



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
ENGENHARIA DE AQUICULTURA

Microminerais (Cu, Fe, Mn, Se e Zn) na nutrição de peixes, uma revisão
bibliográfica.

Fernando Yugo Yamamoto

Florianópolis, SC

2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
ENGENHARIA DE AQUICULTURA

Microminerais (Cu, Fe, Mn, Se e Zn) na nutrição de peixes, uma revisão bibliográfica.

Fernando Yugo Yamamoto

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à disciplina AQI 5240, Estágio
Supervisionado II, do curso de graduação
Engenharia de Aquicultura da Universidade
Federal de Santa Catarina

Professora Orientadora: Ph.D. Débora
Machado Fracalossi

Supervisora: Bruna Mattioni

Florianópolis, SC

2011

Segundo Semestre

FICHA CATALOGRÁFICA:

YAMAMOTO, FERNANDO YUGO

Microminerais (Cu, Fe, Mn, Se e Zn) na nutrição de peixes, uma
revisão bibliográfica.

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO II

CURSO DE ENGENHARIA DE AQUICULTURA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

FLORIANÓPOLIS/SC – BRASIL

42 páginas

Aos meus pais, Emílio e Melcia pela
dedicação infinita aos filhos, por
nunca terem desistido, por sempre
me apoiar e dar suporte na minha
preparação para a vida profissional.

A minha irmã Daniela que sempre
mostrou ser exemplo de maturidade
mesmo sendo minha irmã mais
nova.

As amizades que fiz e até hoje
cultivo, que sempre me
proporcionam muitas alegrias.

Dedico:

Agradecimentos:

A professora Débora Machado Fracalossi e a Dariane Beatriz Shoffen Enke pelos valiosos ensinamentos, puxões de orelha e orientação que foram essenciais para minha formação profissional durante minha passagem no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos.

A Bruna Mattioni pela paciência, conselhos e ajuda oferecida a minha tarefa de conclusão de curso e durante nosso convívio no laboratório.

Aos alunos de pós-graduação Caio César Franca Magnotti, Douglas Amaral da Cunha, Fernando Henrique Gomes Cornélio, Jennifer Silveira, Luiz Eduardo Lima de Freitas, Maria do Carmo Gominho, Maria Fernanda Oliveira, Ricardo Berto, Ronaldo Lima de Lima e Vitor Giatti Fernandes pelo companheirismo, por toda ajuda prestada e ensinamentos passados durante a realização dos meus estágios.

Aos companheiros de laboratório, Alexander Hilata, Maitê Florindo, Janice de Souza e Renata Oselame Nobrega pelo trabalho, amizade e risadas durante o expediente.

A todos os colegas que conheci durante a graduação e que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Sumário

RESUMO.....	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. JUSTIFICATIVA	13
4. METODOLOGIA.....	13
5. COBRE.....	15
5.1. Deficiência e toxicidade do cobre	17
6. FERRO.....	17
6.1. Deficiência e toxicidade do ferro.....	19
7. MANGANÊS.....	20
7.1. Deficiência e toxidez do manganês	21
8. SELÊNIO.....	21
8.1. Deficiência e toxicidade do selênio	23
9. ZINCO	23
9.1. Deficiência e toxicidade do zinco.....	26
10. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	26
11. REFERÊNCIAS.....	28
12. Anexos:	38

Lista de tabelas

Tabela 1: Metaloenzimas essenciais em animais aquáticos	8
Tabela 2: Sinais de deficiência mineral em espécies de peixe.....	9
Tabela 3: Digestibilidade aparente de minerais (%) de diferentes ingredientes para truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	10
Tabela 4: Exigência micromineral dos peixes	36
Tabela 5: Diferentes fontes minerais e informações dos experimentos analisados ..	38

RESUMO

Os microminerais, ou elementos traço, possuem papéis de forma direta ou indireta no metabolismo dos animais. Estudos na nutrição mineral envolvendo peixes são pouco numerosos e limitados. Parte disso se deve à dificuldade de se estimar as exigências ótimas para as diferentes espécies, devido às diferenças fisiológicas que podem variar a disponibilidade das fontes empregadas. Além disso, há a habilidade dos peixes absorverem microminerais dissolvidos na água através das brânquias e tecido epitelial, quando necessário. Com o aumento da utilização de ingredientes vegetais protéicos para substituir a farinha de peixe, as exigências dos elementos-traço, que antes foram estimadas, tendem a aumentar devido a fatores antinutricionais que podem influenciar na absorção dos microminerais. Estudos mostraram que a utilização de alguns minerais orgânicos, suplementados na ração, possibilitaram uma maior biodisponibilidade resultando em um melhor aproveitamento do peixe e diminuindo a quantidade exigida pelo animal. Assim, há indícios que o emprego de suplementos de minerais orgânicos na ração pode mitigar impactos ambientais. Tais impactos foram relatados pelo enriquecimento mineral nos sedimentos, provindos da lixiviação de ração e dos micronutrientes não aproveitados nas fezes dos animais. Nessa revisão serão abordados os principais microminerais na dieta de peixes: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), selênio (Se) e zinco (Zn), e a suas implicações.

Palavras chave: cobre, ferro, manganês, selênio, zinco, elementos traço, nutrição de peixes.

1. INTRODUÇÃO

Mineral pode ser definido como uma substância inorgânica homogênea (JOBILING, 2001). Todas as formas de vida exigem minerais para manter seu processo normal de vida (McDOWELL, 2003) e, 29 dos 90 elementos químicos encontrados naturalmente, são essenciais para a vida animal (LALL, 2002). Estes são classificados em dois grupos dependendo da quantidade exigida na dieta e armazenagem no tecido do animal, os macrominerais que são exigidos em maior quantidade, na escala de gramas (exemplos: fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloro) e os microminerais, que são exigidos na escala de miligramas ou microgramas, (exemplos: cobalto, cromo, cobre, iodo, manganês, selênio e zinco) (GATLIN III, 2010).

Os macrominerais servem como componentes para estruturas de tecidos, rotas metabólicas e possuem papéis importantes na osmorregulação e balanço ácido-básico dos peixes (JOBILING, 2001). Os microminerais, ou também chamados de elementos traço, são importantes componentes de hormônios e enzimas, servem como cofatores e ativadores de uma variedade de enzimas (Tabela 1), bem como participam de uma variedade de processos bioquímicos (NRC, 2011).

Tabela 1: Metaloenzimas essenciais em animais aquáticos

Elementos traço	Enzima	Função
Cobre	Citocromo oxidase	Oxidase terminal
	Lisil oxidase	Oxidação da lisina
	Ceruloplasmina (ferroxidase)	Utilização do ferro, transporte do cobre
	Superoxido dismutase	Dismutação do radical livre superóxido (O_2^-)
Ferro	Succinato desidrogenase	Oxidação aeróbica de carboidratos
	Citocromo (a, b, c)	Transferência de elétrons
	Catalase	Proteção contra peróxidos
Manganês	Piruvato carboxilase	Metabolismo do piruvato
	Superoxido dismutase	Dismutação do radical livre superóxido (O_2^-)
Selênio	Glutathiona peroxidase	Remoção do peróxidos
	Deiodinase tipo I e III	Conversão do tiróxico para sua forma ativa
Zinco	Anidrase carbônica	Formação de gás carbônico
	Álcool desidrogenase	Metabolismo do álcool
	Carboxipeptidases	Digestão de proteínas
	Alcalino fosfatase	Hidrólise de ésteres fosfatados
	Polimerases	Síntese de RNA e DNA
	Colagenase	Cicatrização de feridas

Fonte: LALL (2002) modificado.

Nutrição de microminerais é uma área complicada para a pesquisa científica e mais estudos são necessários nessa área. Embora uma ampla gama de funções desses elementos já tenha sido demonstrada para humanos e animais domésticos, as informações para peixes ainda é limitada e incompleta (LALL, 2002). Parte disso se deve a habilidade desses animais de suprir suas exigências através da assimilação de íons do ambiente aquático, dificultando a determinação da exigência nutricional (LOVELL, 1998; LIM et al., 2001; LALL, 2002; TRUSHENSKI et al., 2006; SANZ, 2009; NRC, 2011). Entretanto, se os microminerais forem ingeridos em escassez os peixes podem apresentar sinais clínicos de deficiência (Tabela 2); Por outro lado, em excesso, pode promover toxicidade (GONÇALVES 2005 et al.; TRUSHENSKI et al., 2006; SATOH, 2007).

Tabela 2: Sinais de deficiência mineral em espécies de peixe

Mineral	Sinais de deficiência ¹
Cobre	Crescimento reduzido ^(e) , catarata ^(f) , atividade reduzida do Cu/Zn-superóxido dismutase ^(e) e citocromo c oxidase no coração ^(c,d)
Ferro	Crescimento reduzido e baixa conversão alimentar ^(d) , anemia hipocrômica microcítica ^(b,c,e-g) , níveis baixos de hemoglobina e hematócrito ^(a,c,d) , reduzida saturação de Fe e Fe transferina no plasma ^(c,d)
Manganês	Crescimento reduzido ^(a,e,g) , perda de equilíbrio ^(g) , nanismo ^(a,e) , cataratas ^(a,e) , alta mortalidade ^(c,h) concentrações reduzidas de manganês ^(b,c) nos ossos ^(b,c) e no corpo ^(c) , baixa eclosão dos ovos ^(a,b,c) , crescimento caudal anormal ^(a) , anormalidades esqueléticas
Selênio	Crescimento reduzido ^(a,e) , anemia ^(e) , cataratas ^(e) , distrofia muscular ^(c) , diátese exudativa ^(a) , atividade reduzida do glutatoina peroxidase ^(a,c,d)
Zinco	Crescimento reduzido ^(a,c,d,e) , anorexia ^(d,e) , nanismo ^(a) , cataratas ^(a,e) , corrosão nas barbatanas ^(a,e) , corrosão na pele ^(e) , concentrações de zinco corporal ^(c) , zinco ósseo ^(a,d) , e cálcio ósso reduzidas ^(d) , mortalidade ^(a,e) , anormalidades esqueléticas

Fonte: LALL (2002) e NRC (2011) modificados. ¹Siglas para espécies de peixes: (a) truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*); (b) truta-das-fontes (*Salvelinus fontinalis*); (c) Salmão do atlântico (*Salmo salar*); (d) bagre do canal (*Ictalurus punctatus*); (e) carpa comum (*Cyprinus carpio*); (f) enguia japonesa (*Anguilla japonica*); (g) tilápia moçambicana (*Oreochromis mossambica*)

Organismos de água doce são caracterizados por serem hiperosmóticos em relação ao seu ambiente, perdendo continuamente íons pelas brânquias e absorvendo água de forma passiva, de forma que estes não ingerem água, mas excretam grandes quantidades de urina diluída (NRC, 2011). Em contrapartida, organismos marinhos são hiposmóticos em relação ao ambiente e, por esse motivo, perdem muita água através de qualquer superfície permeável, aumentando assim a concentração de sais no sangue. Os peixes marinhos realizam a reposição de água, consumindo-a constantemente e, durante a ingestão, o intestino absorve íons

monovalentes e água para o sangue e os sais ingeridos em excesso são excretados por células especializadas nas brânquias e no epitélio opercular *via* transporte ativo (LALL; MILLEY, 2007), enquanto os rins excretam essencialmente íons divalentes em pequenas quantidades de urina e outros sais são concentrados nas fezes (NRC, 2011). A água marinha é uma excelente fonte de minerais, com exceção do fósforo e do ferro.

Avaliar o desempenho de um determinado mineral na nutrição de peixes também é complexo. Isso se deve à dificuldade da determinação do nível de inclusão dos microminerais nas rações, monitorar e manter o ambiente aquático da unidade experimental livre do elemento avaliado e evitar a lixiviação dos nutrientes da ração na água, para só dessa maneira comprovar a sua eficiência (LALL, 2002; NRC, 2011). Ainda assim, diversos fatores podem influenciar a absorção dos microminerais pelos peixes: níveis de inclusão na ração, a disponibilidade química do mineral, seu estado de valência, inibidores na dieta, granulometria e digestibilidade aparente dos ingredientes (Tabela 3), interação entre os nutrientes, (sinérgicos ou antagônicos), condições fisiológicas (fisiologia do trato intestinal, acidez do estômago e tempo de trânsito intestinal) e patológicas do peixe, como outras particularidades da espécie em questão (WATANABE et al., 1997; CLEARWATER et al., 2002; LALL, 2002; SATOH, 2007).

Tabela 3: Digestibilidade aparente de minerais (%) de diferentes ingredientes para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*)

Mineral	Farelo de soja	Zéina de milho	Proteína de farinha de malte
Cobre	77,7	63,6	39,0
Ferro	19,3	26,0	7,9
Manganês	14,6	10	11,4
Zinco	74,1	47,7	38,1

Fonte: Satoh (2007) modificado

A farinha de peixe é uma fonte rica de minerais, além de continuar sendo o principal ingrediente protéico em muitas rações para peixes (SATOH, 2007). Entretanto, devido à estagnação mundial da captura dos peixes pelágicos que são essenciais para a sua produção (TACON; METIAN, 2008), a indústria da aquicultura vem procurando utilizar eventuais substitutos para este ingrediente provindos de subprodutos de origem vegetal. Todavia estes ingredientes geralmente são pobres

em minerais e possuem fatores antinutricionais, que podem reduzir a biodisponibilidade dos minerais, aumentando a exigência do animal cultivado (NRC, 2011). O ácido fítico é um antinutriente abundante em ingredientes vegetais, e quela minerais divalentes, como o zinco e o manganês, formando o fitato em forma insolúvel no lúmen intestinal, conseqüentemente diminuindo a disponibilidade desses minerais durante a digestão (SATO, 2007), além de ser uma forma indisponível de fósforo.

Tradicionalmente a suplementação de minerais traço na dieta é realizada através da inclusão de sais inorgânicos, como carbonatos e sulfatos. Porém estas fontes possuem uma baixa biodisponibilidade devido a sua estrutura química (APINES-AMAR et al., 2004). Houve um aumento do interesse na nutrição de peixes pela utilização de fontes “alternativas” de minerais, como os microminerais quelatados com carboidratos, aminoácidos ou proteínas, por sua maior disponibilidade comparado às fontes inorgânicas (APINES et al., 2003a; SARKER et al., 2007). As estruturas dos quelatados são mais estáveis e possuem um menor peso molecular, promovendo assim uma maior proteção ao micromineral, limitando sua interação com outros componentes da dieta, como inibidores e outros microminerais, durante sua passagem no trato digestório (APINES et al., 2003b; APINES-AMAR et al., 2004).

Paripatanant e Lovell (1997) demonstraram que devido à maior biodisponibilidade dos proteínatos de cobre, ferro, manganês e zinco, é possível utilizar uma menor quantidade dos microminerais na dieta para suprir as exigências quando comparado com as suas fontes inorgânicas sulfatadas, para o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*). Apines-Amar et al. (2004) alimentaram alevinos de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) com fontes inorgânicas e aminoácidos quelatados de cobre, manganês e zinco e observaram que, mesmo quando a dieta foi suplementada com metade da quantidade dos microminerais exigidos, não houve diferença estatística no ganho de peso para o tratamento com quelatados. Nesse mesmo experimento foi observado que ao utilizar-se metade da exigência de microminerais na forma orgânica, houve maior atividade e expressão enzimática do que o tratamento alimentado com o valor total da exigência com fontes inorgânicas, mostrando assim sua maior biodisponibilidade. A inclusão de microminerais quelatados também pode aumentar a absorção e retenção de fósforo e nitrogênio,

conforme relatado para a dourada do Japão (*Pagrus major*) (SARKER et al., 2005; SARKER et al., 2007)

O ambiente aquático sofre influência direta com a descarga de minerais de rações não consumidas, urina e fezes provindos da piscicultura, resultando em um enriquecimento mineral. Elementos traço excretados afetam diretamente a qualidade de água, onde as formas particuladas das excretas possam sedimentar no fundo do tanque ou se acumular no sedimento abaixo dos tanques-rede, impactando as comunidades bentônicas (LALL; MILLEY, 2007). Foi observado que cultivos de salmão do Atlântico (*Salmo salar*) em tanque-rede impactaram o sedimento, aumentando as concentrações de cádmio, cobre e zinco (DEAN et al., 2005).

Estudos avaliando o perfil de microminerais nos tecidos de peixes capturados na natureza e cultivados mostraram que níveis de diferentes elementos traço foram significativamente superiores para peixes cultivados (AUBORG et al., 2007; ALVAREZ et al., 2009; MARTINEZ et al., 2009). Apesar das concentrações de microminerais na carne dos peixes não estar classificadas como prejudiciais para o consumo humano, estes trabalhos sugerem que o suplemento mineral está acima da exigência dos animais e, por consequência, acarreta a produção de efluentes ricos em metais pesados. O aproveitamento máximo dos microminerais é necessário e a utilização de microminerais quelatados se apresenta como uma alternativa, devido à sua alta biodisponibilidade reduzindo sua quantidade na ração e, conseqüentemente a quantidade de elementos traço nos efluentes produzidos (PARITANANONT e LOVELL, 1997). Entretanto, devido ao alto custo das fontes orgânicas em relação às fontes inorgânicas, há uma limitação da sua utilização na aquicultura (NRC, 2011).

As próximas páginas deste trabalho irão abordar os papéis de cada micromineral (Cu, Fe, Mn, Se e Zn) no metabolismo dos peixes, sinais clínicos de deficiência e toxidez, desempenho dos animais quando comparando fontes inorgânicas e orgânicas, e outros trabalhos relevantes que foram realizados para diferentes espécies cultivadas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar uma revisão bibliográfica sobre o suplemento dos cinco microminerais mais utilizados na dieta de peixes.

2.2 Objetivo específico

Facilitar o acesso de dados publicados nos últimos quinze anos sobre microminerais e sua relevância na nutrição de peixes.

3. JUSTIFICATIVA

As pesquisas relacionadas à nutrição na aquicultura são recentes e pouca atenção foi dada à importância dos microminerais na dieta. Com uma ampla diversidade de espécies cultivadas pelo mundo, é necessário que pesquisas sejam realizadas para reconhecer as exigências específicas de cada espécie, em relação aos diversos microminerais essenciais, as consequências das possíveis interações que podem ocorrer com o aumento do uso de ingredientes vegetais e quais as fontes que possuem melhor disponibilidade. Adicionalmente, os microminerais dissolvidos na água oriundos dos resíduos de ração e excretas, provindos das pisciculturas, podem ser considerados poluentes potenciais. Portanto torna-se necessário um maior entendimento sobre a absorção e melhor aproveitamento dos nutrientes da ração para otimizar a produção das criações.

4. METODOLOGIA

Esta revisão foi realizada através de consultas a artigos científicos, livros didáticos, dissertações e teses que abordam microminerais na dieta de peixes. Foram realizadas consultas nos periódicos nos portais “Science Direct”, Periódicos CAPES, ISI “WEB OF KNOWLEDGE”, SCIELO e Google Scholar. O material

utilizado foi recolhido durante os meses de abril a setembro de 2011 e se concentrou em publicações recentes relacionadas a exigências nutricionais, impacto ambiental de metais pesados, comportamento fisiológico de absorção, diferenças entre fontes orgânicas e inorgânicas, e sinais de deficiência e toxidez. Os microminerais pesquisados foram cobre, ferro, manganês, selênio e zinco para a nutrição de peixes emergentes e tradicionais para a indústria da aquicultura.

5. COBRE

Cobre é um micromineral essencial para todos os animais. É um componente vital de uma série de metaloenzimas e suas respectivas funções: como a produção de energia (citocromo c oxidase), proteção de células contra radicais livres (superóxido dismutase), neurotransmissores (dopamina hidroxilase e monooxigenase α -amidante de peptidil glicina), síntese de colágeno (lisil oxidase) e produção de melanina (tirosinase) (LALL, 2002).

Este elemento traço também está relacionado com o metabolismo do ferro, durante a hematopoiese e na sua absorção, sendo a ceruloplasmina, um complexo cobre-proteína, que oxida o ferro para a forma férrica (Fe^{3+}) viabilizando seu transporte para outros tecidos (LOVELL, 1998). A exigência desse mineral depende do estado fisiológico do animal, da quantidade de cobre disponível na água, além dos níveis de zinco, ferro, cádmio e molibdênio na ração, os quais são antagonistas ao cobre (WATANABE et al., 1997).

A concentração de cobre em grãos cereais varia de 5 a 20 mg de Cu/kg e a maioria dos ingredientes protéicos vegetais e animais contém de 5 a 30 mg de Cu/kg (LALL, 2002). Os produtos de soro de leite e produtos de peixe são relativamente ricos em cobre, fornecendo mais de 85 mg de Cu/kg (WATANABE et al., 1997).

Em estudo com o estágio “parr” do salmão do Atlântico, os peixes foram alimentados com ração contendo sulfato de cobre penta hidratado ($\text{CuSO}_4 - 5\text{H}_2\text{O}$) e a exigência para essa espécie foi estimada entre 5 a 10 mg de Cu/kg (LORENTZEN et al., 1998). Nesse mesmo trabalho foi observado que com o aumento da concentração do cobre, havia uma diminuição da concentração de selênio no tecido hepático do animal, confirmando a interação antagônica entre esses minerais durante a sua absorção.

Foi determinada que a inclusão ótima de sulfato de cobre para garoupa (*Epinephelus malabaricus*) está entre 4 a 6 mg/kg de ração, pois os peixes apresentaram maior ganho de peso, maior atividade hepática da enzima cobre-zinco superóxido dismutase e maior atividade plasmática da ceruloplasmina (LIN et al., 2007a). Posteriormente este estudo foi reavaliado visando utilizar o quelatado peptídico de cobre (Alltech Inc.) como principal fonte micromineral e foram adotados os mesmos parâmetros para determinar a exigência, obtendo-se valores inferiores entre 2 a 3 mg de Cu/kg de ração (LIN et al., 2010).

A inclusão de 4,0 mg de Cu/kg, sendo a fonte sulfato de cobre heptahidratado, apresentou um melhor ganho de peso para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (FERRARI et al., 2004). Uma interação benéfica entre o cobre e a montmorilonita, um silicato de alumínio, foi observado por Hu et al. (2007) quando suplementaram na dieta para tilápia do Nilo. O composto mineral apresentou atividade antibacteriana, apresentando uma contagem reduzida de bactérias aeróbicas totais no intestino quando comparada com o tratamento controle. Foi reduzida a quantidade de *Aeromonas*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Enterobacteriaceae*. Houve também uma melhor digestibilidade de proteína, lipídios e minerais, e maior atividade enzimática da protease, amilase, lipase e alcalino-fosfatase (HU et al., 2008). Esta interação também acarretou maior ganho de peso e melhora na fisiologia da mucosa intestinal, aumentando as microvilosidades (HU et al., 2007). Um aumento da atividade da protease ácida no estômago e inibição a atividade da amilase foi observado com a adição de cobre na forma sulfatada para a tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) (LI et al., 2007).

Foi estudado em truta arco-íris que as brânquias são órgãos reguladores da absorção de cobre pela dieta e a captação pelas brânquias podem contribuir em até 60% para a absorção corporal de cobre quando este é deficiente na dieta, porém a absorção pela dieta se mostrou como fonte principal, contribuindo fisiologicamente em até 90% (KAMUNDE et al., 2002a). Foi também demonstrado para truta arco-íris, utilizando raios-X e esferas de chumbo como marcadores inertes na ração, que a absorção do cobre não ocorre apenas no intestino anterior e posterior, mas também no estômago (NADELLA et al., 2006). Já Handy et al. (2000) em estudo com o bagre africano (*Clarias gariepinus*), observaram que a absorção do cobre ocorre em maior parte (70%) no intestino médio e posterior.

Comparando o cloreto de cobre tribásico, complexo cobre-aminoácido (Avalia-Cu 100®, Zinpro Animal Nutrition) e sulfato de cobre para a carpa gibel (*Carassius auratus gibelio*), foi estimada a exigência de 3 a 6 mg de Cu/kg independente da fonte, sendo que o cloreto de cobre tribásico apresentou maior biodisponibilidade, seguido pelo complexo cobre-aminoácido (SHAO et al., 2010). Em juvenis de bagre amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*) níveis de 3 a 4 mg de Cu/kg de sulfato de cobre foram considerados ideais para o crescimento e retenção do mineral (TAN et al., 2011).

5.1. Deficiência e toxicidade do cobre

Em laboratório, a exposição da truta arco-íris durante cinquenta dias a dietas e um ambiente aquático pobres em cobre mostraram que a deficiência pode acarretar em crescimento reduzido e baixa conversão alimentar (KAMUNDE et al., 2002b). Também pode provocar desenvolvimento de catarata, atividade reduzida do citocromo c oxidase e cobre-zinco superóxido dismutase (LALL, 2002).

A maioria das rações e o meio aquático possuem quantidades adequadas de cobre para atender às exigências fisiológicas dos peixes (WATANABE et al., 1997), por isso sinais de deficiência são apresentados apenas sob condições extremas (LALL, 2002). Não foram observadas diferenças no acúmulo de cobre nos tecidos para o “Striped bass” híbrido (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) em água marinha e doce (BIELMYER et al., 2005).

O excesso desse mineral pode causar efeitos nocivos ao organismo, como a intoxicação hepática e formação de complexos insolúveis junto a outros minerais, resultando na sua não absorção (FERRARI et al., 2004). O primeiro sinal clínico de toxidez é a produção de radicais livres no tecido onde o cobre é acumulado (BURY et al., 2003). A alimentação com níveis tóxicos pode causar redução no crescimento, conversão alimentar, danos às brânquias e necrose do fígado e rins (WATANABE et al., 1997).

6. FERRO

Ferro é um elemento essencial para o funcionamento dos órgãos e tecidos para os vertebrados, pois desempenha um papel importante no transporte de oxigênio, e na respiração celular (LIM et al., 2000). É encontrado nos vertebrados principalmente na forma complexa, ligada a proteínas, tais como compostos heme (hemoglobina e mioglobina), enzimas heme (citocromos mitocondriais e microsossomais, catalase, peroxidase, etc) e compostos não heme [transferrina, ferritina e flavoproteínas que contém ferro (ferrodoxina, desidrogenases)] (LALL, 2002). Uma consequência negativa da flexibilidade da atividade redox do ferro é a produção de radicais livres de oxigênio, que são tóxicos na célula. Portanto, o excesso de ferro pode ser prejudicial para saúde do animal (BURY et al., 2003).

Os fatores mais importantes que podem influenciar na absorção do ferro são as proporções do mineral na forma orgânica e inorgânica na ração, a quantidade ingerida e as condições no trato digestório (WATANABE et al., 1997). Bury et al. (2001) concluíram que a forma ferrosa (Fe^{2+}) é mais biodisponível do que a forma férrica (Fe^{3+}) para o linguado europeu (*Platichthys flesus*) e a captação de ferro ocorre maior parte na parte posterior do intestino, do que na parte média e anterior.

O ferro nos ingredientes de origem animal ocorre na forma de porfirina, mioglobina e hemoglobina, nos ingredientes cereais podem ocorrer na forma de fitina. Rações com ingredientes de origem animal, como a farinha de peixe e carne, são fontes ricas de ferro, contendo cerca de 400 a 800 mg de Fe/kg, e cereais contém de 30 a 60 mg de Fe/kg (WATANABE et al., 1997).

A exigência da tilápia híbrida foi estimada por Shiau e Su (2003), baseada nos valores obtidos pelo ganho de peso, concentração de ferro no fígado, concentração de hemoglobina e contagem de hematócritos totais, utilizando duas fontes diferentes de ferro: o citrato férrico e o sulfato de ferro ($FeSO_4$). Foram encontradas a necessidade de se suplementar 150 a 160 mg de Fe/kg e 85 mg de Fe/kg respectivamente, mostrando que a fonte inorgânica tem maior biodisponibilidade para a tilápia híbrida (SHIAU e SU, 2003). A adição de ferro aumenta a atividade da protease ácida e diminui a atividade da amilase no intestino para a tilápia híbrida (LI et al., 2007). A exigência mínima para a manutenção da eritropoiese para a tilápia do Nilo é de 60 mg de Fe/kg (KLEEMAN, 2002 apud FURUYA, 2010, p. 46).

Quando presente em grandes quantidades, o gossipol, um antinutriente presente no farelo de semente de algodão, pode apresentar toxidez para maioria dos animais monogástricos, incluindo os peixes (BARROS et al., 2002), porém a suplementação de ferro na dieta, na forma de sulfato de ferro, pode reduzir seus efeitos tóxicos (EL-SAIDY e GABBER, 2004; LIN e SHIAU, 2009). Um experimento alimentando o salmão "Masu" (*Oncorhynchus masou*) com a adição de citrato de ferro apresentou que a velocidade da explosão natatória, a concentração de hemoglobinas e a concentração de ATP no músculo foram afetadas positivamente com a suplementação (MIZUNO et al., 2007).

Suplementando a ração de juvenis de carpa Gibel com sulfato de ferro constataram que, para uma concentração hepática e de hematócrito ótima, a concentração de ferro na ração não deve ser menor do que 202 mg/kg (PAN et al., 2009). Melhorias nas atividades de tripsina, lipase, α -amilase, Na^+ , K^+ , -ATPase,

alcalinofosfatase e gamaglutamil transpeptidase foram observadas quando aumentaram a concentração de ferro na forma de fumarato de ferro na alimentação de juvenis de carpa Jian (*Cyprinus carpio* Var. Jian), sendo estimada a inclusão ótima de 147 mg de Fe/kg (Ling et al., 2010). Foi estimado que a suplementação de 100 mg de Fe/kg na forma de sulfato ferroso na ração para juvenis de garoupa (*Epinephelus coioides*) seria ideal para suprir sua exigência e proporcionar um maior ganho de peso e retenção hepática do mineral, e menor conversão alimentar (YE et al., 2007).

6.1. Deficiência e toxicidade do ferro

A deficiência em ferro não é um problema comum na piscicultura, pois além das dietas comerciais normalmente conterem quantidades de farinha de peixe ou proteína animal que são ricos em ferro, há também a adição de premix mineral que atinge as exigências dos animais (LIM et al., 2001).

Diversos estudos foram realizados em laboratório para induzir os sintomas causados pela deficiência em ferro, provocando a anemia microcística nos peixes. Esta é caracterizada pela diminuição de hematócritos, hemoglobina, volume corpuscular médio e hemoglobina corpuscular média, falta de apetite, redução no consumo, conversão alimentar, crescimento reduzido e redução da transferrina no sangue (LIM et al., 2000). Com níveis baixos de ferro na ração, houve um aumento da atividade da ferreredutase no intestino de truta arco-íris para manutenção de ferro nos tecidos (CARRIQUIBORDE et al., 2004).

O excesso de ferro dissolvido na água pode causar a formação de flocos de ferro nas brânquias dos peixes resultando na sua obstrução, acarretando perturbações respiratórias (BURY et al., 2003). Animais que consomem dietas com níveis elevados de ferro podem apresentar crescimento reduzido, pior conversão alimentar, rejeição da dieta, mortalidade, danos histopatológicas nas células do fígado (LIM et al., 2001).

Níveis elevados de ferro na ração podem afetar a velocidade de peroxidação dos lipídios e a estabilidade do ácido ascórbico, reduzindo o valor nutritivo da ração e prejudicando fisiologicamente o peixe (WATANABE et al., 1997; LIM et al., 2000; SUTTON et al., 2006).

7. MANGANÊS

É cofator de uma série de enzimas como o superóxido dismutase e aquelas envolvidas na oxidação da glicose, metabolismo de ácidos graxos e aminoácidos (LOVELL, 1997; SATOH et al., 2001) e síntese da uréia a partir da amônia (NRC, 2011). Em animais terrestres é responsável pelo funcionamento normal do cérebro, prevenção de deformidades ósseas e reprodução (SATOH et al., 2001). Arginase, piruvato carboxilase e superóxido dismutase são metaloenzimas que contêm manganês, enquanto quinases, transferases, hidrolases e decarboxilases são enzimas que podem ser ativadas por este micromineral (LALL, 2002). Algumas enzimas são ativadas especificamente pelo manganês, como a glicosiltransferase (WATANABE et al., 1997). Dessa maneira, este micromineral pode influenciar no crescimento e na concentração no corpo do animal (PAN et al., 2008).

Juvenis de tilápias híbridas foram alimentadas com doses crescentes de sulfato de manganês ($MnSO_4$) no intuito de estimar sua exigência. O valor de 7 mg de Mn/kg foi proposto, utilizando-se os parâmetros da atividade da manganês-superóxido dismutase no fígado e retenção do micromineral no corpo do animal (LIN et al., 2008). Pan et al. (2008), também com o intuito de estimar a exigência de juvenis de carpa gibel, utilizaram sulfato de manganês e sugeriram que, para um melhor desempenho de crescimento e deposição do micromineral nos ossos, deve-se utilizar uma concentração de 13,77 mg de Mn/kg. A exigência da garoupa (*Epinephelus coioides*) foi estimada em 15 mg de Mn/kg, utilizando como fonte sulfato de manganês, devido a retenção do mineral no tecido corpóreo e no esqueleto sem prejudicar a concentração de cálcio, fósforo e zinco (YE et al., 2009).

A exigência de manganês para larvas de salmão do atlântico foi estimada entre 7,5 a 10,5 mg de Mn/kg, utilizando sulfato de manganês como principal fonte e foi utilizado como parâmetro o teor de manganês no corpo das larvas (MAAGE et al., 2000). Nesse estudo foi realizado também um desafio com bactérias *Vibrio anguillarum*, e a mortalidade não foi afetada pela suplementação crescente do micromineral na dieta.

Em juvenis de truta arco-íris observou-se que o complexo aminoácido manganês, proporcionou uma maior retenção do micromineral nos tecidos, e se mostrou biodisponível do que o sulfato de manganês, apesar de não proporcionar diferença significativa no crescimento (SATOH et al., 2001).

7.1. Deficiência e toxidez do manganês

Dietas deficientes em manganês podem acarretar em crescimento reduzido, crescimento anormal da cauda, nanismo (LOVELL, 1998), catarata, anormalidades esqueléticas, baixo teor de manganês em ovócitos, baixa taxa de eclosão de ovócitos, atividade reduzida do cobre, Zn-superóxido dismutase e Mn-superóxido dismutase em músculo de coração e fígado (LALL, 2002). Artêmias enriquecidas com manganês e zinco foram utilizadas para alimentação de larvas de dourada do Japão (*Pagrus major*) recém eclodidas e, conferiu um melhor desenvolvimento esquelético quando comparados ao tratamento controle, larvas alimentadas com artêmias sem enriquecimento, que apresentaram deformidades (NGUYEN et al., 2008). Nesse mesmo estudo foi observado que o enriquecimento com zinco e manganês afetou positivamente a sobrevivência dos animais.

Ye et al. (2009) alimentando a garoupa com nível alto de manganês (1000 mg de Mn/kg) não observou sinais prejudiciais, mortalidade e nem redução no crescimento. Era esperado que houvesse influência na absorção de outros microminerais durante a digestão, porém durante a análise no perfil de microminerais da carcaça não houve diferença estatística entre os outros tratamentos (YE et al., 2009). Poucos trabalhos foram realizados avaliando a toxidez do manganês na dieta.

8. SELÊNIO

São conhecidos os efeitos do selênio e seus compostos contra a toxicidade de metais pesados como cádmio e mercúrio (LALL, 2002). Foi observado que a suplementação com fonte orgânica de selênio (SeIPlex® Alltech) para a tilápia do Nilo reduziu o efeito tóxico do cádmio quando os peixes foram mantidos em água com teores elevados de sulfato de cádmio, além da diminuição do resíduo desse elemento traço no corpo do animal (ABDDEL-TAWWAB; WAFEEK, 2010). O bagre africano também alimentado com a mesma fonte orgânica de selênio 0,3 mg de Se/kg apresentou maior desempenho no crescimento, melhor conversão alimentar e desempenho dos parâmetros imunológicos contra a toxidez de cobre (ABDEL-TAWWAB et al., 2007).

O selênio também faz parte da glutathionina peroxidase, que protege as membranas e as células contra danos oxidativos deletérios (LOVELL, 1998; LALL, 2002; LIN et al., 2005 NRC, 2011). O nível do consumo do micromineral regula a atividade da glutathionina peroxidase em eritrócitos, plasma e outros tecidos (LALL, 2002). O selênio também foi identificado como cofator do metabolismo da glicose (LOVELL, 1997).

A exigência da garoupa (*Epinephelus malabaricus*) foi estimada em 0,77 mg de Se/kg utilizando o complexo selenometionina e apenas utilizando o crescimento e retenção de selênio como parâmetro, uma vez que a atividade da glutathionina peroxidase aumentou até o nível máximo de inclusão do micromineral (LIN et al., 2005). Lin e Shiau (2007b) realizaram outro experimento analisando o efeito da adição crescente do selênio (selenometionina) e decrescente do cobre (Sulfato de cobre) na dieta da garoupa. Nesse estudo foi observado que parâmetros como atividade respiratória, atividade lisossomal e concentração total de hemoglobina aumentaram, sugerindo que o selênio ajuda a impedir o estresse oxidativo do peixe.

Duas fontes diferentes de selênio foram avaliadas: a selenometionina e selênio nanoparticulado, para carpa gibel e para os dois tratamentos foram observados: ganho de peso, atividade da glutathionina peroxidase e retenção do micromineral superiores ao tratamento controle alimentado com dieta basal (ZHOU et al., 2009).

Em um experimento com carpa comum, foram avaliadas as respostas dos antioxidantes no fígado e rim para a adição de selênio 1,0 mg de Se/kg, e dieta controle possuindo 0,25 mg de Se/kg. Foi apresentado que a acumulação de selênio e atividade dos antioxidantes foram maiores no fígado do que no rim (ELIA et al., 2011).

A exigência e disponibilidade do complexo selenometionina, levedura selenizada e selenito de sódio (Na_2SeO_3) foram avaliadas para o bagre do canal. Para um maior ganho de peso as fontes orgânicas, selenometionina e levedura selenizada, foram exigidas em 0,09 e 0,11 mg de Se/kg respectivamente, e 0,28 mg de Se/kg para o selenito de sódio (WANG; LOVELL, 1997). Nesse mesmo estudo, para uma maior atividade de glutathionina peroxidase foi estimada uma concentração de 0,17 mg de Se/kg para o selenito de sódio e 0,12 mg de Se/kg para a selenometionina e levedura selenizada. O complexo selenometionina (Sigma-Aldrich Corp.) se mostrou três vezes mais biodisponível do que o selenito de sódio para o

“Striped Bass” híbrido, utilizando a retenção do micromineral no corpo do animal como parâmetro (JARAMILLO JR. et al., 2009).

A glutathiona peroxidase age junto à vitamina E para proteger fosfolipídios poliinsaturados nas membranas, celular e subcelular de danos peroxidativos (NRC, 2011). Também foi visto que há a interação desses dois nutrientes para a garoupa, o fornecimento de uma dieta com concentração alta de selênio, poupa a exigência metabólica de vitamina E (LIN et al., 2009).

8.1. Deficiência e toxicidade do selênio

A deficiência em selênio normalmente resulta em redução no crescimento e da atividade da glutathiona peroxidase (NRC, 2011).

Entretanto níveis elevados de selênio na dieta podem ter efeito tóxico, resultando em uma redução no crescimento, eficiência alimentar e aumento na mortalidade (WATANABE et al., 1997). O “Striped bass” híbrido apresentou redução de crescimento, menor consumo, eficiência alimentar e mortalidade quando alimentados com ração utilizando selenito de sódio como principal fonte, com um teor de 20 mg de Se/kg (JARAMILLO JR. et al., 2009).

9. ZINCO

O zinco participa como componente ativo ou cofator de importantes sistemas enzimáticos e é componente essencial para um grande número de metaloenzimas: a anidrase carbônica, carboxipeptidase A e B, álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, D-gliceraldeído 3 fosfato desidrogenase, lactato desidrogenase, malato desidrogenase, alcalino fosfatase, superóxido dismutase e DNA polimerase (LIM, 2001 et al.; HISANO et al., 2004; NRC, 2011). Assim, este micromineral regula muitos processos, tais como o metabolismo de carboidratos, proteína e lipídios (LALL, 2002). Ele também pode ter participação na estruturação de nucleoproteínas, no metabolismo de prostaglandinas e na armazenagem de insulina na forma complexada com zinco (WATANABE et al., 1997; LALL, 2002). A exigência de zinco varia entre as espécies cultivadas em função da idade, estágio de crescimento, estação do ano e ciclo reprodutivo (CARPENE et al., 2003). A farinha de peixe

contém cerca de 80 a 100 mg de Zn/kg, concentrados protéicos vegetais possuem de 40 a 80 mg de Zn/kg, cereais possuem de 15 a 30 mg de Zn/kg (WATANABE et al., 1997).

O zinco é indisponível nos ingredientes vegetais para os peixes. Isso se deve à complexação do zinco com fatores antinutricionais presentes nesses alimentos, principalmente com o ácido fítico (BARROS et al., 2004). Peixes e outros animais monogástricos não possuem atividade suficiente de fitase, enzima responsável para a hidrólise do fitato. Portanto, mesmo que a dieta contenha concentração de zinco endógena igual ou superior à quantidade exigida, é necessária uma suplementação de fonte de zinco nas rações com ingredientes de origem vegetal ricos em fitato (DO CARMO E SÁ et al., 2004).

A exigência da tilápia do Nilo, em dietas práticas contendo apenas ingredientes vegetais, foi estimada em 79,5 mg de Zn/kg, utilizando como fonte o sulfato de zinco ($ZnSO_4$) (DO CARMO E SÁ et al., 2004). Este valor é 265% superior ao descrito pelo NRC (2011), devido à concentração de fitato na ração. Não foi encontrada diferença significativa no ganho em peso e na composição bromatológica da tilápia do Nilo alimentada com óxido de zinco (ZnO) e complexo zinco-aminoácido (BARROS et al., 2004). E também não foi encontrada diferença significativa na digestibilidade entre a suplementação de sulfato de zinco e o complexo zinco-aminoácido para a tilápia do Nilo, concluindo que as absorções dessas fontes são equivalentes (DO CARMO E SÁ et al., 2005a). Não foi encontrada diferença entre a utilização de óxido de zinco, sulfato de zinco e complexo zinco-aminoácido para alevinos de tilápia do Nilo em dietas purificadas (DO CARMO E SÁ et al., 2005b). Foi verificado que a atividade enzimática *in vitro* da protease ácida do estômago aumenta com adição de zinco para a tilápia híbrida (LI et al., 2007). A suplementação de zinco não afetou os parâmetros hematológicos para tilápia do Nilo (HISANO, 2007).

O robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) alimentado com fonte orgânica (Zn-Bioplex® Alltech) e foi estimado que o nível de suplementação ótima na dieta seria 148 mg de Zn/kg para esta espécie, utilizando o nível de retenção do mineral no epitélio foi analisado. Foi observado também que não houve acúmulo do micromineral no músculo, mas apenas na pele e no fígado. Isto pode sugerir que a suplementação do zinco agiria de forma benéfica contra infecções por mixobactérias (FOUNTOULAKI et al., 2004).

Para estimar a exigência de juvenis de bagre amarelo doses crescentes de sulfato de zinco foram utilizadas na sua alimentação (LUO et al., 2011). Nesse estudo foram encontrados valores de 17 a 20,8 mg de Zn/kg, utilizando taxa de crescimento específico e taxa de eficiência protéica como parâmetros. As enzimas (lipoproteína lipase, lipase hepática e superóxido dismutase) apresentaram maior atividade e o nível de malondialdeído diminuiu, sugerindo que a suplementação de zinco na dieta também pode influenciar na atividade antioxidante no animal (LUO et al., 2011).

O proteinato de zinco e o sulfato de zinco foram testados para o “Striped Bass” híbrido, sendo que 17 mg de Zn/kg é o nível ideal para manter as performances ótimas do animal, utilizando a quantidade de zinco presente na linfa e estocada nas espinhas para a avaliação (BUENTELLO et al., 2009). A fonte de proteinada de zinco se mostrou 1,7 vezes mais disponível que a fonte inorgânica. Em contrapartida, também para o “Striped Bass” híbrido, duas fontes diferentes foram testadas, o produto comercial (Mintrex®, Novus International) que é fonte de metionina complexada com zinco e o sulfato de zinco, e não foi encontrada diferença significativa na deposição do micromineral nas escamas e espinhas, no entanto os peixes alimentados com zinco sulfatado apresentaram uma maior concentração do elemento traço na linfa (SAVOLAIIDEN; GATLIN III, 2010).

Alevinos de truta arco-íris cuja dieta foi suplementada com sulfato de zinco, complexo zinco-metionina e complexo zinco-aminoácido (Ami-plus Zn^R, Eisai Co.) apresentaram uma maior atividade da alcalino-fosfatase e uma maior absorção e retenção corporal do micromineral quando alimentadas com o complexo zinco-aminoácido (APINES et al., 2001). Picolinato de zinco foi avaliado na dieta da truta arco-íris com doses crescentes e foi observado que essa fonte não afetou a absorção de cobre e manganês, sugerindo que o picolinato de zinco não compete por sítios ativos durante a absorção. O gluconato de zinco e o sulfato de zinco possuem a mesma eficiência nutricional para o salmão do atlântico (MAAGE et al., 2000a).

Paritatanont e Lovell (1995), comparando o aproveitamento de fontes inorgânicas e orgânicas para o bagre do canal concluíram que a exigência em zinco quando o sulfato de zinco heptahidratado (19,91 mg de Zn/kg) foi utilizado foi três vezes maior quando comparado o complexo zinco metionina (6,58 mg de Zn/kg). Em contraste, Li e Robinson (1996) não encontraram diferença na biodisponibilidade de

fonte sulfatada de zinco e o complexo zinco metionina também para bagre do canal. Entretanto enaltece-se que o primeiro experimento foi conduzido com ingredientes semi-purificados e de origem vegetal e o segundo utilizou proteína de origem animal.

9.1. Deficiência e toxicidade do zinco

A deficiência de zinco está associada a um maior tempo de cicatrização de feridas (FOUNTOLAKI et al., 2010). Redução no desempenho, pior conversão alimentar e baixa taxa de eficiência protéica foram observados no bagre amarelo alimentado com dieta deficiente em zinco (LUO et al., 2011). Redução no crescimento foi observada em tilápias alimentadas com dietas com baixo teor de zinco (1 mg de Zn/kg) (DO CARMO E SÁ et al., 2004). A deficiência em zinco também pode acarretar em redução de apetite, catarata, erosão na pele e nadadeiras, baixa produtividade de gametas e taxa de eclosão, nanismo e mortalidade (LALL, 2002).

Já o fornecimento de doses excessivas de zinco pode ocasionar em interações antagônicas com outros elementos-traço que podem competir por um mesmo sítio de ligação, podendo assim ocasionar sua deficiência (SIGNOR, 2007).

10. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Apesar dos peixes possuírem a capacidade de absorver microminerais dissolvidos na água, a principal via de absorção é através da dieta. Tendo em vista que o maior objetivo na formulação de ração é a maximização da produção com o menor preço possível (HARDY, 2002), a suplementação devida de microminerais se mostra benéfica para a produção de peixes na aquicultura.

No entanto, com a procura constante por ingredientes alternativos à farinha de peixe, os principais candidatos são os subprodutos da agricultura. Estes ingredientes vegetais possuem fatores antinutricionais, que podem influenciar na quantidade de microminerais que deve ser utilizada na composição de ração, havendo a necessidade de aumentar sua inclusão.

A fonte do micromineral utilizada também pode influenciar na biodisponibilidade para o animal. Fontes quelatadas vêm sendo utilizadas devido a

um melhor aproveitamento do animal e menor influência de fatores antinutricionais. Entretanto, sua suplementação na ração apresentou respostas conflitantes nas variadas espécies de peixes. Estudos mostraram que a inclusão dos microminerais quelatados para a tilápia, por exemplo, não apresentou diferença, ou até foram observados valores inferiores de aproveitamento, quando comparados com fontes inorgânicas.

Poucos estudos foram realizados no Brasil sobre microminerais em peixes, e nenhuma pesquisa foi encontrada para espécies nativas. Mostra-se necessário a realização de pesquisas em nutrição mineral com maior duração para melhor compreensão dos benefícios zootécnicos e impactos ambientais gerados, e estudos para avaliar a viabilidade econômica da utilização de fontes quelatadas para as diferentes espécies cultivadas.

11. REFERÊNCIAS

ABDEL-TAWWAB, M., MOUSA, M.A.A., ABBASS, F.E.. Growth performance and physiological response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.) fed organic selenium prior to the exposure to environmental copper toxicity. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 272, p. 335-345, 2007

ABDEL-TAWWAB, M., WAFEEK, M.. Response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) to environmental cadmium toxicity during organic selenium supplementation. **Journal of The World Aquaculture Society**, v. 41, n. 1, p. 106-114, 2010.

ALVAREZ, V., MEDINA, I., PREGO, R., AUBORD, S.. Lipid and mineral distribution in different zones of farmed and wild blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.111, n. 10, p. 957-966, 2009.

APINES, M.J., SATOH, S., KIRON, V., WATANABE, T., NASU, N., FUJITA, S.. Bioavailability of amino acid chelated and glass-embedded zinc to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v.7, p. 221-228, 2001.

APINES, M.J.S., SATOH, S., KIRON, V., WATANABE, T., FUJITA, S.. Bioavailability and tissue distribution of amino acid-chelated trace elements in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Fisheries Science**, v. 69, p. 722-730, 2003a.

APINES, M.J.S., SATOH, S., KIRON, V., WATANABE, T., AOKI, T.. Availability of supplemental amino acid-chelated trace elements in diets containing tricalcium phosphate and phytate to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, Amsterdam, n. 225, p.431-444, 2003b.

APINES-AMAR, M.J.S., SATOH, S., CAIPANG, C.M.A., KIRON, V., WATANABE, T., AOKI, T.. Amino acid-chelated: a better source of Zn, Mn and Cu for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 240, p.345-358, 2004.

AUBORG, S.P., LOSADA, V., PREGO, R.. Distribution of lipids and trace minerals in different muscle sites of farmed and wild turbot (*Psetta maxima*). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, p.1456-1464, 2007.

BARROS, M.M., LIM, C., KLESIUS, P.H.. Effect of soybean meal replacement by cottonseed meal and iron supplementation on growth, immune response and resistance of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge. **Aquaculture**, v. 207, p. 263-279, 2002.

BARROS, M.M., PEZZATO, L.E., MIRANDA, E.C. SÁ, M.V.C., SAMPAIO, F.G.. Complexo zinco aminoácido em dietas práticas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Animal Scientiarum Animal Sciences**, v. 26, n. 4, p. 437-441, 2004.

BIELMYER, G., GATLIN, D., ISELY, J.J., TOMASSO, J., KLAINÉ, S.J.. Responses of hybrid striped bass to waterborne and dietary copper in freshwater and saltwater. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part C**, v. 140, p. 131-137, 2005.

BUENTELLO, J.A., GOFF, J.B., GATTLIN III, D.M.. Dietary zinc requirement of hybrid striped bass, *Morone chrysops* x *Morone saxatilis*, and Bioavailability of two chemical different zinc compounds. **Journal of World Aquaculture Society**, v. 40, n. 5, p. 687-693, 2009.

BURY, N.R. GROSSEL, M., WOOD, C.M., HOGSTRAND, C., WILSON, R.W., RANKIN, J.C., BUSK, M., LECKLIN, T., JENSEN, F.B.. Intestinal iron uptake in the European flounder (*Platyctys flesus*). **The Journal of Experimental biology**, n. 204, p.3779-3787, 2001.

BURY, N.R., WALKER, P.A., GLOVER, C.N.. Nutritive metal uptake by teleost fish. **The Journal Of Experimental Biology**, v.206, p.11-23, 2003.

CARPENE, E., ANDREANI, G., MORANI, M., KINDT, M., ISANI, G.. Biochemical changes during Post-larval growth in white muscle of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed Zinc-fortified diets. **Veterinary Research Communications**, Netherlands, v. 27, p. 215-218, 2003.

CARRQUIBORDE, P., HANDY, R.D., DAVIES, S.J.. Physiological modulation of iron metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low and high iron diets. **The Journal of Experimental Biology**, v. 207, p.75-86, 2004.

CLEARWATER S.J., FARAG, A.M., MEYER, J.S.. Bioavailability and toxicity of dietborne copper and zinc to fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C**, v. 132, p. 269-313, 2002.

DEAN, R.J., TRACY, M.S., KENNETH, D.B.. Copper, zinc and cadmium in marine cage fish farm sediments: An extensive survey. **Environmental pollution**, n. 145, p.84-97, 2007.

DAVIS, D.A., GATTLIN III, D.M.. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. **Reviews in Fisheries Science**, v.4, p. 75-99, 1996.

DO CARMO E SÁ, M.V., PEZZATO, L.E., BARROS, M.M., PADILHA, P.M.. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juvenile diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 238, p.385-401, 2004.

DO CARMO E SÁ, M.V., PEZZATO, L.E., BARROS, M.M., PADILHA, P.M.. Apparent absorption of zinc from supplemental inorganic and organic sources to Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 26, n. 3, p. 375-383, 2005a.

DO CARMO E SÁ, M.V., PEZZATO, L.E., BARROS, M.M., PADILHA, P.M.. Relative bioavailability of zinc supplemental inorganic and organic sources for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 11, p. 273-281, 2005b.

EL-SAIDY, D.M.S., GABER, M.M.. Use of cottonseed meal supplemented with iron for detoxification of gossypol as a total replacement of fish meal in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. **Aquaculture Research**, v.35, p. 859-865, 2004.

ELIA, A.C., PREARO, M., PACINI, N., DORR, A.J.M., ABETE, M.C.. Effects of selenium diets on growth, accumulation and antioxidant response in juvenile carp. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, p. 166-173, 2011.

FERRARI, J.E.C., BARROS, M.M., PEZZATO, L.E., GONÇALVES, G.S., HISANO, H., KLEEMAN, G.K.. Níveis de cobre para a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 26, n. 4, p.429-436, 2004.

FURUYA, F.M.. **Tabelas Brasileiras para nutrição de tilápias**. Toledo: Gráfica & Editora, 2010. 100 p.

FOUNTOLAKI, E., MORGANE, H., RIGOS, G., ANTIGONI, V., MENTE, E., SWEETMAN, J., NENGAS, I.. Evaluation of zinc supplementation in Europe sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juvenile diets. **Aquaculture Research**, v.41, p.208-216, 2010.

GATTLIN III, D.M.. Principles of fish nutrition. **Souther Regional Aquaculture Center**, Texas, n. 5003, p.1-8, July 2010.

GONÇALVES, G.S., PEZZATO, L.E., BARROS, M.M., KLEEMAN, G.K., ROCHA, D.F.. Efeitos da suplementação da fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe em alimentos vegetais para Tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p.2155-2163, 2005.

HANDY, R.D., MUSONDA, M.M., PHILLIPS, C., FALLA, S.J.. Mechanisms of gastrointestinal copper absorption in the African walking catfish: copper dose-effect and a novel anion-dependent pathway in the intestine. **The Journal of Experimental Biology**, Great Britain, v. 230, p. 2365-2377, 2000.

HARDY, R.W., BARROWS, F.T.. Diet Formulation and Manufacture. In: HALVER, John E.; HARDY, Ronald W.. **Fish Nutrition** Third Edition Washington: Academic Press, 2002. p. 506-596.

HISANO, H. PEZZATO, L.E., BARROS, M.M., FREIRE, E.S., GONÇALVES, G.S., FERRARI, J.E.C.. Zinco e levedura desidratada de álcool como pró-nutrientes para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Animal Scietirarum Animal Sciences**, v. 26, n. 2, p. 171-179, 2004.

HISANO, H., BARROS, M.M., PEZZATO, L.E.. Levedura e zinco como pró-nutrientes em rações para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): Aspectos hematológicos. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 33, p. 35-42, 2007.

HU, C.H., XU, Y., XIA, M.S. XIONG, L., XU., Z.R.. Effect of Cu²⁺ -exchanged montmorillonite on intestinal microflora, digestibility and digestive enzyme activities of Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, p.281-288, 2008.

HU, C.H., XU, Y., XIA, M.S. XIONG, L., XU., Z.R.. Effect of Cu²⁺ - exchanged montmorillonite on growth performance, microbial ecology and intestine morphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdan, v. 270, p. 200-206, 2007

JARAMILLO JR., F., PENG, L., GATLIN III, D.M.. Selenium nutrition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) bioavailability, toxicity and interactions with vitamin E. **Aquaculture Nutrition**, v.15, p. 160-165, 2009.

JOBLING, M.. Feed Composition and Analysis. In: HOULIHAN, D., BOUJARD, T., JOBLING, M.. **Food Intake In fish**, Oxford-UK, Blackwell-Science, 2001. p.1-21.

KAMUNDE, C., GROSELL, M., HIGGS, D., WOOD, C.M.. Copper metabolism in actively growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): interactions between dietary and waterborne copper uptake. **The Journal Of Experimental Biology**, Great Britain, v.205, p. 279-290, 2002a.

KAMUNDE, C., CLAYTON, C., WOOD, C.M.. Waterborne vs. dietary copper uptake in rainbow trout and the effects of previous waterborne copper exposure. **American**

Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, v. 283, p. 69-78, 2002b.

KLEEMANN, G.K.. Exigência nutricional de ferro da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*. In: FURUYA, W.M.. **Tabelas Brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: Gráfica & Editora, 2010. 100 p.

KUCUKBAY, Z., YAZLAK, H., SAHIN, N., TUZCU, M., CAKMAK, M.N., GUORDOGAN, F., JUTURU, V., SAHIN, K.. Zinc picolinate supplementation decreases oxidative stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 257, p. 465-469, 2006.

LALL, S.P.. The Minerals. In: HALVER, John E.; HARDY, Ronald W.. **Fish Nutrition** Third Edition Washington: Academic Press, 2002. p. 260-300.

LALL, Santosh P.; MILLEY, J. E.. Impact of aquaculture on aquatic environment: trace minerals discharge. In: SCHLEGEL, P.; DUROSOY, S.; JONGBLOED, A. W.. **Trace elements in animal production**. Dordrecht: Wageningen Academic Publishers, 2007. p. 77-87.

LI, M.H., ROBINSON, E.H.. Comparison of chelated zinc and zinc sulfate as zinc sources for growth and bone mineralization of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 146, p. 237-243, 1996.

LI, J.-S., LI, J.-L, WU, T.-T. The effects of copper, iron and zinc on digestive enzyme activity in the hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) x *Oreochromis aureus* (Steindachner). **Journal of Fish Biology**, v. 71, p. 1788-1798, 2007.

LIM, C., KLESIUS, P.H., LI, M.H., ROBINSON, E.H.. Interaction between dietary levels of iron and vitamin C on growth, hematology, immune response and resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge. **Aquaculture**, Amsterdam, v.185, p. 313-327, 2000.

LIM, C.; KLESIUS, P.H.; WEBSTER, C.D.. The role of dietary phosphorus, zinc, and selenium in fish health. In: LIM, Chhorn; WEBSTER, Carl D.. **Nutrition and Fish health**. New York: Food Products Press, 2001. p. 201-212.

LIN, S.-J., LEE, K.-J.. Partial replacement of fish meal by cottonseed meal and soybean meal with iron and phytase supplementation for parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 290, p. 283-289, 2009.

LIN, Y.-H., SHIAU, S.-Y.. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 250, p. 356-363, 2005.

LIN, Y.-H., SHIE, Y.; SHIAU, S.-Y.. Dietary copper requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 274, p.161-165, 2007a.

LIN. Y.-H., SHIAU, S.-Y.. The effect of dietary selenium on the oxidative stress of grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed high copper. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 267, p. 38-43, 2007b.

LIN, Y.-H., LIN, S.-M., SHIAU, S.-Y.. Dietary manganese requirements of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 284, p. 207-210, 2008.

LIN, -Y., SHIAU, S.-Y.. Mutual sparing of dietary requirements for alpha-tocopherol and selenium in grouper, *Epinephelus malabaricus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 294, p. 242-245, 2009.

LIN, Y.-H.; et al.. Dietary copper requirement reevaluation for juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, with an organic copper source. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 310, p.173-177, 2010.

LING, J., LIU, Y., JIANG, J., JIANG, W.-D., HU, K., LI, S.-H., ZHOU, X.-Q.. Effect of dietary iron levels on growth, body composition and intestinal enzyme activities of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture Nutrition**, v. 16, p.616-624, 2010.

LORENTZEN, M., MAAGE, A., JULSHMAMN, K.. Supplementing copper to a fish meal based diet fed to Atlantic salmon parr affects liver copper and selenium concentrations. **Aquaculture nutrition**, v.4, p.67-72, 1998.

LOVELL, T.. Dietary Requirements. In: **Nutrition and feeding of fish**. 2. ed. Auburn: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 61-68.

LUO, Z., TAN, X.-Y., ZHENG, J.-L., CHEN, Q.-L., LIU, C.-X.. Quantitive dietary zinc requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*, and effects on hepatic intermediary metabolism and antioxidant responses. **Aquaculture**, Amsterdam, v.319, p.150-155, 2011.

MAAGE, A., JULSHMAN, K., BERGE, G.E.. Zinc gluconate and zinc sulphate as dietary zinc sources for Atlantic salmon. **Aquaculture Nutrition**, v. 7, p. 183-187, 2000a.

MAAGE, A., LYGREN, B., EL-MOWAFI, A.F.. Manganese requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. **Fisheries Science**, v. 66, p. 1-8, 2000b.

MARTÍNEZ, B., MIRANDA, J.M., NEBOT, C., RODRIGUEZ, J.L., CAPEDA, A., FRANCO, C.M.. Differentiation of farmed and wild turbot (*Psetta máxima*): proximate chemical composition, fatty acid profile, trace minerals and antimicrobial resistance of contaminant bacteria. **Food Science and Technology International**, v. 16, p.435-441, 2010.

MCDOWELL, L.R.. **Minerals in animal nutrition**. Second Edition Amsterdam: Elsevier Science B. V. 2003. p. 614.

MIZUNO, S., MISAKA, N., ANDO, D., TORAO, M., URABE, H., KITAMURA, T.. Effect of diets supplemented with iron citrate on some physiological parameters and on burst swimming velocity in smoltifying hatchery-reared masu salmon (*Oncorhynchus masou*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.273, p. 284-297, 2007.

NADELLA, S.R., BUCKING, C., GROSSEL, M., WOOD, C.M.. Gastrointestinal assimilation of Cu during digestion of a single meal in the freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Comparative biochemistry and physiology**, v. 143, p. 394-401, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirement of fish and shrimp**. Washington: National Academic Press, 2011. p.164-184.

NGUYEN, V.T., SATOH, S., HAGA, Y., FUSHIMI, H., KOTANI, T.. Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 285, p. 184-192, 2008.

PAN, L., ZHU, X., XIE, S., LEI, D., HAN, D., YANG, Y.. Effects of dietary manganese on growth and tissue manganese concentrations of juvenile gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 14, p. 459-463, 2008.

PAN, L., XIE, S., ZHU, X., LEI, W., HAN, D., YANG, Y.. The effect of different dietary iron levels on growth and hepatic iron concentration on juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 25, n. 4, p. 428-431, 2009.

PARITANANONT, T., LOVELL, R.T.. Chelated zinc reduces the dietary zinc requirement of channel catfish *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.133, p.73-82, 1995.

PARITANANONT, T.; LOVELL, R.T.. Comparative net absorption of chelated and inorganic trace minerals in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets. **Journal Of World Aquaculture Society**, v. 28, n. 1, p.62-67, 1997.

ROBERTS, R.J. Nutritional Pathology. In: HALVER, John E.; HARDY, Ronald W.. **Fish Nutrition** Third Edition Washington: Academic Press, 2002. p. 454-500.

SANZ, F. (Org.). **La nutrición y alimentación en piscicultura**. Madrid: Fundación Observatorio Español de Acuicultura, 2009.

SARKER, S.A., SATOH, S., KIRON, V.. Supplementation of citric acid and amino acid-chelated trace element to develop environment-friendly feed for red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 248, p. 3-11. 2005.

SARKER, S.A., SATOH, S., KIRON, V.. Inclusion of citric acid and/or amino acid-chelated trace elements in alternate plant protein source diets affects growth and excretion of nitrogen and phosphorus in red sea bream *Pagrus major*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.262, p. 436-443, 2007.

SATOH, S., TSUKIOKA, T., KIRON, V., WATANABE, T., FUJITA, S.. Bioavailability of amino acid-chelated and glass-embedded manganese to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fingerlings. **Aquaculture Research**, v. 32 p. 18-25, 2001.

SATOH, S.. Minerals. In: NAKAGAWA, H.; SATO, M., GATTLIN III D.M.. **Dietary Supplements for the Health and Quality of Cultured Fish**. Wallingford: Cabi, 2007. p. 75-83.

SAVOLAJDEN, L.C., GATLIN III, D.M.. Evaluation of sulfur amino acid and zinc supplements to soybean-meal-based diets for hybrid striped bass. **Aquaculture**, Amsterdam, v.307, p. 260-265, 2010.

SHAO, X.-P., LIU, W.-B., XU, W.-N., LU, K.-L., XIA, W., JIANG, Y.-Y.. Effect of dietary copper sources and levels on performance, copper status, plasma antioxidant activities and relative copper bioavailability in *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 308, p. 60-65, 2010.

SHIAU, S.-Y., SU, L.-W.. Ferric citrate is half as effective as ferrous sulfate in meeting the iron requirement of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **Journal of nutrition**, v.133, p. 483-488, 2003.

SIGNOR, Altevir. **Desempenho produtivo e resistência ao estresse pelo frio da tilápia do Nilo alimentada com dietas suplementadas com levedura autolisada e zinco**. 2007. 113 f. Dissertação de mestrado (Mestrado) – Caunesp, Jaboticabal, 2006.

SUTTON, J., SHANNON, B., HIGGS, D., HUANG, C.-H., SKURA, B.. Impact of iron-catalyzed dietary lipid peroxidation on growth performance, general health and flesh proximate and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in seawater. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 257, p.534-557, 2006.

TACON, A.G.J.; METIAN, M.. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 285, p.146-158, 2008.

TAN, X.-Y., LUO, Z., LIU, X., XIE, C.-X.. Dietary copper requirement of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 170-176, 2011.

TRUSHENSKI, J.; KASPER, C.; KOHLER, C.. Challenge and oportunities in finfish nutrition. **North American Journal Of Aquaculture**, London, p. 122-140. 21 Mar. 2006.

WANG, C., LOVELL, R.T.. Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than inorganic selenium source, sodium selenite in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v. 152, p. 223-234, 1996.

WATANABE, T.; KIRON, V.; SATOH, S.. Trace minerals in fish nutrition. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 151, p.185-207, 1997.

YE, C.-X., LIU, Y.-J., MAI, K.-S., TIAN, L.-X., YANG, H.-J., NIU, J., HUANG, J.-W.. Effect of dietary iron supplement on growth, haematology and microelements of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. **Aquaculture Nutrition**, v.13, p. 471-477, 2007

YE, C.-X., TIAN, L.-X., YANG, H.-J., LIANG, J.-J., NIU, J., LIU, Y.-J.. Growth performance and tissue mineral content of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*)

fed diet supplemented with various levels of manganese. **Aquaculture Nutrition**, v.15, p. 608-614, 2009.

ZHOU, X., WANG, Y., Gu, Q., Li, W.. Effect of different dietary selenium source (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 291, p.78-81, 2009.

12. Anexos:

Tabela 4: Exigência micromineral

Mineral	Espécie	Suplementação recomendada (mg/kg de ração)	Condições de cultivo	Ano da pesquisa
Cobre	Bagre do canal (<i>Ictalurus punctatus</i>)	1,5 e 5	AD	1981 e 1986
	Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>)	3	AD	1980
	Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	3 - 3,5	AD	1980 e 1988
	Salmão do atlântico (<i>Salmo salar</i>)	5 - 10 (como suplemento)	AD	1998
	Tilápia híbrida (<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O. aureus</i>)	4	AD	2003
	Bagre amarelo (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	3 - 4	AD	2011
	Garoupa (<i>Epinephelus malabaricus</i>)	4 - 6	AS	2008
	Ferro	Carpa comum var. Jian (<i>Cyprinus carpio</i> Var. Jian)	147	AD
Carpa Gibel (<i>Carassius auratus gibel</i>)		202	AD	2009
(<i>Ictalurus punctatus</i>)		30	AD	1986
(<i>Cyprinus carpio</i>)		150 e 199	AD	1998 e 1978
Dourada do Japão (<i>Pagrus major</i>)		150 e 199	AS	1976 e 1978
Enguia japonesa (<i>Anguilla japonica</i>)		170	AS	1976
Garoupa (<i>Epinephelus coioides</i>)		100	AS	2007
Olhete (<i>Seriola quinqueradiata</i>)		60 - 160	AS	2007
Manganês	(<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O. aureus</i>)	85	AD	2003
	(<i>Ictalurus punctatus</i>)	2,4 e 2 - 3	AD	1984 e 2007
	(<i>Cyprinus carpio</i>)	12 - 13	AD	1980
	(<i>Carassius auratus gibel</i>)	13	AD	2008
	(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	12 - 13	AD	1980
	(<i>Epinephelus coioides</i>)	15	AS	2009
	Tilápia de moçambique (<i>Oreochromis mossambica</i>)	1,7	AD	1968
	(<i>Oreochromis sp.</i>)	12	AD	2002 e 2007
(<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O. aureus</i>)	7	AD	2008	
(<i>Salmo salar</i>)	7,5 - 10,5	AD	2000	

Mineral	Espécie	Suplementação recomendada (mg/kg de ração)	Condições de cultivo	Ano da pesquisa	
Selênio	Bagre africano (<i>Clarias gariepinus</i>)	0,3	AD	2007	
	(<i>Ictalurus punctatus</i>)	0,25	AD; vit. E adequada	1984	
	(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	0,15 - 0,38	AD; (0,4 µg Se/L); vit. E adequada	1980	
		0,07	Preveniu toxidez evidente		
		3	Pode causar toxidez	1976	
		13	Tóxico		
	(<i>Anguilla japonica</i>)	0,3 - 0,5	AS	2007	
	(<i>Epinephelus malabaricus</i>)	0,7	AS	2005	
	Zinco	(<i>Ictalurus punctatus</i>)	20	AD (25 µg Zn/L)	1983
			150	AD; 1,1% de fitato	1984
(<i>Cyprinus carpio</i>)		15 - 30	AD (10 µg Zn/L)	1979	
(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)		15 - 30	AD (11 µg Zn/L)	1978	
		20 - 40	AD		
		40	4% de tricálcio fosfato	1987	
		80	7% de tricálcio fosfato		
"Striped Bass" híbrido (<i>Morone saxatilis x M. chrysops</i>)		17		2009	
(<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)		17 - 20		2011	
Robalo europeu (<i>Dicentrarchus labrax</i>)		148		2004	
Tilápia Azul (<i>Oreochromis aureus</i>)		20	AD (4 µg Zn/L)	1988	
Corvinão-de-pintas (<i>Sciaenops ocellatus</i>)		20	ASL (6‰)	1991	
(<i>Anguilla japonica</i>)		80 - 100	AS	2007	
Tilápia do nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)		30 e 20	AD	1994 e 1998	
(<i>Oreochromis niloticus x O. aureus</i>)		26 - 29	AD	2008	

Fonte: LOVELL 1998, LIM 2001, LALL 2002, SATOH 2007 e NRC 2011 modificados. AD: água doce, AS: água salgada, ASL: água salobra

Tabela 4: Diferentes fontes minerais e informações dos experimentos analisados

Nome comum e espécie	Fonte do mineral	Tempo de duração do experimento (dias)	Peso inicial (g)	Referência
Bagre Africano (<i>Clarias gariepinus</i>)	Selênio orgânico (Sel-Plex®)	84	68,7 ± 2.3 g	ABDEL-TAWWAB et al. (2007)
Bagre amarelo (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	CuSO4	49	3,13 ± 0,09	TAN, X.-Y. et al. (2011)
	ZnSO4	56	6,08 ± 0,12	LUO, Z., et al. (2011)
Bagre do canal (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Zinco-metionina (ZinPro) e ZnSO4	70	1,07	PARITANANONT e LOVELL (1995)
	Proteinato de cobre, proteinato de ferro, proteinato de manganês, proteinato de selênio e proteinato de zinco (Chelated Minerals Corporation) e CuSO4, FeSO4, MnSO4, Na2SeO3 e ZnSO4	42	60	PARITANANONT e LOVELL (1997)
	Zinco proteinato e ZnSO4	84	1.6	LI e ROBINSON (1996)
	FeSO4	70	6,15 ± 0,05	BARROS et al. (2002)
	Ferro-metionina (ZinPro)	98	10,6 ± 0,1	LIM et al. (1999)
	Selênio-metionina (Sigma), Selênio-levedura (Alltech) e Na2SeO3	63	1,7	WANG e LOVELL (1996)
Carpa comum (<i>Cyprinus carpio Var. Jian</i>)	Fumarato de ferro (Sigma)	60	11,4 ± 0,0	LING et al. (2010)
Carpa Gibel (<i>Carassius auratus gibelio</i>)	MnSO4	68	3,21 ± 0,01	PAN et al. (2008)
	CuSO4, Cu2(OH)3Cl e cobre-aminoácido (Avalia-Cu, ZinPro)	55	18,10 ± 0,04	SHAO et al. (2010)
	Selênio-metionina e selênio nanoparticulado	30	13,08 - 15,12	Zhou et al. (2009)
	FeSO4	83	2,12 ± 0,00	PAN et al. (2009)

Nome comum e espécie	Fonte do mineral	Tempo de duração do experimento (dias)	Peso inicial (g)	Referência
Dourada do Japão (<i>Pagrus major</i>)	Artêmia enriquecida com zinco e selênio	30	-	NGUYEN et al. (2008)
	Zinco-aminoácido (Ampiplus® Zn), cobre-aminoácido (Ampiplus® Cu) e manganês aminoácido (Ampiplus® Mn)	84	7,14 ± 0,01	SARKER et al. (2005)
	Zinco-aminoácido (Ampiplus® Zn), cobre-aminoácido (Ampiplus® Cu) e manganês aminoácido (Ampiplus® Mn)	84	12,6 ± 0,36	SARKER et al. (2007)
"Hybrid striped bass" (<i>Morone chrysops</i> x <i>M. saxatilis</i>)	Proteinato de zinco (Chelated Minerals Corporation) e ZnSO4	70	0,86 ± 0,05	BUENTELLO et al. (2009)
	Selênio-metionina e Na2SeO3	84	2,94 ± 0,13	JARAMILLO et al. (2009)
	Zinco-metionina (Mintrex®) e ZnSO4	70	5,47	SAVOLAINEN e GATLIN III (2010)
Garoupa (<i>Epinephelus malabaricus</i>)	CuSO4	56	13,35 ± 0,01	LIN et al. (2008)
	Cobre-peptídeo (Cu peptide, Alltech)	56	21,60 ± 0,08	LIN et al. (2010)
	Selênio-metionina (Sigma Chemical)	56	12,20 ± 0,14 e 11,94 ± 0,15	LIN e SHIAU (2005)
	Selênio-metionina (Sigma Chemical)	56	9,81 ± 0,09	LIN e SHIAU (2009)
	CuSO4 e Selênio-metionina (Sigma)	56	9,79 ± 0,09	LIN e SHIAU (2007)
Robalo europeu (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Zinco orgânico (BioPlex, Alltech) e ZnO	84	10,6 ± 0,5	FOUNTOLAKI et al. (2010)
Salmão Masou (<i>Oncorhynchus masou</i>)	Citrato de ferro (Kanto Chemical)	-	-	MIZUNO et al. (2007)
Salmão do Atlântico (<i>Salmo salar</i>)	MnSO4	84	0,18	MAAGE et al. (2000)
	CuSO4	84	7,5	MAAGE e JULSHAMN (1998)
	Gluconato de zinco (Elemental Progress) e ZnSO4	180	2	MAAGE et al. (2001)

Nome comum e espécie	Fonte do mineral	Tempo de duração do experimento (dias)	Peso inicial (g)	Referência
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Selênio orgânico (Sel-Plex®)	42	14,8 ± 1,3	ABDEL-TAWWAB e WAFEEK (2010)
	ZnO e zinco-aminoácido	75	1,79 ± 0,10	BARROS et al. (2004)
	ZnSO ₄ , ZnO e zinco-aminoácido	-	70	DO CARMO E SÁ et al. (2005)
	ZnSO ₄	85	13,3 ± 1,13	DO CARMO E SÁ et al. (2004)
	ZnSO ₄ e zinco-aminoácido	90	0,66 ± 0,01	DO CARMO E SÁ et al. (2005)
	FeSO ₄	210	3,78 ± 0,1	EL-S Aidy e GABER (2004)
	CuSO ₄	120	2,0 ± 0,05	FERRARI et al. (2004)
	ZnO	90	1,12 ± 0,05	HISANO et al. (2007)
Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Zinco-metionina (Nasu Agri Co.) e zinco-aminoácido (Ami-plus ZnR)	85	2,0	APINES et al. (2001)
	Zinco-aminoácido, cobre-aminoácido e manganês aminoácido, e CuSO ₄ , MnSO ₄ e ZnSO ₄	85	1,11 ± 0,17	APINES et al. (2003a)
	Zinco-aminoácido, cobre-aminoácido e manganês aminoácido, e CuSO ₄ , MnSO ₄ e ZnSO ₄	126	1,6	APINES et al. (2003b)
	Zinco-aminoácido (Amiplus® Zn), cobre-aminoácido (Amiplus® Cu) e manganês aminoácido (Amiplus® Mn)	85	1,52 ± 0,21	APINES et al. (2004)
	CuSO ₄	50	0,5	KAMUNDE et al. (2001)
	Picolinato de zinco (Zinmax® zinc picolinate)	55	50	KUCKBAY et al. (2005)