma de glicinato em juvenis de tilápia do Nilo, sobre a composição corporal, digestibilidade e excreção fecal.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Comitê de ética e local de realização do experimento

O presente projeto de pesquisa foi submetido previamente ao Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Ponta Grossa - CEUA/UEPG (Protocolo CEUA 24302-4). O experimento foi conduzido no laboratório de Aquicultura e Fauna Silvestre da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná.

3.2 Dietas e alimentação dos peixes

Foi elaborada uma dieta basal exclusivamente vegetal, suplementada com microminerais orgânicos, contendo 367 g/kg de proteína bruta e 15,20 MJ/kg de energia digestível. As dietas foram formuladas de acordo com as recomendações de FURUYA (2010), garantindo o atendimento às exigências mínimas de proteína (26,8%) e energia digestível (3075 kcal kg⁻¹) para a espécie em estudo.

A dieta controle foi formulada com base na composição dos alimentos, a qual foi previamente analisada e confirmada por análises laboratoriais após os processos de extrusão e

secagem. A dieta foi elaborada para atender às exigências dietéticas da tilápia do Nilo, contendo 79,5 mg/kg de Zn (CARMO e SÁ et al., 2004), 7 mg/kg de Mn (LIN; LIN; SHIAU, 2008) e 4 mg/kg de Cu (SHIAU; NING, 2016), utilizadas comercialmente para essa espécie.

As dietas experimentais foram designadas como MTI: Controle, contendo níveis recomendados de microminerais inorgânicos na forma de sulfatos; MTO100: contendo microminerais orgânicos para atender 100% da exigência nutricional da tilápia do Nilo; MTO75: contendo microminerais orgânicos para atender 75% da exigência; MTO50: contendo microminerais orgânicos para atender 50% da exigência da dieta MTI, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Fontes, níveis de inclusão e composição analisada dos minerais das dietas experimentais (mg/kg, matéria seca).

Fonte	Dieta ¹			
	MTI	MTO100	MTO75	MTO50
Mineral inorgânico				
Zn sulfato	79,50			
Mn sulfato	7,00			
Cu sulfato	4,00			
Mineral orgânico				
Zn glicinato		79,50	59,63	29,82
Mn glicinato		7,00	5,25	3,50
Cu glicinato		4,00	3,00	2,00
Composição analisada				
Zn	132,51	130,46	109,17	90,98
Mn	50,91	51,94	49,06	47,28
Cu	16,81	16,87	16,14	15,22

Abreviaturas: Zn, zinco; Mn, manganês; Cu, cobre.

¹MTI, microminerais inorgânicos; MTO100, microminerais orgânicos para atender 100% da exigência; MTO75, microminerais orgânicos para atender 75% da exigência; MTO50, microminerais orgânicos para atender 50% da exigência.

Após a pesagem e homogeneização dos ingredientes, as dietas foram preparadas e extrusadas em um extrusor de rosca simples (Modelo E-62, Ferraz máquinas e engenharia LTDA, Ribeirão Preto, SP, Brasil) acoplado a um tambor secador, com secador rotativo a 55°C por 10 minutos, para produção de pellets de 2 mm de diâmetro. O processo de extrusão e

secagem foi realizado na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - Apta (São José do Rio Preto, SP, Brasil).

3.3 Peixes e manejo

Foram adquiridos 1500 alevinos da tilápia do Nilo (variedade GIFT), com peso inicial médio de 0,5 g, da empresa Aquabel (Rolândia, Paraná, Brasil). Os alevinos foram distribuídos em três caixas plásticas circulares, com capacidade de 150 litros cada, e mantidos sob aeração constante e sistema de filtragem para garantir a qualidade da água. Os peixes foram aclimatados às condições experimentais e alimentados com dieta comercial micro extrusada durante 40 dias, até atingirem o peso ideal de 2,5g para o início do experimento (0,4 mm de diâmetro e 32% de proteína bruta), o qual durou quatro semanas.

Foram utilizados 432 peixes da espécie, com peso inicial médio de 2,5 g, distribuídos em 16 aquários experimentais. Os peixes foram alimentados manualmente até saciedade aparente, oito vezes ao dia, durante 8 semanas. Foi utilizado sistema RAS (*Recirculating Aquaculture System*) com alta renovação de água, no qual um filtro biológico foi usado para armazenar as bactérias responsáveis pela decomposição do material orgânico.

A filtragem física, por sua vez, contou com espumas de diversas gramaturas para remover 100% das partículas da água, enquanto um filtro UV foi empregado para descontaminar bactérias e outros contaminantes. Cada aquário utilizado tinha capacidade de 90 litros, e foram distribuídos 27 peixes por aquário. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições.

Os parâmetros de qualidade água foram monitorados e mantidos com temperatura de 28°C, o pH foi mantido entre 6,5 e 7,5 utilizando ácido fosfórico (1%) para ajuste de pH quando necessário. A oxigenação dos aquários foi realizada por meio de sistema com pedras micro porosas unidas a mangueiras de silicone, utilizando ar gerado por meio de compressor de ar radial de 0,5 CV (JKW002, São Bernardo do Campo, SP, Brasil) mantendo o teor de oxigênio dissolvido entre 6,0 e 6,5 mg/L. O oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) foram monitorados diariamente com uma sonda multi-parâmetro (YSI® 550A, Florianópolis, SC, Brasil) e semanalmente foi determinado o pH com pHmetro de bancada (TEC-2, Tecnal®, Piracicaba, SP, Brasil). A amônia tóxica, nitrito e nitrato foram analisados com kit (Alfakit®, Florianópolis, SC, Brasil). Os valores foram mantidos em $0,02 \pm 0,01$ mg/L; $0,06 \pm 0,02$ mg/L; $0,02 \pm 0,01$ e $6,94 \pm 0,79$ para amônia, nitrato, nitrito e pH respectivamente, mantendo os limites de conforto para tilápias segundo Boyd e Lichtkoppler (1979).

3.4 Coleta de amostras

No início do experimento, foram amostrados aleatoriamente 90 peixes para a determinação da composição corporal proximal inicial. Ao final do período de experimento, os peixes foram submetidos a um jejum de 24 horas, em seguida anestesiados com MS-222 (150 mg/L de água). Após anestesia, sete peixes foram selecionados aleatoriamente e eutanasiados com MS-222 em dose de 800 mg/L, e destinados para análise da composição centesimal corporal. Em seguida, as amostras de peixe foram imediatamente moídas em um moedor de carne, secas em uma estufa ventilada a 55°C (modelo Tecnal, TE-394/1-MP, Piracicaba, SP, Brasil) e armazenadas a -20°C até análise laboratorial.

A coleta de fezes para o ensaio de digestibilidade foi realizada a partir de amostras coletadas no terço final (21 dias) do ensaio de crescimento. As fezes foram coletadas nos aquários utilizados para o experimento após a última alimentação, e após um período de 2 h da sifonagem, as amostras de fezes foram coletadas com o auxílio de mangueiras de silicone, peneira e balde. Em seguida, foram imediatamente centrifugadas a 3.000 x g por 15 min, agrupadas por aquário e armazenadas a -20 °C até a análise. As amostras de fezes coletadas foram secas em estufas de ventilação forçada de ar (HexisHX00, Jundiaí, SP, Brasil) a 55°C por 48 horas, moídas em moinho de bolas e armazenadas a -20°C.

3.5 Determinação da digestibilidade

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) foram determinados pelo método indireto, utilizando o óxido de cromo (Cr₂O₃) como indicador, conforme recomendado pelo NRC (2011). Os CDA foram calculados de acordo com a equação estabelecida previamente por Maynard e Loosli (1969): $CDA (\%) = 100 - [(Nf/Nd) \times (Cr_2O_3d/Cr_2O_3f) \times 100]$, em que Nf é a concentração de energia ou nutriente nas fezes (kcal), Nd é a concentração de energia ou nutriente na dieta (kcal), Cr₂O₃d é a concentração de óxido de cromo na dieta (g/kg de matéria seca) e Cr₂O₃f é a concentração de óxido de cromo nas fezes (g/kg de matéria seca).

3.6 Análises químicas

Todas as amostras foram analisadas em duplicata. Ingredientes, dietas e fezes foram analisados matéria seca [Método 927.05 (AOAC, 2007)], teor de cinzas e concentrações de Zn, Mn e Cu. A matéria seca foi determinada por secagem de amostras em estufa a 105 ° C durante 24 horas. O teor de cinzas foi determinado após a ignição de uma amostra em uma mufla a 550 ° C por 6 horas. Zn, Mn e Cu foram determinados por espectrometria de emissões ópticas de

plasma acoplado indutivamente usando um método validado internamente (Perkinelmer 8000, Waltham, MA, EUA), análise [Método 985.01 (A, B, D); (AOAC, 1990)].

3.7 Análise estatística

Os dados foram apresentados como valores médios \pm erro padrão da média (EPM). Os dados de composição corporal e digestibilidade foram analisados por ANOVA de duas vias. Os dados foram comparados pelos testes de intervalo múltiplo de Tukey em $P < 0,05$. Todos os dados foram analisados usando Miinitab, versão 19, com significância definida em $P < 0,05$.

4- RESULTADOS

4.1- Composição corporal

Na Tabela 2 encontram-se os valores de Zn, Mn e Cu sobre a composição corporal de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com dietas experimentais durante 8 semanas. Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre a composição corporal dos peixes submetidos a alimentação com as dietas dos diferentes tratamentos em relação a retenção corporal de Zn, Mn e Cu.

Tabela 2 - Composição corporal de Zn, Mn e Cu em juvenis de tilápias do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas.¹

Item	Dieta ²				Valor- <i>P</i>
	MTI100	MTO100	MTO75	MTO50	
Zn	25,4 \pm 1,9	25,4 \pm 2,1	25,8 \pm 1,2	25,7 \pm 2,0	0,951
Mn	2,9 \pm 0,3	2,8 \pm 0,3	2,8 \pm 0,2	2,9 \pm 0,3	0,868
Cu	1,6 \pm 0,1	1,7 \pm 0,2	1,5 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	0,108

Abreviações: Zn = zinco (mg/kg); Mn = manganês (mg/kg); Cu = cobre (mg/kg).

¹ valores são médias \pm desvio padrão de quatro repetições.

² MTI100 = microminerais inorgânicos 100%; MTO100 = microminerais orgânicos 100%; MTO75 = microminerais orgânicos 75%; MTO50 = microminerais orgânicos 50%.

Fonte: Da Autora (2023)

4.2- Coeficiente de digestibilidade aparente

Na Tabela 3 encontram-se os coeficientes de digestibilidade de Zn, Mn e Cu em juvenis de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas. Não foram

observadas diferenças entre os tratamentos com relação aos coeficientes de digestibilidade de Mn ($P = 0,099$) e Cu ($P = 0,201$). Por outro lado, a digestibilidade de Zn ($P = 0,023$) foi afetada significativamente em relação aos diferentes tratamentos. Os coeficientes de digestibilidade de Zn não apresentaram diferença entre os peixes alimentados com as dietas MTI100, MTO100 e MTO75. No entanto, foi observado maior coeficiente de digestibilidade de Zn ($P = 0,023$) nos juvenis alimentados com a dieta MTO50 quando comparados aos peixes que receberam a dieta do tratamento com inclusão de 100% minerais inorgânicos.

Tabela 3 - Coeficiente de digestibilidade aparente (%) de Zn, Mn e Cu em juvenis de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas.¹

Item	Dieta ²				Valor- <i>P</i>
	MTI100	MTO100	MTO75	MTO50	
Zn	60,3 ± 2,3 ^{ab}	56,2 ± 1,4 ^b	59,1 ± 3,5 ^{ab}	62,7 ± 1,8 ^a	0,023
Mn	57,1 ± 3,4	59,8 ± 2,3	53,7 ± 4,1	55,0 ± 4,0	0,099
Cu	73,8 ± 2,5	65,9 ± 3,6	74,1 ± 8,6	75,5 ± 8,2	0,201

Abreviações: Zn = zinco; Mn = manganês; Cu = cobre.

¹ valores são médias ± desvio padrão de quatro repetições.

² MTI100 = microminerais inorgânicos 100%; MTO100 = microminerais orgânicos 100%; MTO75 = microminerais orgânicos 75%; MTO50 = microminerais orgânicos 50%.

^{a-b} Letras distintas na mesma linha indicam diferenças pelo teste de Tukey.

Fonte: Da Autora (2023).

4.3- Valor de mineral nas fezes

Na Tabela 4 encontram-se os valores de Zn, Mn e Cu nas fezes de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas. Foram observadas diferenças entre todos os grupos de animais submetidos a alimentação com os diferentes tratamentos para os valores de fezes de Zn ($<0,001$), Mn ($<0,001$) e Cu ($<0,001$). Quanto aos valores de Zn nas fezes não houve diferenças entre os peixes alimentados com as dietas MTI100 e MTO100. Entretanto, os peixes do alimentados com dieta experimental contendo 50% de inclusão de microminerais orgânicos na dieta, apresentaram a menor concentração de Zn nas fezes, sendo o tratamento mais eficiente na minimização da excreção fecal de zinco. A substituição de 75% por glicinatos também expressou potencial de minimização da excreção de zinco em relação aos peixes alimentados com dietas MTI100 e MTO100, mas não sendo superior ao tratamento MTO50. Os valores para Mn demonstram que os tratamentos de fontes minerais orgânicas

MTO100, MTO75 e MTO50 foram mais eficientes na redução da excreção de Mn nas fezes em relação aos valores de peixes que ingeriram a dieta inorgânica MTI100. Para os valores de Cu, os juvenis que consumiram dieta experimental com 50% de inclusão de glicinato, MTO50, apresentaram menor concentração de Cu nas fezes, em relação aos tratamentos MTI100, MTO100 e MTO75.

Tabela 4 - Valores de Zn, Mn e Cu nas fezes (mg/kg) de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas.¹

Item	Dietas ¹				Valor- <i>P</i>
	MTI100	MTO100	MTO75	MTO50	
Zn	78,7 ± 3,0 ^a	73,3 ± 1,8 ^a	64,5 ± 3,8 ^b	56,1 ± 3,3 ^c	<0,001
Mn	48,1 ± 1,9 ^a	41,9 ± 2,1 ^b	41,0 ± 2,0 ^b	40,1 ± 1,9 ^b	<0,001
Cu	12,2 ± 0,5 ^a	11,1 ± 0,6 ^a	11,6 ± 1,4 ^a	8,8 ± 1,6 ^b	<0,001

Abreviações= Zn = zinco; Mn = manganês; Cu = cobre.

¹ valores são médias ± desvio padrão de quatro repetições.

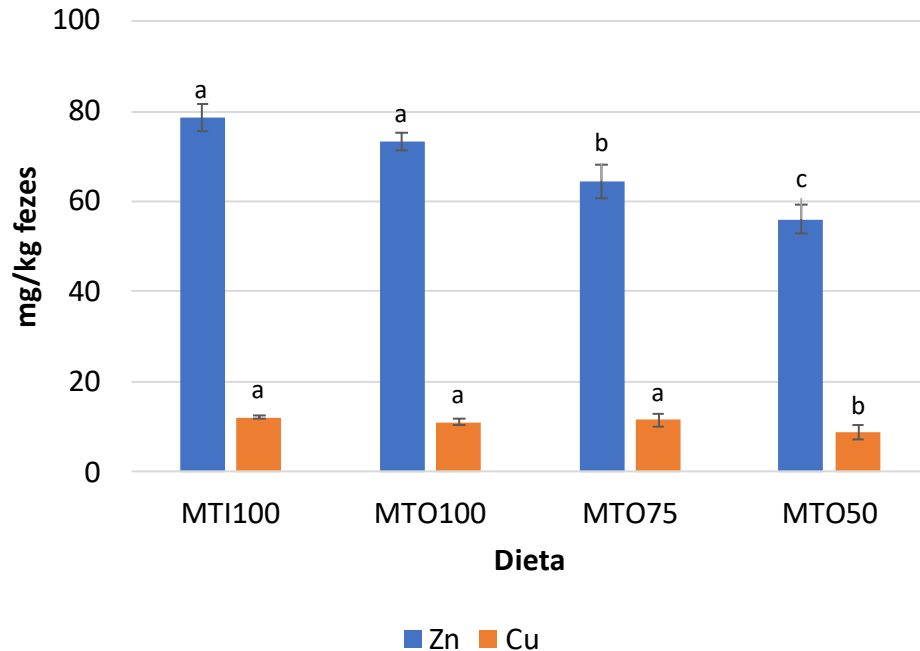
² MTI100 = microminerais inorgânicos 100%; MTO100 = microminerais orgânicos 100%; MTO75 = microminerais orgânicos 75%; MTO50 = microminerais orgânicos 50%.

^{a-c} Letras distintas na mesma linha indicam diferenças pelo teste de Tukey.

Fonte: Da Autora (2023).

Na Figura 1 encontram-se os valores de Zn e Cu nas fezes de tilápia do Nilo alimentados com as dietas experimentais durante 8 semanas. Os valores foram expressos de forma visual tendo como base os resultados obtidos na Tabela 4.

Figura 2 - Barras com letras distintas para Zn ou Cu indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Barra representam valores são médias \pm desvio padrão de quatro repetições.



Abreviações: Zn = zinco; Mn = manganês; Cu = cobre; MTI100 = microminerais inorgânicos 100%; MTO100 = microminerais orgânicos 100%; MTO75 = microminerais orgânicos 75%; MTO50 = microminerais orgânicos 50%.

^{a-c} Letras distintas na mesma linha indicam diferenças pelo teste de Tukey.

Fonte: Da Autora (2023).

5- DISCUSSÃO

Este estudo utilizou minerais orgânicos como forma de aumentar biodisponibilidade dos minerais e reduzir a contaminação ambiental através da minimização da excreção de minerais no meio aquático. A determinação da quantidade adequada de suplementação mineral em dietas práticas para peixes é desafiadora, uma vez que os peixes podem absorver certos minerais da água, uma parte dos minerais pode ser perdida das dietas experimentais devido à lixiviação, enquanto os próprios ingredientes da dieta já contêm uma quantidade de minerais.

No presente estudo, não foram observadas diferenças na composição corporal de juvenis de tilápia do Nilo em relação aos minerais Zn, Mn e Cu. Esses resultados estão em concordância com estudos anteriores que também relataram a ausência de diferenças na composição corporal em função da dose ou tipo de suplementação de Zn em outras espécies de peixes, como *Oncorhynchus mykiss*, *Sparus aurata*, *Labeo rohita* e *Scophthalmus maximus* (SARKER e

SATOH, 2008 ; READ et al., 2014; DOMÍNGUEZ et al., 2017; AKRAM et al., 2019; YANG et al. ., 2020).

De acordo com Prabhu et al., (2016), a concentração de Mn nas vértebras é considerada o critério mais confiável para avaliar os níveis de Mn no organismo. Em relação ao Cu, embora tenham sido descritas maiores disponibilidades de Cu orgânico em comparação com o Cu inorgânico para promover a mineralização tecidual (APINES et al., 2003; BHARADWAJ et al., 2014; LIN et al., 2010), ainda não há relatos sobre qual variável é a mais adequada para determinar sua utilização efetiva na dieta.

Esses estudos indicam que a composição corporal pode não ser um indicador adequado para avaliar a dose e o tipo de suplementação de Zn, Mn e Cu em peixes, devido aos efeitos de interação e do meio. Portanto, outros parâmetros, como biomarcadores ou análises fisiológicas mais específicas, podem ser necessários para avaliar a resposta dos peixes a diferentes níveis e formas de suplementação desses minerais.

Relativamente as análises de coeficiente de digestibilidade aparente, foram avaliados a eficiência com que os minerais dietéticos foram absorvidos e utilizados pelo organismo. Enquanto a avaliação da concentração de minerais nas fezes refletiu a quantidade de minerais não absorvidos que foram eliminados pelo trato gastrointestinal. Em geral, quanto maior for o coeficiente de digestibilidade aparente de minerais, menor será a concentração de minerais nas fezes, indicando uma maior absorção e utilização desses minerais pelo organismo (ANDRIGUETO et al., 1982).

No estudo em questão foi possível a comprovação de que a substituição de minerais inorgânicos por glicinatos, principalmente em 50%, favoreceu a minimização da excreção de minerais em juvenis de tilápia do Nilo. Essas informações se relacionam com estudos realizados por Apines-Amar et al. (2004) e Pierre et al. (2020), que demonstraram o potencial dos minerais orgânicos na contribuição da redução na excreção de minerais pelos peixes. Isso ocorre devido à sua capacidade de se ligarem a moléculas orgânicas, o que os torna mais estáveis no trato digestivo e menos propensos a interações e antagonismos com outros compostos presentes na dieta.

Essa maior estabilidade dos minerais orgânicos no trato digestivo resulta em uma menor disponibilidade para interações e ligações indesejadas, o que melhora a eficiência de utilização dos minerais pelo organismo dos peixes. Como resultado, a disponibilidade dos minerais para atender às exigências nutricionais dos peixes é otimizada, enquanto sua excreção é reduzida.

Em síntese, vemos que a substituição de microminerais inorgânicos por glicinatos não apenas não alterou a composição corporal, como também apresentou efeitos positivos na redução da excreção fecal e digestibilidade de minerais dos juvenis de tilápia do Nilo. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que demonstraram o potencial dos minerais orgânicos na redução da excreção de minerais pelos peixes.

A partir disso, temos o potencial de aplicação dos minerais orgânicos na formulação de dietas para a criação de tilápias, visando a redução do potencial poluente associado à excreção excessiva de minerais. Ao utilizar minerais orgânicos, é possível melhorar a absorção e utilização desses nutrientes pelos peixes, garantindo que sejam aproveitados de maneira mais eficiente e minimizando a quantidade de minerais que é eliminada nas fezes.

6- CONCLUSÕES

Em conclusão, os resultados obtidos na presente pesquisa, sugerem que é possível a substituição de até 50% de fontes inorgânicas por minerais orgânicos. Isso indica que a utilização de glicinatos de Zn, Mn e Cu como fontes orgânicas de minerais pode ser uma alternativa viável para a suplementação mineral em tilápias do Nilo.

Sugere-se que a partir disso, os glicinatos de Zn, Mn e Cu podem ser eficientemente absorvidos e utilizados pelos peixes, não alterando sua composição corporal. Além disso, a substituição de fontes inorgânicas por fontes orgânicas pode oferecer benefícios adicionais, como a melhoria da biodisponibilidade dos minerais, minimizando a excreção de minerais.

A redução da excreção de substâncias, como minerais, na natureza desempenha um papel fundamental na busca pela sustentabilidade. A excreção excessiva de minerais na água pode resultar em contaminação, afetando a disponibilidade de recursos hídricos saudáveis e comprometendo a sobrevivência de ecossistemas aquáticos. Ao minimizar a excreção de minerais, podemos preservar os recursos hídricos, garantindo água limpa e segura para as comunidades e promovendo a conservação da biodiversidade. Além disso, essa abordagem também contribui para a eficiência na utilização de recursos naturais, reduzindo o desperdício e promovendo a proteção da saúde humana. Portanto, a redução da excreção de minerais na água é um elemento-chave para promover um futuro sustentável, no qual podemos cuidar do meio ambiente e das necessidades das gerações futuras.

Com isso, conclui-se que a substituição de minerais inorgânicos por minerais orgânicos, em concentrações de 50%, pode ser uma estratégia eficiente na redução da excreção de minerais pelos peixes, como demonstrado no caso dos juvenis de tilápia do Nilo. A utilização de minerais

orgânicos melhora a absorção e utilização desses nutrientes, minimizando o potencial poluente na aquicultura.

7- REFERÊNCIAS

- AAFCO - Association of American Feed Control Officials. **Official Publication**. 1999.
- AMMERMAN, C. B.; BEKER, A. H.; LEWIS, A. J. Bioavailability of Minerals for Ruminants: A Review. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 3, p. 885-895, 1995.
- AMMERMAN, C. B.; BEKER, D. B.; LEWIS, A. J. **Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals and vitamins**. New York: Academic Press, 1995. 441p.
- ANDRIGUETTO, J. M.; PEZZATO, L. E.; SOUZA, G. J.; VIDAL JUNIOR, M. V. Coeficientes de digestibilidade aparente de alguns alimentos para o jundiá, *Rhamdia quelen*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 11, n. 4, p. 730-734, 1982.
- APINES-AMAR, M. J.; BIÑAN, C. F. C.; CORRE, K. G. A. Evaluation of dietary organic mineral supplementation on mineral status of milkfish (*Chanos chanos* Forskal) juveniles. **Aquaculture**, v. 231, n. 1-4, p. 441-450, 2004.
- AUBOURG, S. P.; LOSADA, P. P.; PREGO, R. L. Effects of sex and weight on proximate composition of farmed and wild European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, n. 2, p. 130-136, 2007.
- BAKER, D. H. Comparative species utilization and toxicity of dietary manganese. **Journal of Nutrition**, v. 131, n. 2, p. 649S-655S, 2001.
- BAKER, H. D. **Bioavailability of minerals and vitamins**. In: LEWIS, A. J.; SOUTHERN, L. L. (Ed.). Swine nutrition. 2. ed. Londres: CAB International, p. 357-379, 2001.
- BHARADWAJ, A. S. et al. Effect of dietary supplementation of organic copper on growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization of *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 20, n. 1, p. 9-18, 2014.
- BUCKLEY, W. T. Metabolism of trace minerals in swine. Asian-Australasian **Journal of Animal Sciences**, v. 13, n. 1, p. 137-150, 2000.
- BUCKLEY, W. T. **Tracy elements dynamic**. In: D'MELLO, J. P. F. Farm animal metabolism and nutrition. Londres: CAB International, p. 161-182, 200.
- CHANDRA, R. K. **Excessive intake of zinc impairs immune responses**. *JAMA*, v. 264, n. 11, p. 144. 1990.
- CHANDRA, R.K. Micro-nutrients and immune functions: an overview. **Annals New York Academy of Science**, Hoboken, v. 587, p. 9-16. 1990.
- DOMÍNGUEZ, D.; QUINTERO, I. A.; HERRERA, M. Effect of dietary zinc supplementation on growth performance, mineral content and bone quality of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Research**, v. 48, n. 2, p. 616-625, 2017.
- DOVE, A. D. M.; EWAN, R. C. Environmental aspects of the nutrition and feeding of fish. In: HALVER, J. E. (Ed.). **Fish Nutrition**. 2^a ed. San Diego: Academic Press, p. 775-798, 1990.
- DOVE, C. R.; HAYDON, K. D. Interaction of dietary copper and supplemental dietary fat in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 71, n. 4, p. 610-616, 1992.
- DOVE, C. R.; HAYDON, K. D. The effect of copper and fat addition to the diets of weanling swine on growth performance and serum fatty acids. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 805-810, 1992.
- EL-SAYED, A. M. Fish farming in Africa: species selection and nutrition. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, n. 2, p. 237-257, 2019.

- FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Oreochromis niloticus*. 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en>. Acesso em: 30 maio 2023.
- FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2020**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.
- FURUYA, W. M.; CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C. **Nutrição de peixes**. Jaboticabal, SP: Funep, 2013.
- HAN, F., ZHANG, D., WANG, Y., BAI, K. Effects of glycine-zinc chelate supplementation on growth performance, nutrient digestibility, and serum parameters in growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 251, p. 107-113, 2019.
- HU, J. et al. Comparative transcriptome analysis reveals differentially expressed genes associated with sex determination in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). PLoS ONE, v. 15, n. 1, p. e0228112, 2020.
- IZQUIERDO, M. Performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed extruded diets with different levels of fish meal and different sources of organic selenium. **Aquaculture**, v. 468, p. 377-381, 2017.
- JOBLING, M. **Fish bioenergetics**. London: Chapman & Hall, p. 307, 1994.
- JOBLING, M. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. **Reviews in Fisheries Science**, v. 9, n. 3, p. 245-278, 2001.
- KARACHLE, P. K.; STERGIOU, K. I. The effects of phytase supplementation on growth, feed efficiency, and mineral utilization of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, v. 326-329, p. 119. 2012.
- KATYA, K.; MARTINA, J.; LUBOMIR, L. Effects of dietary zinc source and level on growth performance and zinc status of common carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture International**, v. 25, n. 6, p. 2123-2134, 2017.
- LALL, S. P. Digestibility of macronutrients in diets for salmonid fishes: A review. **Aquaculture**, v. 78, n. 2-4, p. 267-287, 1989.
- LALL, S. P. The minerals. In: HALVER, J. E. (ed.). **Fish Nutrition**. 2nd ed. Vol. 1. New York: Academic Press Inc., 1989. p. 219-257.
- LALL, S. P. The minerals. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (eds.). **Fish Nutrition**. 3rd ed. Vol. 1. New York: Academic Press Inc., p. 219-257, 2002.
- LEESON, S. A.; SUMMERS, J. D. **Nutrition of the chickens**. 4th ed. Guelph: University Books, p. 591, 2001.
- LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition**. 2nd ed. Guelph, Ontario: University Books, p. 57-58, 1997.
- LIN, C. K.; SHIAU, S. Y. Optimum dietary manganese requirement of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **Aquaculture**, v. 283, n. 1-4, p. 82-88, 2008.
- LIN, C. Y. et al. Optimum dietary copper requirement of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 2, p. 179-186, 2010.
- LIU, L., et al. Effects of zinc-glycine chelate on growth performance, carcass traits, antioxidant capacity, and mineral concentrations of broilers. **Biological Trace Element Research**, v. 176, n. 2, p. 313-320, 2017.
- MAYNARD, L, A; LOOSLI, J, K. **Nutrição Animal**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1996.

- MOHANTY, B. P. et al. Nutritional value of fish - an overview. **Journal of FisheriesScience.com**, v. 13, n. 2, p. 41-49, 2019.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington, D.C.: National Academy Press, 2011.
- NGUYEN, D. V. et al. Dietary supplementation of mineral amino acid chelates improves eggshell quality by enhancing mineral retention, shell thickness, and mechanical strength in laying hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 642-651, 2019.
- NOLLET, L. et al. Bioavailability of zinc glycinate in comparison with zinc sulphate in the presence of dietary phytate in an animal model with ⁶⁵Zn labelled rats. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 21, n. 4, p. 233-242, 2007.
- OLIVEIRA, R. C; COSTA, L. F; FERNANDES, E. A; ALVARENGA, B. O; MATIOLI, S. R; BELETTI, M. E. Bone histomorphometry of broilers submitted to different phosphorus sources. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1517-1523, 2006.
- PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2022**. Disponível em: <<http://www.peixebr.com.br/arquivos/Peixe%20BR%202022%20-%20Anu%C3%A1rio%20da%20Piscicultura.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2023.
- PIERRE, F. et al. Organic trace mineral supplementation enhances the hepatic transcriptome of broilers: genes involved in antioxidant pathways. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2021.
- PRABHU, P. A. J.; NAVEENA, B. M.; BHASKAR, N. Determination of bioavailable manganese in tissues of wild rats: Implications in nutritional assessment. **Biological Trace Element Research**, v. 170, n. 2, p. 377-383, 2016.
- READ, M. A. et al. Dietary zinc supplementation in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: Impacts on growth and tissue mineral concentrations. **Aquaculture Research**, v. 45, n. 11, p. 1783-1793, 2014.
- SÁ, M. V. C. et al. Relative bioavailability of zinc in supplemental inorganic and organic sources for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 11, p. 273-281, 2005.
- SARKER, M. S. I.; SATOH, S. Optimum dietary zinc requirement of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and the effects of high dietary zinc on the copper status. **Fisheries Science**, v. 74, n. 6, p. 1257-1263, 2008.
- SARKER, P. K.; SATOH, S. Growth, non-specific immune responses, and disease resistance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets supplemented with aurine. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, n. 6, p. 495-502, 2008.
- TIAN, J. et al. Aquaculture in the green economy era: a review and future prospects. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, n. 3, p. 848-870, 2019.
- TILAMI, S. K.; SAMPELS, S. Organic and conventional vegetables' quality: an overview. **Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 8, p. 2299-2307, 2018.
- UNDERWOOD, E. J. **Trace Elements in Human and Animal Nutrition**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1962.

WANG, C; et. al. Effects of glycine supplementation on growth performance, carcass traits, meat quality, and antioxidant status in finishing pigs. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 4, p. 382-387, 2017.

WATANABE, T.; KIRON, V.; SATOH, S. **Trace minerals in fish nutrition.**

YANG, Y. F. et al. Dietary zinc requirements of juvenile black seabream (*Sparus macrocephalus*) and its effects on immune responses, oxidative stress, and growth performance. **Aquaculture**, v. 515, p. 734567, 2020.