

**MANEJO NUTRICIONAL E ALIMENTAR
DE PEIXES DE ÁGUA DOCE**

**Paula Adriane Perez Ribeiro
Daniela Chemim de Melo
Leandro Santos Costa
Edgar de Alencar Teixeira**

**Belo Horizonte – MG
2012**

MANEJO NUTRICIONAL E ALIMENTAR DE PEIXES DE ÁGUA DOCE

Autores:

Paula Adriane Perez Ribeiro – Escola de Veterinária/Departamento de Zootecnia – UFMG

Daniela Chemim de Melo - Escola de Veterinária/Departamento de Zootecnia – UFMG

Leandro Santos Costa – Departamento de Zootecnia – UFLA

Edgar de Alencar Teixeira – Escola de Veterinária/Departamento de Zootecnia – UFMG

**Belo Horizonte –MG
2012**

ÍNDICE

| | Página |
|--|---------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 01 |
| 2 HÁBITOS ALIMENTARES E COMPORTAMENTAIS DE PEIXES | 03 |
| 3 MANEJO NUTRICIONAL DE PEIXES | 06 |
| 3.1 ENERGIA | 07 |
| 3.2 CARBOIDRATOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES | 08 |
| 3.2.1 Metabolismo de carboidratos em peixes | 08 |
| 3.3 LIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES | 15 |
| 3.3.1 Metabolismo lipídico em peixes | 20 |
| 3.3.2 Exigências e perfil lipídico dos peixes | 26 |
| 3.3.3 Lipídios na formulação de dietas para peixes | 33 |
| 3.4 PROTEÍNAS PARA PEIXES | 34 |
| 3.4.1 Metabolismo protéico em peixes | 35 |
| 3.4.2 Exigências de proteínas para peixes | 37 |
| 3.4.3 Proteína ideal para peixes | 41 |
| 3.4.4 Excreção nitrogenada em peixes | 44 |
| 3.4.4.1 Principais produtos excretados | 46 |
| 3.4.4.2 Toxicidade da amônia | 50 |
| 3.5 VITAMINAS E MINERAIS PARA PEIXES | 50 |
| 3.5.1 Metabolismo e exigências de vitaminas e minerais para peixes | 51 |
| 3.5.2 Vitamina C (ácido ascórbico) para peixes | 57 |
| 4 MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES | 67 |
| 4.1 COMPOSIÇÃO BÁSICA DAS RAÇÕES | 68 |
| 4.2 ADITIVOS ALIMENTARES | 70 |
| 4.2.1 Alimentos funcionais para peixes | 70 |
| 4.3 FORMA FÍSICA DA RAÇÃO | 73 |
| 4.3.1 Granulometria da ração | 75 |
| 4.4 ARMAZENAMENTO DAS RAÇÕES | 76 |
| 4.5 FORNECIMENTO DE RAÇÃO AOS PEIXES | 77 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 81 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |

1

Introdução

Os peixes apresentam requerimentos nutricionais semelhantes aos animais terrestres, para o crescimento, reprodução e outras funções fisiológicas normais. Esses nutrientes geralmente são obtidos de alimentos naturais, disponíveis no ambiente, ou de rações comerciais fornecidas no cultivo.

Desta forma, a escolha inadequada ou a má formulação da ração provocará redução no desempenho dos animais, conduzindo a maiores custos com a alimentação e diminuindo, conseqüentemente, o lucro da atividade. Portanto, para a elaboração de rações adequadamente balanceadas torna-se necessário conhecer as variações existentes na estrutura e fisiologia do sistema digestivo das diferentes espécies de peixes cultivados comercialmente.

Informações sobre a preferência alimentar de uma determinada espécie são de grande utilidade no estabelecimento de planos nutricionais e alimentares, incluindo o preparo de rações e o manejo da alimentação.

Os processos gerais da digestão em peixes têm sido analisados em diversos estudos, e as informações disponíveis sugerem que estes processos ocorrem de maneira semelhante aos demais animais vertebrados.

Os peixes apresentam variações na estrutura básica do trato gastrointestinal, se comparados a outros vertebrados, as quais estão geralmente relacionadas ao tipo de alimento consumido e ao ambiente, podendo influenciar a presença, posição, formato e tamanho de alguns órgãos em particular.

Entretanto, a maioria dos peixes é pouco especializada nos seus hábitos alimentares, sendo, considerados “generalistas”, uma condição necessária para ingerir, digerir e absorver os diferentes tipos de alimentos. Mesmo quando ingerem um único tipo de alimento, podem substituí-lo por outro totalmente diferente quando o primeiro se torna indisponível, ou ainda, mudar de hábito alimentar ao longo da vida, sendo esta adaptação mais eficiente em espécies onívoras do que em carnívoras.

Durante o desenvolvimento larval, muitas espécies sofrem alterações no hábito alimentar, passando de planctófagas exclusivas a zooplanctófagas e, posteriormente, se especializando na ingestão de um determinado tipo de organismo. Portanto, especializar-se quanto ao hábito alimentar pode ser uma estratégia arriscada à sobrevivência de determinadas espécies.

No ambiente natural os peixes conseguem balancear suas dietas escolhendo, entre diversos itens alimentares disponíveis, os que melhor suprem suas exigências nutricionais e preferências alimentares.

O sucesso da aqüicultura está, dentre muitos fatores, associado ao conhecimento das características morfofisiológicas e comportamentais das espécies em criação, em todas as fases de desenvolvimento.

Hábitos alimentares e comportamentais de peixes

O conhecimento dos hábitos alimentares dos peixes é importante para o fornecimento de rações, uma vez que auxilia na determinação das necessidades nutricionais de cada espécie. Peixes carnívoros, como surubim, dourado, traíra e pacamã, por exemplo, aproveitam melhor os alimentos de origem animal, necessitando de alta proteína na ração, quando criados em cativeiro. As espécies onívoras como tilápia, pacu, tambaqui, e herbívoras, como algumas carpas, no entanto, são menos exigentes em conteúdo protéico e aproveitam bem uma variedade maior de alimentos.

A Tabela 1 mostra algumas características relacionadas aos hábitos alimentares das diferentes espécies de peixes importantes na piscicultura.

TABELA 1 Hábitos alimentares de peixes e suas principais características.

| Hábito alimentar | Características gerais |
|-------------------------|--|
| Herbívoros | Apresentam flora bacteriana intestinal abundante, sendo capazes de ingerir e digerir de 3 a 4% do seu peso vivo em fibras. |
| Onívoros | Consomem ração e, freqüentemente, aproveitam pequenos invertebrados, plantas, frutos e matéria orgânica em decomposição, sendo classificados como planctófagos, frugívoros e/ou iliófagos. |
| Carnívoros | Consomem, preferencialmente, alimentos de origem animal, incluindo invertebrados e outros peixes, podendo ser treinados para consumirem ração artificial. |

As definições dos hábitos alimentares dos peixes refletem sua constituição anatômico-funcional. O estudo do aparelho digestivo dos peixes, particularmente dos teleosteos, vem atraindo a atenção de muitos pesquisadores por apresentar uma variação estrutural maior que a dos outros vertebrados, com diversidade de hábitos e

comportamentos alimentares. Por meio das características anatômicas e histológicas do aparelho digestivo podemos inferir sobre a alimentação dos peixes.

O aparelho digestivo dos peixes é basicamente composto por: intestino cefálico, que compreende a cavidade bucofaringeana, ou seja, a boca e seus anexos e a faringe; intestino anterior, que compreende o esôfago e o estômago; intestino médio, que compreende o intestino propriamente dito; e intestino posterior, que desemboca no ânus. A Figura 1 ilustra de maneira generalizada o trato digestivo dos peixes.

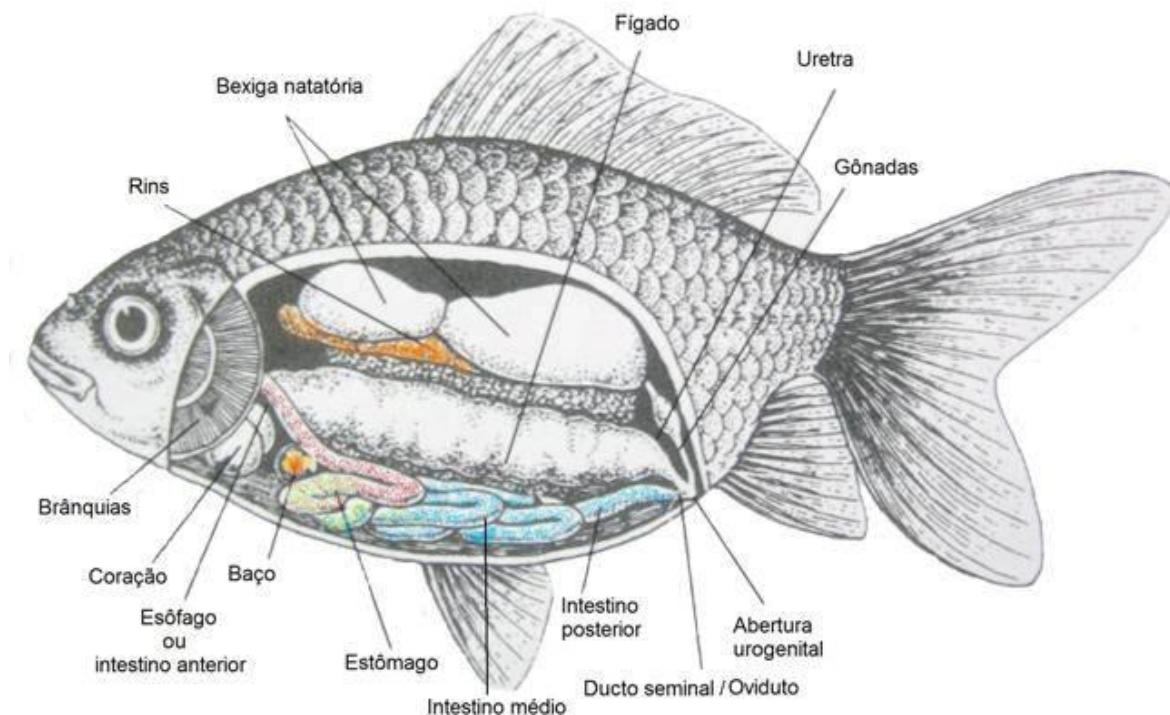


FIGURA 1 Esquema geral do trato digestivo dos peixes (Fonte: <http://www.santorosvet.com.br/artigos/anatomia-dos-kinguios-5.html>)

Particularidades como posicionamento da boca, tipo de dente, constituição do aparelho branquial, desenvolvimento dos cecos pilóricos e segmentação do estômago contribuem na definição da capacidade de captura de alimento, bem como do hábito alimentar de cada espécie. A Figura 2 ilustra algumas estruturas do sistema digestivo dos peixes.

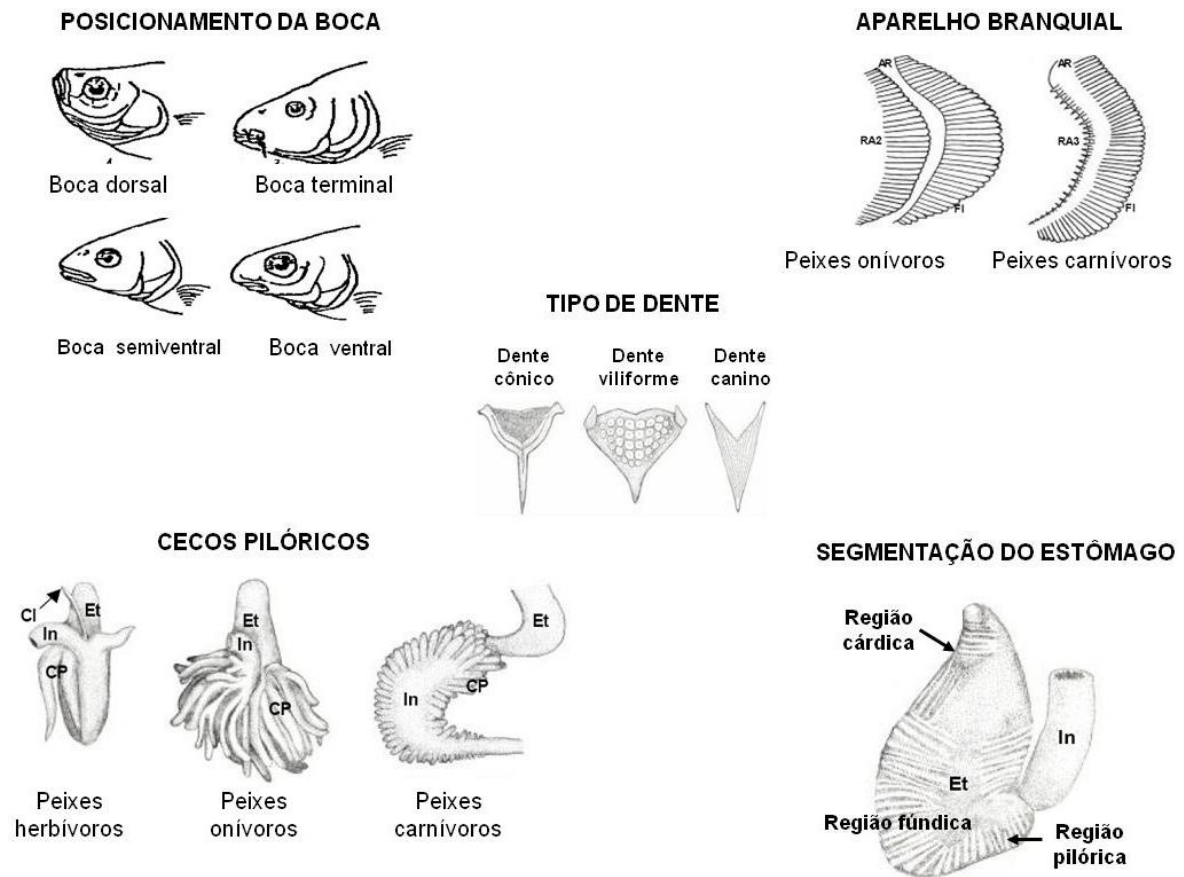


FIGURA 2 Características gerais do sistema digestivo de peixes de água doce (Fonte: Logato, 2001; Rotta, 2003).

Desta forma, o manejo alimentar deve levar em consideração a constituição anatômica e fisiológica do trato digestivo de cada espécie, seu comportamento em cativeiro, bem como o sistema de cultivo adotado, sua produtividade natural, condições climáticas da região e características inerentes ao alimento fornecido aos animais.

Manejo nutricional de peixes

A alimentação em piscicultura vem ganhando destaque no últimos anos, por representar grande parte do custo de produção de peixes. As exigências de nutrientes como a proteína, por exemplo, são maiores para os peixes, quando comparadas às demais espécies animais, sendo necessário, portanto, fornecimento de ração com altos teores protéicos, o que torna a atividade ainda mais cara. Assim, a utilização de alimentos adequados, em quantidade e em qualidade, é fundamental para o sucesso da piscicultura.

Os carboidratos representam o grupo de nutrientes mais controverso na alimentação de peixes, uma vez que estes não expressam deficiências e sintomas carenciais evidentes quando submetidos a dietas isentas deste nutriente.

Os peixes, de uma forma geral, não apresentam um requerimento específico de carboidratos na dieta. Porém, algumas espécies exibem uma redução moderada na taxa de crescimento quando alimentadas com dietas livres de carboidratos. Assim, o nível de carboidratos na dieta, considerado ótimo, é muito variável, com valores entre 7 e 20%, dependendo, principalmente, do hábito alimentar de cada espécie.

Quando comparados a outras fontes energéticas, os carboidratos são menos onerosos, e dentre os mais utilizados pelos animais está o amido. Entretanto, o aproveitamento deste polissacarídeo pelos peixes é bastante contraditório. Normalmente, recomenda-se seu processamento térmico, de modo a promover sua gelatinização e melhorar, assim, sua digestibilidade.

Um tema bastante atual na nutrição de peixes carnívoros e onívoros, e que vem de encontro à necessidade de se reduzir o custo de produção dos mesmos, diz respeito ao efeito poupador de proteína, que consiste em atender as exigências energéticas dos peixes via carboidratos e/ou lipídios, e não via proteínas, diminuindo assim, a gliconeogênese e a oxidação dos aminoácidos.

3.1 ENERGIA

Os peixes não necessitam de energia para a manutenção da temperatura corporal, uma vez que são animais heterotérmicos, porém requerem energia para a manutenção de outras atividades, como movimentos natatórios, formação de novos tecidos, manutenção do equilíbrio osmótico, entre outras.

O fato de não dependerem de energia para manter temperatura corporal e, ainda, gastarem pouca energia na locomoção, faz com que os peixes tenham uma necessidade de ingestão calórica menor quando comparada aos demais animais (Tabela 2).

TABELA 2 Exigência de energia digestível (ED), para aves, suínos e peixes.

| Classe animal | Kcal ED/Kg |
|----------------------|-------------------|
| Aves | 3100 a 3250 |
| Suínos | 3200 a 3300 |
| Peixes onívoros | 2600 a 2900 |
| Peixes carnívoros | 2900 a 3100 |

Fonte: Sperandio (2004)

Os peixes regulam o consumo de ração pela ingestão energética. Assim, uma dieta deficiente em energia provocará um aumento no consumo de alimentos e, em casos extremos, uma maior utilização da proteína para gerar energia, em detrimento de seu emprego em processos de crescimento. Por outro lado, uma dieta com excesso de energia pode levar a uma limitação no consumo de proteínas e vitaminas e a um maior acúmulo de gordura corporal.

A relação energia/proteína adequada aos peixes é de 6 a 8 Kcal/g proteína, menor do que a relação para outros monogástricos, que fica em torno de 14 a 20 Kcal/g proteína. No entanto, assim como para a maioria dos animais, está relação aumenta proporcionalmente ao seu tamanho.

3.2 CARBOIDRATOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

Diversos alimentos podem ser utilizados para compor uma dieta para peixes. Porém é imprescindível o conhecimento da composição química e do valor nutricional dos ingredientes para permitir a elaboração de dietas completas e de mínimo custo.

Os ingredientes de origem vegetal, de forma geral, oferecem valores de energia digestível inadequados, principalmente para peixes carnívoros, que não utilizam eficientemente os carboidratos como fonte de energia.

Dentre os alimentos energéticos utilizados em rações para peixes, os mais comuns são o milho, o sorgo e o trigo. O milho é a principal fonte energética que compõe as rações para peixes onívoros e herbívoros, porém sua composição em carboidratos apresenta pequena contribuição energética para as espécies carnívoras. Atualmente, o preço elevado da farinha de peixe tem preconizado a utilização do glúten de milho para peixes carnívoros. O sorgo tem sido estudado, como substituinte do milho em rações para espécies carnívoras. Por apresentar uma maior proporção de carboidratos solúveis, promove maior viscosidade do alimento, permitindo, assim, um aumento no tempo de permanência do bolo alimentar no trato digestivo, o que possibilita um aproveitamento mais eficiente dos carboidratos. O trigo e o farelo de trigo podem ser adicionados às rações, porém sua inclusão não deve exceder 15%, devido ao elevado teor de fibra, associado à presença de polissacarídeos não amiláceos, que podem interferir na digestibilidade.

3.2.1 Metabolismo de carboidratos em peixes

Digestão, absorção e transporte

A digestão dos carboidratos nos peixes é relativamente rápida. Diferentemente dos mamíferos, eles não apresentam atividade de α -amilase na cavidade bucal, sendo a produção desta enzima restrita ao pâncreas e intestino, principalmente, em espécies onívoras e herbívoras.

A maior parte da digestão dos alimentos ocorre no intestino e cecos pilóricos. As secreções intestinais contêm um grande número de enzimas, incluindo as três maiores classes, que são as proteases, as lipases e as carboxilases. As glândulas de Lieberkühn

secretam enzimas intracelulares como a sacarase, maltase, oligo-1,6-glicosidase, entre outras.

Há uma abundância de carboxilases nas espécies herbívoras, ocorrendo o contrário com os carnívoros, presumivelmente devido às diferenças no hábito alimentar. As enzimas necessárias para a degradação da maioria dos carboidratos da dieta são as dissacaridases, endoglicosidases e oligossacaridases.

No intestino de carpa comum (*Cyprinus carpio*) foram encontradas atividades de maltase, sacarase, lactase, celobiase e glicosidase. Uma consideração importante na nutrição de carpas é a atividade de bactérias intestinais, as quais auxiliam a digestão e podem fornecer suplementação de alguns nutrientes ao alimento ingerido.

A atividade da celulase, quando presente, está associada à microflora intestinal, ou ao conteúdo estomacal e intestinal de algumas presas ingeridas. As celulases foram encontradas no trato digestivo de diversos peixes, mas aparentemente toda a sua produção é originária de bactérias simbióticas. Peixes planctófagos possuem a enzima laminarinase, que auxilia na digestão das algas.

Na maioria das espécies, grande parte das enzimas liberadas nos processos digestivos é reabsorvida na região posterior do intestino médio.

Peixes carnívoros e de águas frias apresentam secreção e atividade de amilase limitadas ao trato intestinal, sendo suficiente apenas para digerir pequenas quantidades de carboidratos. Outro aspecto que dificulta a digestão desses nutrientes nos peixes carnívoros é que seu trato gastrintestinal é bastante curto, impossibilitando a adequada digestão e absorção dos carboidratos mais complexos.

O esturjão branco (*Acipenser transmontanus*) demonstra uma maior capacidade de utilização de glicose e maltose em detrimento do amido e dextrina, quando comparado a espécies como a carpa comum (*Cyprinus carpio*) e a tilápia híbrida (*Oreochromis* sp.). O esturjão apresenta o intestino mais curto e, em função desta característica anatômica, a atividade de α -amilase pancreática pode ser mais baixa, fato este observado também em outras espécies de peixes carnívoros. Assim, o curto tempo de trânsito do alimento no intestino limita a capacidade hidrolítica nesta porção do trato digestivo, podendo, portanto, limitar a digestão e absorção de carboidratos complexos. A Tabela 3 ilustra a habilidade do esturjão branco em utilizar diferentes carboidratos fornecidos através de intubação esofágica.

TABELA 3 Concentração de glicose no plasma (C_{max}), tempo decorrido para atingir a C_{max} (T_{max}) e meia-vida da C_{max} ($T_{1/2}$) em esturjão branco (*Acipenser transmontanus*) recebendo diferentes carboidratos.

| Carboidrato Administrado | C_{max} (mmol/L) | T_{max} (h) | $T_{1/2}$ (h) |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Glicose | 13,7 | 2,9 | 2,3 |
| Maltose | 10,7 | 3,1 | 2,4 |
| Dextrina de milho | 8,4 | 3,2 | 2,5 |
| Dextrina de batata | 7,6 | 3,2 | 2,6 |
| Amido de milho | 6,3 | 3,3 | 2,9 |
| Amido de batata | 5,5 | 3,8 | 3,1 |

Fonte: Deng et al. (2001)

Deve-se destacar que peixes onívoros e herbívoros apresentam a capacidade de alterar a estrutura e as propriedades absorptivas do seu sistema digestivo em resposta a mudanças na dieta, sendo, portanto, substrato dependentes. O aumento na quantidade de glicídios na alimentação pode provocar aumento no comprimento do intestino e na absorção de glicose por alguns teleósteos, não ocorrendo este fato nos carnívoros, como o pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*) e a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Essas diferenças devem-se, provavelmente, à adaptação das espécies, pois peixes onívoros e herbívoros estão sujeitos a grandes variações na composição bromatológica da dieta, diferentemente do que ocorre na dieta dos carnívoros.

A amilase pode ser inativada quando combinada ao amido cru, a dextrina e a albumina. O pré-cozimento ou extrusão dos grãos e cereais promove a gelatinização do amido e destrói a albumina, melhorando a digestibilidade, principalmente para espécies carnívoras. Espécies onívoras, como a carpa, podem compensar esta inativação da amilase pelo amido cru ou pela dextrina aumentando a sua secreção para cerca de 3 a 4 vezes mais que os níveis normais.

Pesquisadores avaliando a influencia do processamento do milho sobre a composição da carcaça de tilápias, observaram que os peixes tratados com ração contendo milho extrusado apresentaram maior teor de proteína e menor teor de gordura na carcaça, sugerindo que ao se adicionar esse ingrediente, é possível aumentar a utilização da proteína para a deposição na carcaça e não como fonte de energia pelo peixe.

Os processos digestivos finais dos carboidratos ocorrem no epitélio mucoso anterior do intestino, diminuindo à medida que avançam no trajeto ao reto, e incluem a ação de várias dissacaridases e oligossacaridases. Estas enzimas são secretadas através dos enterócitos e permanecem associadas à borda em escova da mucosa intestinal. Os mecanismos de absorção não são bem conhecidos nos peixes. A porção inicial do intestino absorve a maior parte dos carboidratos da dieta, e, a insulina não é requerida para a captação da glicose pelas células intestinais. Os carboidratos são absorvidos pelos peixes na forma de monossacarídeos, através de um transportador específico. Este co-transporte envolve o movimento da glicose acoplado ao gradiente de concentração de Na^+ , transportado à célula ao mesmo tempo. As taxas de transporte são menores nos peixes carnívoros do que nos herbívoros e onívoros, podendo refletir uma adaptação destas espécies à baixa concentração de carboidratos presente na sua dieta.

Na Figura 3 encontra-se um esquema ilustrativo do processo de digestão e absorção de carboidratos em peixes.

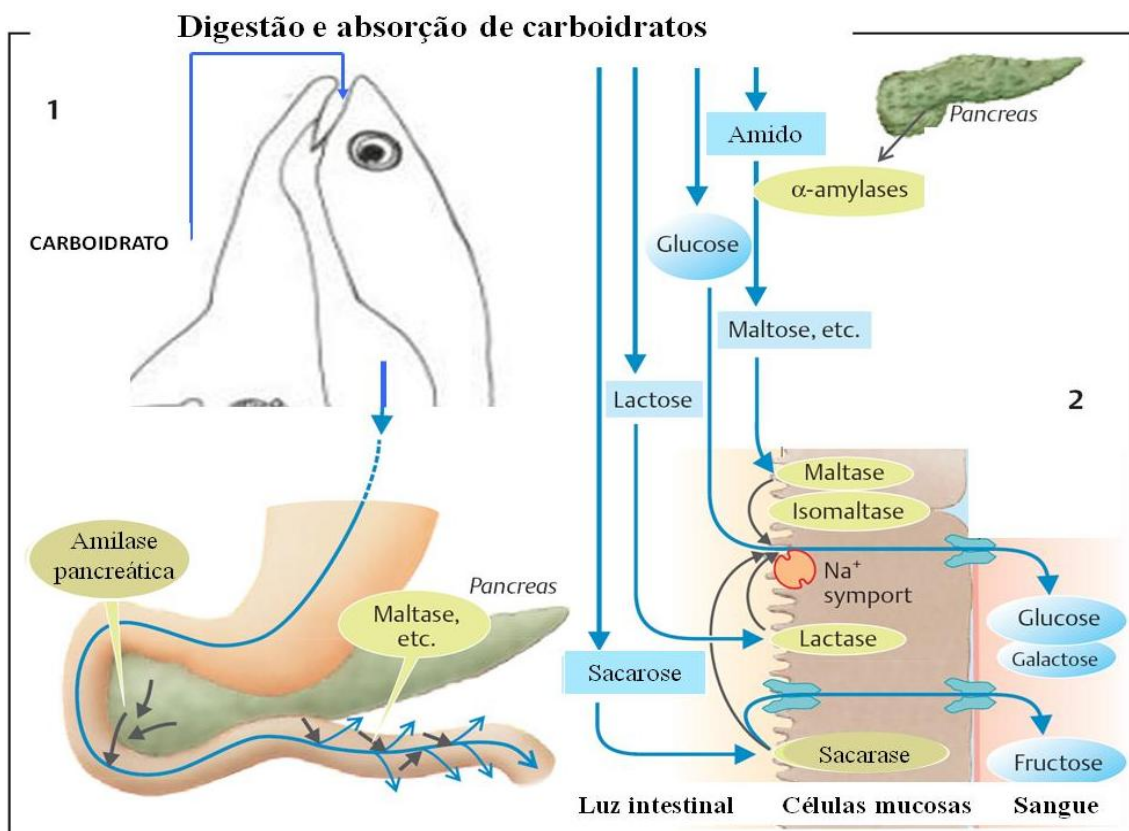


FIGURA 3 Processo de digestão e absorção dos carboidratos em peixes (Adaptado de <http://www.demussen.net/blood-pressure/info-xud.html>).

Gliconeogênese

O catabolismo e o anabolismo ocorrem simultaneamente em estado dinâmico, sendo que a liberação de energia através da degradação de componentes celulares é contrabalançada pelos processos biossintéticos que recriam e mantêm o ordenamento das células.

A síntese de glicose a partir de compostos não-glicídicos, também chamada de “gliconeogênese”, que ocorre no fígado, satisfaz as necessidades de glicose do organismo em situações onde o carboidrato dietético não é suficiente. Assim, o processo de gliconeogênese assume um papel fundamental durante o período de jejum, quando o glicogênio hepático está sendo esgotado.

O lactato, o glicerol e a alanina são consideradas as substâncias gliconeogênicas mais importantes para os animais monogástricos, sendo fontes de glicose sangüínea durante os estágios intermediários do jejum. Outros substratos participam em menor grau como fonte para a formação de glicose, tais como os intermediários do ciclo de Krebs e as cadeias carbonadas de vários aminoácidos.

Os aminoácidos normalmente podem ser convertidos em α -cetoácidos, por reações de desaminação e transaminação, com exceção de alguns poucos, que não sofrem transaminação, como é o caso da treonina, lisina, arginina e prolina. O piruvato, o oxaloacetato e o α -cetogluturato são transformados em glicose por reações gliconeogênicas. Além disso, diversos compostos livres de nitrogênio, derivados de aminoácidos por desaminação, podem ser convertidos num desses três α -cetoácidos e, portanto, funcionam como precursores de carboidratos.

A alanina é o mais importante aminoácido convertido a intermediários glicolíticos para a gliconeogênese. Durante o jejum prolongado ou inanição, a alanina e outros aminoácidos podem ser liberados a partir de proteínas presentes nos músculos esqueléticos. A alanina é liberada para a corrente circulatória e transportada ao fígado, onde sofre transaminação para gerar piruvato. O piruvato por meio da gliconeogênese forma glicose, que pode retornar aos músculos ou ser degradada na via glicolítica. O mecanismo é chamado de “Ciclo da glicose-alanina” (Figura 4).

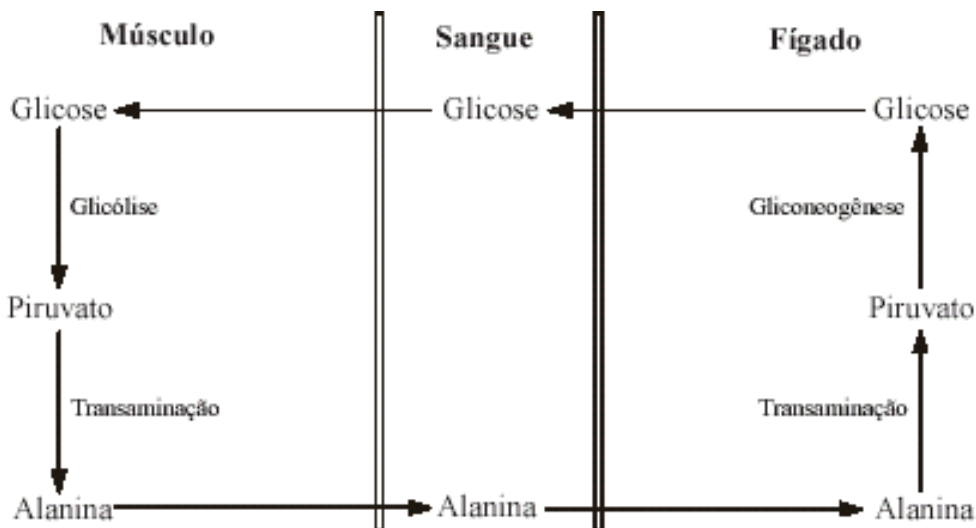


FIGURA 4 Ciclo da glicose-alanina (Fonte: Motta, 2003).

Para os peixes carnívoros os aminoácidos representam os principais precursores da via gliconeogênica. Isso é atribuído aos elevados teores de proteína requeridos nas dietas destas espécies, o que torna seu catabolismo mais intenso. Assim, parte dos aminoácidos catabolisados é utilizada como energia, sendo reutilizada em rotas gliconeogênicas.

Efeitos do estresse no metabolismo em peixes

A resposta ao estresse nada mais é do que uma alteração na homeostase do organismo, podendo ser aguda ou crônica. Trata-se de processos que demandam energia, proveniente da mobilização de substratos energéticos do metabolismo, pelo animal.

Espécies teleósteas apresentam uma grande variedade de respostas fisiológicas ao estresse causado pelas condições adversas do ambiente. Entre elas, os níveis de glicose e lactato sangüíneos têm sido freqüentemente utilizados como indicadores de confiança para as respostas fisiológicas em condições de estresse.

Em peixes teleósteos a elevação plasmática de cortisol e adrenalina são as principais respostas hormonais ao estresse, sendo utilizadas, também, como indicadoras deste fato.

A elevação da glicemia nos peixes, nesta condição, se deve principalmente à ação de catecolaminas e corticosteróides, que atuam na glicogenólise, sugerindo uma resposta primária ao estresse.

Acredita-se que os altos níveis de glicose no sangue são mantidos pelo cortisol, que estimula a gliconeogênese e regula a demanda de açúcar na circulação periférica.

Em estudo com tilápias, observou-se que a resposta ao estresse da tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) ocorre logo na primeira hora de exposição à condição estressante, atingindo o pico de liberação de cortisol aos 60 minutos, seguido de decréscimo na sua concentração, até retornar aos valores pré-estresse, cerca de 30 horas depois. A curva de glicemia se comporta da mesma maneira, sugerindo assim, que, como em outras espécies, o cortisol é um dos responsáveis pela manutenção das altas taxas de glicose no sangue.

Avaliando o comportamento fisiológico do milkfish (*Chanos chanus*) em estresse térmico, observou-se que as respostas hiperglicêmicas em temperatura fria (15°C) mostraram um aumento brusco na glicose, de 85 mg/dL para 458 mg/dL, em 24 horas, seguido por uma diminuição ao nível original após 48 horas de exposição ao frio. O conteúdo plasmático de lactato sofreu uma elevação de 47 mg/dL para 149,6 mg/dL nos dois primeiros dias de exposição ao frio, retornando aos níveis normais após este período. O lactato, liberado principalmente pela musculatura branca, reflete a produção de energia através de processos metabólicos anaeróbicos e pode ser utilizado para a produção de glicose e glicogênio.

Esta elevação de glicose no sangue está provavelmente associada não só aos processos de glicogenólise, como também à glicogênese. Embora a concentração de glicose se eleve logo após o início do período estressante, os níveis são passageiros, e podem não se manter altos por muito tempo. A quantificação de glicose na circulação, medida num determinado tempo após o estresse, reflete o balanço entre sua produção e seu clareamento na circulação.

3.3 LIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

A qualidade dos alimentos e suas interferências na saúde passaram a ter um destaque especial dentre os fatores que levam o consumidor à escolha de um produto diferenciado no mercado.

A importância do consumo de produtos de origem animal reside em alguns fatores como, fornecimento de aminoácidos essenciais, fornecimento de ferro mais biodisponível quando comparado aos vegetais, fornecimento de energia, entre outros.

Porém, sabe-se que os alimentos de origem animal apresentam maior densidade energética em relação aos de origem vegetal, devido ao maior teor lipídico dos mesmos. Assim sendo, a ocorrência de obesidade e de doenças provenientes desse quadro é comum mediante situações onde o consumo destes alimentos é excessivo.

A nutrologia humana e animal vêm estudando os lipídios há muito tempo, destacando-se pesquisadores interessados em investigar as relações entre as substâncias presentes na dieta e o desenvolvimento ou não de doenças. Dentre essas doenças são de importância relevante as crônico-degenerativas. Doenças cardiovasculares decorrentes de aterosclerose estão diretamente relacionadas ao elevado consumo de lipídios, sobretudo na forma de óleos trans-insaturados, gorduras saturadas e colesterol comumente presentes em alimentos de origem animal. No entanto, sabe-se que dentre as várias classes de lipídios algumas trazem benefícios maiores à saúde, como os PUFAs (Ácidos Graxos Poliinsaturados).

Os primeiros relatos sobre a importância dos lipídios na nutrição de organismos aquáticos datam da década de 1960. Atualmente sabe-se que estes compostos são bem metabolizados pelos peixes e que suas exigências nutricionais já estão bem definidas. Estudos realizados pelo “Institute of Brain Development and Human Nutrition” da “University of North London” demonstraram a importância dos lipídios presentes nos peixes para a evolução da nutrologia humana. Essa importância está relacionada à exigência de ácidos graxos altamente poliinsaturados da série ômega-3 para o desenvolvimento cerebral em diferentes fases do desenvolvimento humano. Estes ácidos graxos, principalmente o ácido eicosapentaenóico (C20:5 n-3 ou EPA) e o ácido docosahexaenóico (C22:6 n-3 ou DHA), são naturalmente encontrados em altas

concentrações nos pescados marinhos e, em níveis menores, em algumas espécies de água doce.

A ingestão de ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 pode ser aumentada não só pelo consumo de peixes contendo altos teores de óleo, como também pela elevação dos níveis de EPA e DHA em alimentos pobres em ômega-3.

O conhecimento das séries lipídicas e sua incorporação nos alimentos de origem animal são tão importantes quanto informações sobre a capacidade de converter precursores em ácidos graxos de importância fisiológica. Estes progressos certamente trarão cada vez mais benefícios à saúde humana.

Os principais compostos presentes nos extratos lipídicos dos pescados podem ser agrupados segundo a Tabela 4.

TABELA 4 Classes de lipídios do tecido de peixes.

| LIPÍDIOS NEUTROS | LIPÍDIOS POLARES |
|---|-------------------------|
| Triacilgliceróis | Glicolipídeos |
| Hidrocarbonetos | Fosfolipídeos |
| Carotenóides | |
| Vitaminas lipossolúveis | |
| Esteróis | |
| Alquil e Alquenil éteres de diacilgliceróis | |
| Álcoois graxos e Ceras | |

Fonte: Contreras-Guzmán (1998)

Lipídios neutros

No músculo da maioria das espécies de peixes os lipídios neutros somam cerca de 90% dos lipídios totais. Sua partição pode diminuir em relação à depleção dos depósitos de reserva. Alguns peixes de água doce e de clima tropical acumulam lipídios semisólidos, que se depositam principalmente sobre o peritônio e podem ser separados com facilidade para o aprimoramento dos filés.

O aproveitamento das gorduras dos peixes de água doce é uma alternativa a ser considerada, uma vez que apresentam, excelente composição de ácidos graxos, maior estabilidade em relação às gorduras de origem marinha e uma ampla faixa de plasticidade. Dentre as classes de lipídios neutros destacam-se:

- Triacilgliceróis: Os triacilgliceróis representam a classe mais importante dos lipídios neutros, perfazendo nos óleos refinados cerca de 96 a 98% deste composto.
- Hidrocarbonetos: Os hidrocarbonetos formam a porção não saponificável dos lipídios neutros. Seu teor nos óleos extraídos do corpo inteiro dos peixes é muito baixo (0,05-0,5%), sendo, portanto, irrelevante. Porém, em algumas classes como os elasmobrânquios, por exemplo, pode ocorrer alto acúmulo destes hidrocarbonetos no óleo. Os tubarões (elasmobrânquios) são peixes com alto teor de lipídios não saponificáveis no fígado. Tem sido sugerido que o acúmulo de lipídios hepáticos nesta espécie tenha a função de diminuir o esforço necessário para a flutuação, visto que estes peixes não possuem bexiga natatória e habitam, normalmente regiões muito profundas (600-1000m). A aceitação da carne de tubarão no mercado tem crescido muito nos últimos anos. Se este aumento permanecer regular, o fígado, até então descartado, poderá torna-se uma alternativa interessante para extração de óleo e hidrocarbonetos, a serem incorporados aos concentrados energético-vitamínicos das rações.
- Carotenóides: O β -caroteno e as xantofilas são sintetizados por bactérias, fungos, leveduras e, particularmente, por plantas superiores e algas unicelulares. Os peixes não sintetizam carotenóides, precisando ingerir estruturas pré-formadas, para que, através de alterações metabólicas possam ser convertidas em vitamina A e compostos essenciais. Organismos zooplanctônicos podem converter β -caroteno em astaxantina, como é caso do krill (*Euphasia superba*), porém para os peixes, em sua grande maioria, este mecanismo não está disponível e a ingestão deste zooplâncton torna-se essencial. Para os salmonídeos, como o salmão do Atlântico (*Salmo salar*) e a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), a astaxantina tem uma relevante importância, uma vez que é armazenada no músculo e pele, tendo funções fisiológicas e de pigmentação.
- Vitaminas lipossolúveis: A vitamina A se acumula nos óleos extraídos principalmente do fígado, sendo encontrada também em macerados de intestino, cecos pilóricos e gônadas. É estocada como éster de ácido graxo, assim como a astaxantina e o colesterol. Peixes mais velhos apresentam quantidades maiores de vitamina A, que podem superar 2×10^5 UI/g. A vitamina A₂ (deidroretinol) é típica de peixes, sendo formada por desidrogenação da A₁. O tambaqui (*Colossoma macropomum*), por exemplo, apresenta teores excepcionalmente elevados de vitamina A₂ no fígado. O óleo de fígado de tambaqui compara-se ao óleo de fígado de bacalhau, quanto ao perfil de

vitaminas lipossolúveis. A vitamina D, na maioria dos mamíferos é sintetizada na pele, através de uma reação fotolítica (pela ação de luz solar). Porém, seria difícil imaginar um processo semelhante no meio aquático, onde a luz solar só é farta na superfície. No entanto, os peixes apresentam quantidades muitas vezes maiores do que as necessárias para o seu metabolismo. A causa exata deste fato ainda não está bem elucidada. Nos músculos de peixes magros a concentração de vitamina D é baixa; já em peixes gordos, os músculos podem apresentar quantidades entre 500 e 3000 UI/100g de carne. A vitamina E ou α -tocoferol é encontrada nos peixes de água doce em torno de 10mg/100g, a exemplo do tambaqui (*Colossoma macropomum*) e da curimba (*Prochilodus scrofa*). Estudos antigos, da década de 1960, já comprovavam que há uma relação inversa entre o grau de insaturação e o teor de α -tocoferol nos peixes. Acredita-se que os peixes de água doce, herbívoros e onívoros, tenham uma maior ingestão de tocoferóis, devido à elevada concentração destes compostos nas sementes e frutas que compõem sua dieta em habitat natural.

- Esteróis: O estudo do colesterol de óleos marinhos tem-se intensificado pela comprovação da atuação do colesterol em diversos processos envolvidos em distúrbios cardiovasculares. Porém, sabe-se que o colesterol desempenha funções fisiológicas importantes no organismo, como: componente de miomembranas e lipoproteínas; precursor de vitamina D₃ e sua conversão no hormônio regulador do transporte de cálcio; síntese de sais biliares e precursor de ácidos biliares conjugados; precursor de hormônios esteroidais como os corticosteróides, e os hormônios sexuais; entre outras. Os peixes de água doce, de uma forma geral, apresentam níveis de colesterol em torno de 61 mg/100 g de carne. Espécies marinhas como a cavala, o arenque e o espadim, por exemplo, apresentam teores mais elevados de colesterol (cerca de 100 mg/100 g de carne), e assim, são mais utilizadas para elaboração de farinhas de peixe, tendo uma importância em menor escala para consumo direto. Já os óleos de peixes industriais apresentam níveis de colesterol que podem variar de 500 a 1500 mg/100 g de óleo.

- Éter-acilgliceróis e álcoois graxos: Os alquiléteres de glicerol são compostos formados por 2 ácidos graxos esterificados nas posições 2 e 3 do glicerol, ligados a uma cadeia de alquil ou alquenil. Estão presentes normalmente em peixes de águas profundas e relacionam-se com a adaptação a essas regiões demersais. Os álcoois graxos mais comuns são o cetílico, o oleílico, quimílico e batílico. Óleos de peixes cuja

dieta básica é constituída por copépodes geralmente apresentam elevado teor de álcoois graxos, com cadeias carbônicas que chegam até 20 a 22 carbonos.

- Ceras: As ceras ocorrem normalmente na comunidade zooplancônica e sua presença em peixes marinhos e de água doce é atribuída à ingestão destes microcrustáceos.

Lipídeos polares

São formados pelos lipídios de estruturas e representam de 5 a 50% dos lipídios totais. Sua porcentagem é dependente do teor de triacilgliceróis (“lipídios de reserva”), com os quais estabelecem uma relação inversa. Dentre as classes de lipídios polares podemos destacar:

- Fosfolipídeos: Apresentam propriedades emulsificantes, além de participarem como componentes de membranas celulares, lipossomas, lipoproteínas, dentre outros. Os fosfolipídeos mais abundantes de espécies marinhas e dulcícolas são a fosfatidilcolina e a fosfatidiletanolamina, que encontram-se numa proporção de 2:1 ou 3:1. Porém, alterações ambientais, como temperatura e salinidade da água, podem modificar estas relações. O bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), por exemplo, apresenta 1,86 mg de fosfolipídeos/100 g gordura, enquanto o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*) possuem 5,3 mg de fosfolipídeos/100 g gordura e 8,7 mg de fosfolipídeos/100 g gordura, respectivamente. Já a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) e a carpa comum (*Cyprinus carpio*) mostram níveis maiores, em torno de 32,1 mg de fosfolipídeos/100 g gordura e 21 mg de fosfolipídeos/100 g gordura, respectivamente.
- Glicolipídeos: Os glicolipídeos geralmente são mais abundantes em vegetais do que em animais, nos quais têm funções altamente especializadas. Em geral, a composição lipídica dos animais reflete sua alimentação, e assim, com exceção dos peixes frugívoros, a maior parte das espécies herbívoras apresenta uma maior proporção de glicolipídeos em relação aos lipídios totais, quando comparadas às demais espécies. Os teores de glicolipídeos são relativamente constantes, em torno de 2,5% dos lipídios totais. Os peixes possuem maiores níveis de glicolipídeos no fígado, em detrimento do tecido muscular, onde estes compostos exercem pouca influência nas propriedades funcionais e energéticas. Animais alimentados com dietas artificiais normalmente apresentam níveis praticamente insignificantes de glicolipídeos, uma vez que estas

rações são formuladas com grãos sem inclusão da parte folhosa da planta, a qual é rica em lipídios polares.

3.3.1 Metabolismo lipídico em peixes

Digestão e absorção

Os processos de digestão e absorção de lipídios em peixes são similares aos de mamíferos, com algumas considerações em função da complexidade do trato digestivo e das diferenças anatômicas das várias espécies.

As secreções do estômago, produzidas na região fúndica, incluem água, sais inorgânicos, muco, pepsinogênio, lipase gástrica e ácido clorídrico. A lipase gástrica, se comparada à pancreática, tem pouca atuação no processo digestivo das gorduras e, em geral, hidrolisa apenas as gorduras de baixo ponto de fusão e já emulsificadas.

A atividade lipolítica em peixes é geralmente maior na porção proximal do intestino e cecos pilóricos, se estendendo, porém em menor grau, às demais porções do trato digestivo. Assim como em mamíferos, o pâncreas e hepatopâncreas são os principais sítios de fornecimento de enzimas digestivas. Peixes carnívoros apresentam maior atividade de lipases do que peixes onívoros e herbívoros.

A bile, secretada pelos hepatócitos, pode entrar diretamente na parte proximal do intestino ou ser estocada na vesícula biliar quando não é necessária imediatamente, tendo como função principal facilitar a digestão e absorção dos lipídios e substâncias lipofílicas, como as vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K). A emulsificação das gorduras e a neutralização da acidez do quimo facilitam a atividade das lipases gástrica e pancreática, devido à maior superfície de contato das gorduras e pela ativação dessas enzimas em função da elevação do pH.

Em peixes, a digestão e absorção de ácidos graxos saturados e monoinsaturados é normalmente menor quando comparada a dos ácidos graxos poliinsaturados. Entretanto, sabe-se que uma vez absorvidas as gorduras da dieta, a energia proveniente da quebra dos triglicérides em ácidos graxos de diferentes graus de insaturação é igualmente utilizada nos processos metabólicos, e assim, a energia digestível dessas gorduras dietárias torna-se um bom indicador da biodisponibilidade de energia para os peixes.

Os lipídios, após sofrerem ação dos sais biliares, são fragmentados em pequenas micelas. A formação das micelas permite a emulsificação ou solubilização dos lipídios no bolo alimentar presente no intestino, facilitando a atuação das enzimas lipolíticas.

Os lipídios são absorvidos principalmente na forma de ácidos graxos e monoglicerídios. Os ácidos graxos de cadeia curta passam por difusão pelos enterócitos sendo lançados posteriormente nos capilares sanguíneos. As micelas tornam possível o contato dos ácidos graxos de cadeia longa e monoglicerídios presentes no bolo alimentar com o sítio primário de absorção lipídica, a borda em escova das células mucosas intestinais. A partir daí, essas substâncias entram nas células por difusão. Os ácidos graxos de cadeia curta e média não requerem a assistência de uma micela para a absorção pela mucosa intestinal. Dentro do enterócito, mais precisamente no retículo endoplasmático, ocorre a ressíntese dos triglicerídios. Esses são, então, incorporados às lipoproteínas, juntamente com colesterol, fosfolipídios e vitaminas lipossolúveis, formando os quilomícrons, que se difundem para o sangue ou linfa, transportando as gorduras no organismo.

Transporte

O transporte dos triacilglicerídeos absorvidos é feito através de lipoproteínas circulantes. Os triglicerídeos são transportados numa ordem de 85%, 52%, 22% e 11% por quilomícrons, VLDL, LDL e HDL, respectivamente, em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), sendo que proporções equivalentes foram encontradas para a sardinha do Pacífico (*Sardinops caerulea*) e seabass (*Dicentrarchus labrax*).

Modificações oxidativas em lipoproteínas de baixa densidade (LDL), convertem a LDL em um composto reconhecido por uma grande variedade de receptores que atuam nas vias de “clearance”, no metabolismo lipídico em mamíferos. A LDL oxidada tem sido utilizada na indução da expressão de uma grande variedade de genes em mamíferos. As lipoproteínas de animais heterotéticos, como os salmonídeos, contêm altos níveis de ácidos graxos poliinsaturados, susceptíveis ao processo de modificação oxidativa. A LDL de trutas, por exemplo, pode ser facilmente oxidada na presença de Cu^{+2} , e, após oxidação, se injetada intravenosamente, favorece um aumento na taxa de “clearance”, quando comparada à LDL nativa.

Biossíntese

Os ácidos graxos de origem animal apresentam geralmente uma estrutura bem simples, ou seja, têm cadeia reta, a qual pode conter até seis duplas ligações.

Os peixes, assim como os demais animais são incapazes de produzir endogenamente as famílias ômega-9, ômega-6 e ômega-3 que, devem ser supridas pela alimentação. Dessa forma, os ácidos oléico, linoléico e α -linolênico, precursores destas famílias, são essenciais para estes animais, sendo sintetizados somente pelas plantas. A Figura 5 mostra o esquema da biossíntese de ácidos graxos das séries ômega-9, ômega-6 e ômega-3, em animais e plantas.

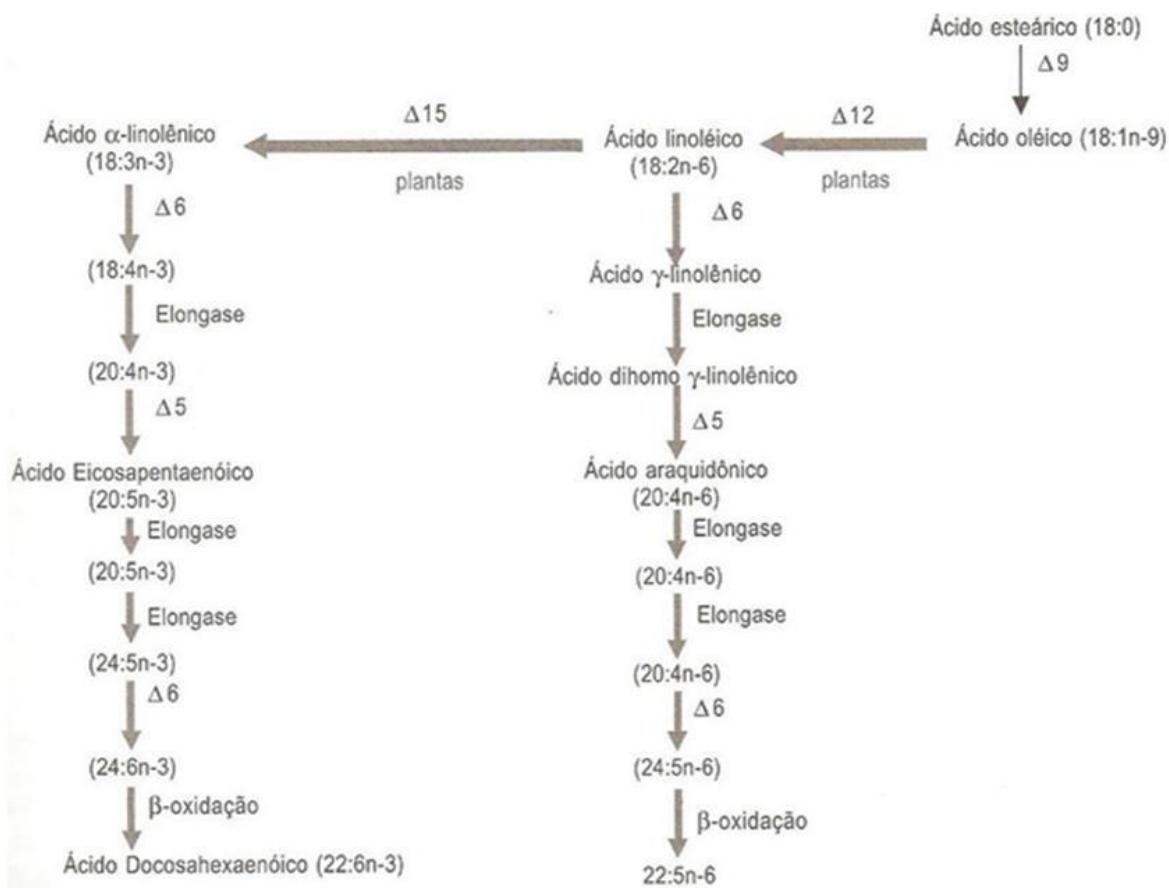


FIGURA 5 Esquema ilustrativo da biossíntese de ácidos graxos (Adaptado de http://bioquimicadocolesterol.blogspot.com.br/2010/07/omega-3_16.html).

Primeiramente acreditava-se que o processo de biossíntese em peixes seguia o mesmo padrão que em mamíferos. Posteriormente, observou-se que os peixes marinhos não possuíam a capacidade de realizar tal processo de forma tão eficiente como a

maioria das espécies de água doce. Esta diferença influenciou de maneira significativa as exigências de ácidos graxos entre as espécies de água doce e marinha.

A cadeia alimentar marinha é formada por seres ricos em ômega-3, como o EPA e o DHA. Assim, os peixes marinhos perderam, pelo menos aparentemente, a capacidade de alongamento e dessaturação de ácidos graxos. Os peixes de água doce, de uma forma geral, possuem uma série de enzimas capazes de modificar o perfil da dieta e dos ácidos graxos, bem como dos produtos de sua biossíntese. Isto significa que muitas dessas espécies podem transformar um determinado ácido graxo em seu correspondente de cadeia mais longa. Por exemplo, o ácido α -linolênico (C18:3 n-3), pode ser convertido em EPA (C20:5 n-3) e este ainda pode originar o DHA (C22:6 n-3).

Ao contrário dos peixes de origem marinha, as espécies de água doce, como a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), carpa comum (*Cyprinus carpio*), bagre americano (*Ictalurus punctatus*), tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*), entre outros, possuem a capacidade de realizar o processo de biossíntese com muito mais eficiência. Esta capacidade permite a inclusão, na alimentação, de óleos vegetais, desde que contenham uma quantidade adequada de ácido α -linolênico, que será então convertido em EPA e DHA pelo sistema enzimático do peixe.

As dessaturases são específicas para posição e número de insaturações na cadeia do ácido graxo. A reação de dessaturação catalisada por dessaturases de ácidos graxos é um processo aeróbico que utiliza oxigênio molecular e elétrons, obtidos da cadeia de transporte de elétrons. Existem três tipos de dessaturases de ácidos graxos: acil-CoA, acil-lipídeo e acil-ACP dessaturase. A acil-CoA dessaturase é uma enzima de membrana que atua em reações de dessaturação de ácidos graxos esterificados a coenzima A (CoA), utilizando como doador de elétrons o citocromo *b5*. Está presente em animais, fungos e leveduras. A acil-ACP dessaturase é encontrada em plantas, atuando em reações de dessaturação de ácidos graxos ligados a uma proteína acil-carreadora (ACP). A acil-lipídeo dessaturase é uma enzima de membrana encontrada em plantas, fungos e cianobactérias.

Os ácidos graxos essenciais podem ser dessaturados e alongados dependendo da espécie, pela atividade das enzimas $\Delta 6$ e $\Delta 5$ dessaturase. Por exemplo, os gatos possuem baixa atividade da $\Delta 6$ dessaturase e possivelmente da $\Delta 5$ dessaturase também; peixes

marinhos apresentam atividade da $\Delta 6$ dessaturase, porém com limitações da $\Delta 5$ dessaturase, ao passo que os peixes de água doce como a truta, a carpa e a tilápia possuem atividade eficiente de ambas as dessaturases, podendo assim converter ácidos graxos essenciais a ácido araquidônico, EPA e DHA, por exemplo.

A $\Delta 6$ dessaturase, normalmente encontrada no retículo endoplasmático de células animais, catalisa reações de conversão de ácidos graxos essenciais a PUFAs, como a conversão do ácido linoléico em γ -linolênico e do ácido α -linolênico em estearidônico. A $\Delta 5$ dessaturase catalisa os passos finais da produção de PUFAs de 20 carbonos, como o ácido araquidônico e o EPA.

Os estudos da atividade destas enzimas são abundantes em ratos e camundongos, como uma maneira de contribuir para a medicina humana, buscando curas e tratamentos à doenças decorrentes do metabolismo anormal dos lipídeos. Porém, para outras espécies animais estas informações ainda são escassas.

A capacidade de alongar e dessaturar ácidos graxos gerando compostos fisiologicamente importantes para o desenvolvimento depende de uma série de fatores, entre eles, do sistema enzimático de cada espécie.

Uma outra maneira de aproveitar a capacidade de conversão destas espécies e, conseqüentemente, enriquecer sua carne com PUFAs é através da manipulação do plâncton dos tanques de criação. O plâncton, constituído basicamente por microalgas e microcrustáceos é uma fonte em potencial do ácido α -linolênico, precursor do EPA e do DHA.

A modulação da biossíntese de ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) é o ponto chave no tratamento de doenças crônicas como aterosclerose, diabetes, inflamações, câncer e doenças cardiovasculares.

Lipogênese

As principais rotas lipogênicas apresentam uma grande variação entre as espécies, tanto na sua disposição nos tecidos, quanto nos substratos para a síntese lipídica. Nos ratos, a lipogênese ocorre no tecido adiposo e fígado. No homem, no entanto, o tecido adiposo pode não ser considerado um sítio tão importante e o fígado, muitas vezes, apresenta baixa atividade lipogênica. Em algumas espécies de pássaros,

por exemplo, a síntese de lipídeos acontece exclusivamente no tecido hepático, onde é particularmente importante no fornecimento de lipídeos para a formação do ovo.

Os processos lipogênicos e lipolíticos em peixes são, em geral, comparáveis a maioria dos animais mamíferos. Assim, os ácidos graxos oriundos da quebra dos lipídeos da dieta podem ser incorporados à estrutura dos fosfolipídeos, armazenados como lipídeos de reserva ou oxidados para fornecer energia.

As vias lipogênicas encontram-se mais ativas no período absorptivo do animal, quando a ingestão de energia pela dieta excede o gasto energético pelo organismo. A síntese dos ácidos graxos é favorecida pela disponibilidade de substratos (acetil-CoA e NADPH, derivados do metabolismo da glicose) e pela ativação da enzima acetil-CoA carboxilase, que irá catalisar a reação para formação de malonil-CoA a partir de acetil-CoA. A síntese do triacilglicerol é também favorecida. Esse triacilglicerol formado é envolto, no fígado, em partículas de lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL), que seguem até tecidos extra-hepáticos, como o tecido adiposo e muscular.

A taxa lipogênica em peixes de água doce é regulada principalmente por fatores nutricionais. Sabe-se, por exemplo, que os lipídeos da dieta podem suprimir a lipogênese. Assim, um aumento na relação gordura/proteína da dieta inibe a lipogênese em carpa comum (*Cyprinus carpio*), sendo que os altos níveis de lipídeos dietéticos promovem uma redução na atividade das enzimas lipogênicas em juvenis de “yellowtail” (*Seriola quinqueradiata*). Porém, quando se aumenta a relação carboidrato/proteína da dieta, obtém-se um aumento proporcional na lipogênese em trutas.

Estudos com “turbot” (*Psetta máxima*), uma espécie teleóstea marinha, mostram que a atividade de algumas enzimas hepáticas que participam dos processos de lipogênese, como a glicose-6-fosfato desidrogenase, enzima málica e a acetil-CoA carboxilase, apresenta uma pequena resposta ao aumento no teor de lipídeos da dieta.

As diferentes fontes de gordura influenciam os processos lipogênicos no organismo, porém, o grau dessa influência irá depender da espécie em questão.

Dietas com altos níveis de ácidos graxos poliinsaturados diminuem a capacidade lipogênica do fígado e tecido adiposo de ratos e camundongos, mas pode estimular a lipogênese no tecido adiposo de suínos.

Pesquisas realizadas com carpa comum (*Cyprinus carpio*) mostram que dietas contendo ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 reduzem a lipogênese e o catabolismo de aminoácidos no hepatopâncreas desses peixes. Observou-se também, em estudos com truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), que a atividade dos ácidos graxos saturados, nos hepatócitos, sofre uma diminuição significativa pelo aumento dos ácidos graxos poliinsaturados, especialmente pelo ácido α -linolênico (C18:3 n-3), ácido eicosapentaenóico ou EPA (C20:5 n-3) e ácido docosahexaenóico ou DHA (C22:6 n-3).

Dietas contendo altos teores de gordura são responsáveis, ainda, pela redução da V_{max} , da atividade específica e da eficiência catalítica da glicose-6-fosfato desidrogenase hepática em truta arco-íris. Embora o tecido adiposo tenha alguma capacidade lipogênica nas trutas, o fígado é quantitativamente o principal sítio de síntese lipídica nesta espécie.

3.3.2 Exigências e perfil lipídico dos peixes

Diversos estudos sobre o metabolismo de ácidos graxos em peixes demonstram que as exigências variam de acordo com a espécie. Isto é evidente quando se compara o perfil de ácidos graxos de espécies marinhas e de água doce. A Tabela 5 apresenta as exigências de ácidos graxos poliinsaturados para algumas espécies de peixes.

TABELA 5 Exigência de ácidos graxos essenciais em peixes.

| Espécie | Ácido graxo | Exigência |
|--|-----------------------|------------------|
| Bagre americano (<i>Ictalurus punctatus</i>) | C18:2 n-6 e n-3 HUFA | 1-2% |
| Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) | C18:3 n-3 | 1,0% |
| Salmão chum (<i>Oncorhynchus keta</i>) | C18:3 n-3 e C18:2 n-6 | 1,0% |
| Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>) | C18:3 n-3 e C18:2 n-6 | 0,8% |
| Carpa capim (<i>Ctenopharyngodon idella</i>) | C18:3 n-3 e C18:2 n-6 | 0,5% |
| Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) | C18:2 n-6 | 0,5% |
| Besugo (<i>Chrysophrys major</i>) | C20:5 n-3 | 0,50% |

Fonte: Adaptado de Martino (2003)

A composição de ácidos graxos de peixes tropicais encontra-se já bem documentada no Brasil, sendo que algumas informações foram obtidas de espécies

selvagens, enquanto outras foram obtidas com espécies cultivadas e, portanto, alimentadas com dietas artificiais. O conhecimento do padrão básico de ácidos graxos em espécies selvagens é difícil de se obter, devido à variabilidade de alimentação natural destas espécies.

A maior temperatura do ambiente tropical favorece o acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa pelos peixes brasileiros. Estes ácidos graxos chegam a representar até 80% do perfil lipídico completo, em algumas espécies.

A Tabela 6 apresenta o perfil lipídico básico de algumas espécies de peixes tropicais de água doce e marinhos, determinado por diferentes pesquisadores.

TABELA 6 Perfil lipídico básico de peixes tropicais de água doce e marinhos, em % de ácidos graxos.

| ESPÉCIES | ÁCIDOS GRAXOS | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| | 14:0 | 16:0 | 16:1 | 18:1 | 18:2 | 18:3 | 20:4 | 20:5 | 22:6 |
| Água doce | | | | | | | | | |
| Mandi ¹ | 3,33 | 17,17 | 11,17 | 33,23 | 7,32 | 5,23 | tr | tr | tr |
| Curimba ² | 3,30 | 32,00 | 14,60 | 22,90 | 3,70 | 5,60 | tr | tr | tr |
| Tambaqui ³ | 0,70 | 14,60 | 1,20 | 28,60 | 26,10 | 9,10 | 1,80 | 0,50 | 1,60 |
| Marinha | | | | | | | | | |
| Sardinha ⁴ | 8,10 | 19,20 | 6,90 | 12,00 | tr | tr | tr | 13,60 | 9,90 |
| Arenque ⁵ | 7,00 | 16,00 | 6,00 | 13,00 | tr | tr | tr | 5,00 | 6,00 |
| Cação-azul ⁶ | 1,80 | 17,80 | 3,30 | 14,50 | tr | tr | tr | 5,10 | 31,80 |
| Raia ⁷ | 1,20 | 14,60 | 2,30 | 15,60 | tr | tr | tr | 5,80 | 35,60 |

Fonte: Adaptado de Contreras-Guzmán (1998)

(tr) traços;

¹ *Pimelodus clarias* (Oetterer & Almeida Lima, 1980);

² *Prochilodus linneatus* (Maia et al., 1983);

³ *Colossoma macropomum* (Maia et al., 1992);

⁴ *Sardinella brasiliensis* (Nunes et al., 1980);

⁵ *Clupea harengus* (Internacional Association of Fish Meal Manufacturers, 1986);

⁶ *Prionace glauca* (Pizzardi, 1987);

⁷ *Raia* sp. (Instituto de Fomento Pesqueiro, 1983).

O perfil de ácidos graxos dos peixes é diretamente influenciado por parâmetros fisiológicos e ambientais, podendo, desta forma, em muitas situações, ser manipulado para a obtenção de alguns benefícios. Dentre os fatores que interferem na composição

de ácidos graxos que compõem os lipídeos do pescado destacam-se os fatores ambientais e a alimentação dos peixes.

Influência de fatores ambientais

Sabe-se que fatores como salinidade e temperatura influenciam de maneira bastante acentuada o metabolismo das diferentes espécies de peixes, afetando suas exigências de ácidos graxos, entre outros fatores.

Uma estratégia importante de muitos teleósteos para a adaptação à temperatura é o aumento na proporção de ácidos graxos insaturados na membrana fosfolipídica. O nível de ácidos graxos insaturados no organismo depende não só da composição da dieta como também da dessaturação dos ácidos graxos. A dessaturação dos ácidos graxos de membrana tem sido considerada como um importante mecanismo de adaptação ao estresse térmico em peixes. Alterações na composição do ácido graxo do fosfolípido de membranas celulares evidenciam a adaptação ao frio para manter a sua fluidez, e a maioria das respostas significativas para este estresse é o aumento dos níveis de ácidos graxos insaturados, observados em carpa (*Cyprinus carpio*) e truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*).

A esteroil-CoA dessaturase é uma enzima chave que catalisa reações para inserir duplas ligações na formação dos ácidos graxos insaturados. Este é também o primeiro e mais crítico passo na síntese de ácidos graxos insaturados no organismo. Conseqüentemente, a atividade da esteroil-CoA dessaturase influencia a composição dos ácidos graxos, que melhoram a fluidez das membranas celulares, assim como aumentam a capacidade adaptativa dos organismos aos ambientes frios.

Alterações paralelas na atividade da esteroil-CoA dessaturase e na composição de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) dos microsomas hepáticos em milkfish (*Chanos chanos*) foram observadas por pesquisadores, durante um estudo de aclimatação a 15°C. Em resposta à temperatura fria, a atividade da esteroil-CoA dessaturase aumentou significativamente de 1,25 para 3,08mmol/min/g proteína, sendo de 2,3mmol/min/g proteína a 25°C, seguida por uma tendência a um declínio até os níveis originais, como um sinal de recuperação fisiológica (Figura 6). A atividade da esteroil-CoA dessaturase aumentou com a queda na temperatura ambiental, fato este

também observado em carpa comum e truta arco-íris, mas o nível e a duração da elevação desta atividade varia conforme a espécie.

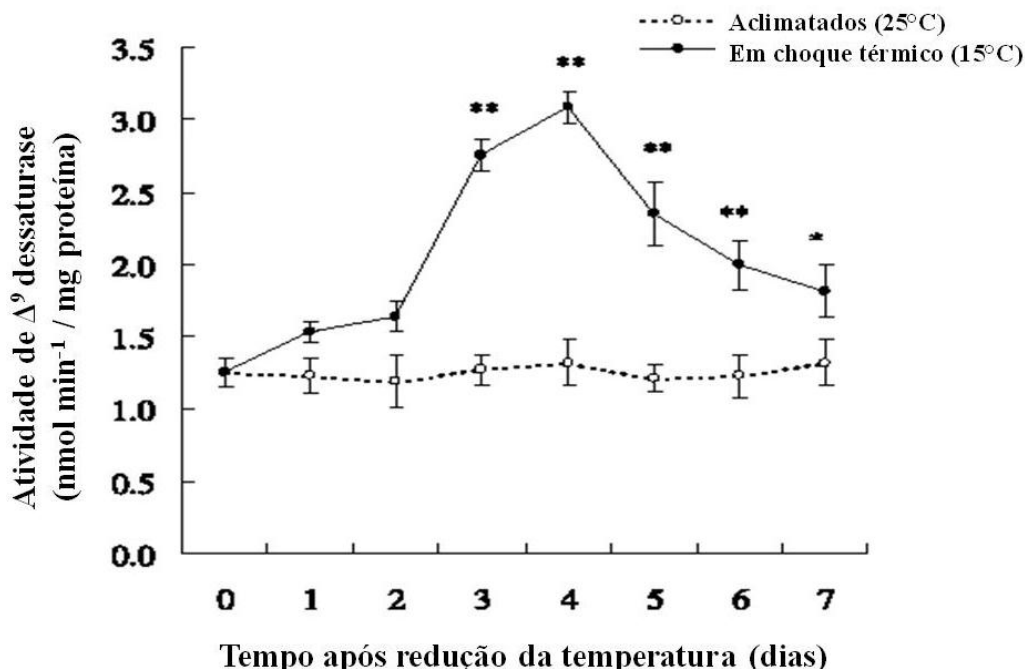


FIGURA 6 Alterações na atividade da esteroil-CoA dessaturase nos microsomas hepáticos do milkfish (*Chanos chanus*), em aclimatação de 25°C para 15°C (Fonte: Hsieh et al., 2003).

A atividade desta enzima no fígado de carpa comum, um peixe de água tropical, mas tolerante às águas mais frias, foi de 6,9mmol/min/g proteína, quando a temperatura foi reduzida de 30°C para 10°C, sendo muito maior do que a observada para o milkfish. A atividade da esteroil-CoA dessaturase em truta arco-íris durante a redução de temperatura de 20°C para 5°C aumentou de 0,27 para 0,54mmol/min/g proteína. O milkfish é incapaz de sobreviver ao processo de aclimatação à baixa temperatura se o nível de atividade da esteroil-CoA dessaturase não sofrer elevação. O aumento na atividade desta enzima em baixas temperaturas induz um aumento na proporção de ácidos graxos insaturados, que são essenciais para a manutenção da fluidez de membrana em situações de adaptação ao frio, assim como melhoram a capacidade adaptativa de muitas espécies em condições frias (Figura 7).

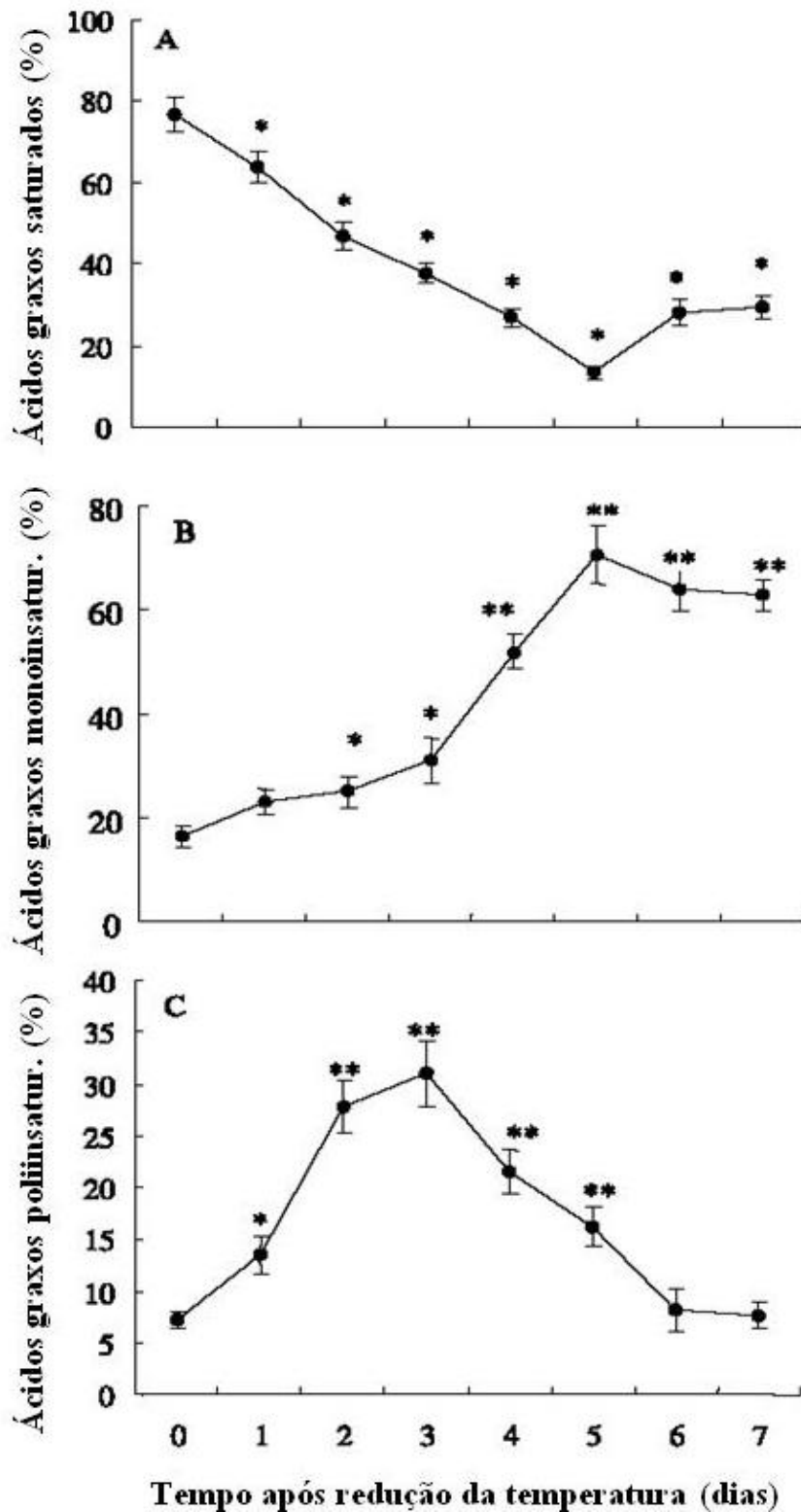


FIGURA 7 Alterações na composição de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poliinsaturados no fígado de milkfish (*Chanus chanus*), durante a adaptação a mudança de temperatura, de 25°C para 15°C (Fonte: Hsieh et al., 2003).

A capacidade de aumento da atividade da esteroil-CoA dessaturase varia conforme a espécie e favorece a tolerância térmica de peixes teleósteos.

Na avaliação do perfil lipídico da tilápia nilótica, por exemplo, obtida em rios, foram encontrados valores de 8,95% de ácidos graxos no verão e 4,10% no inverno, porém, com uma maior proporção de poliinsaturados na época fria em relação aos saturados e monoinsaturados. Esta variação pode ser explicada pela diminuição evidente na temperatura, que, por consequência, reduz a disponibilidade de alimento natural para os peixes.

Influência da alimentação

Ainda que se leve em consideração a influência de parâmetros ambientais na determinação das exigências lipídicas para peixes, a alimentação é sem dúvida o fator que mais contribui para o perfil de ácidos graxos desses animais.

A base da cadeia alimentar marinha é constituída por algas unicelulares, compostas por, aproximadamente, 20% de seu peso seco de lipídeos, sendo que 50% desses lipídeos se encontram sob a forma de ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs), principalmente da série ômega-3. As microalgas de água doce possuem uma constituição de ácidos graxos muito similar às de origem marinha. Entretanto, o perfil lipídico destas algas apresenta-se com uma maior concentração de ácidos graxos poliinsaturados da série ômega-6. Essa diferença vem caracterizar e determinar a composição de ácidos graxos entre as espécies de peixes de água doce e marinha.

Uma maneira prática de enriquecer a alimentação de peixes criados em cativeiro é através do uso de alimento natural, que pode ser obtido pela fertilização dos tanques com adubo orgânico e/ou químico. O plâncton constitui um item obrigatório na dieta de quase todos os alevinos e de muitas espécies de peixes filtradores. O zooplâncton acumula suas reservas energéticas predominantemente sob a forma de lipídeos. A composição em ácidos graxos da carcaça destes peixes irá depender de sua alimentação e, conseqüentemente, de sua capacidade filtradora.

Em estudos de diferentes condições de cultivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) observou-se que os filés provenientes de tanque adubado apresentaram maior teor protéico e menor deposição lipídica, tendo seu perfil lipídico, uma melhor relação n-3/n-6, com altos níveis de DHA (ácido docosahexaenóico), o que reflete a composição lipídica do alimento natural obtido com a fertilização mista (química e orgânica). A

Figura 8 ilustra os resultados obtidos neste pesquisa, sendo: tratamento 1- tanque de alvenaria com ração comercial; tratamento 2- tanque de terra com ração comercial; tratamento 3- tanque de terra adubado.

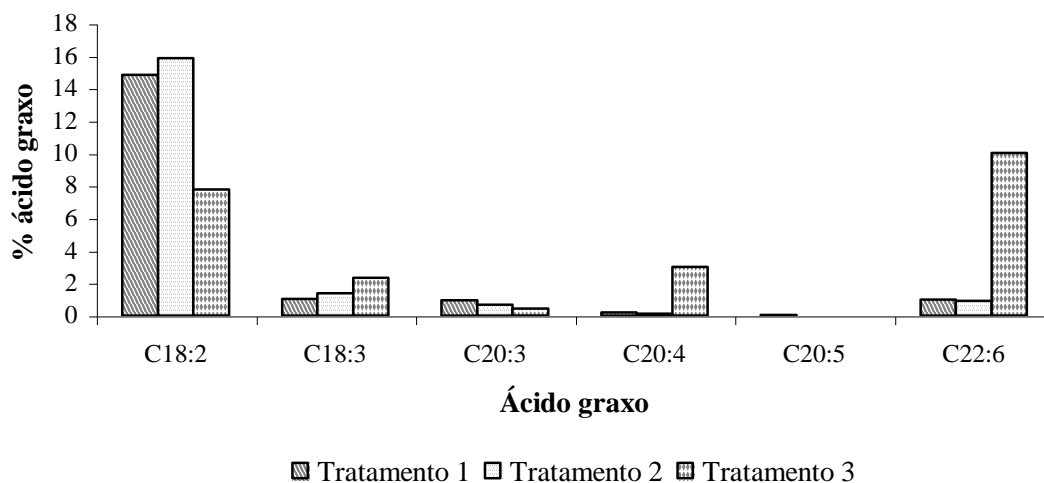


FIGURA 8 Histograma representativo dos valores médios dos principais ácidos graxos das séries n-6 e n-3 encontrados nos filés de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), mantida em 3 sistemas de cultivo (Fonte: Ribeiro et al., 2011).

Comprovando ainda a influência da dieta na composição lipídica dos peixes, estudos da composição corporal de ácidos graxos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dietas a base de torta de girassol e óleo de milho, em substituição à farinha de peixe, mostram uma influência significativa da dieta sobre o perfil lipídico dos animais. Os peixes alimentados com dietas contendo os substituintes (óleo de milho e torta de girassol) apresentaram teores elevados dos ácidos palmítico (C16:0), oléico (C18:0) e linoléico (C18:2 n-6), sendo de 31,3%, 34,7% e 29,7%, respectivamente, enquanto que os animais alimentados com a dieta controle (farinha de peixe) mostraram níveis menores destes compostos (13,8%). No entanto, para os ácidos graxos de cadeia longa, principalmente os ácidos eicosapentaenóico (C20:5 n-3) e docosahexaenóico (C22:6 n-3), a dieta controle proporcionou teores mais elevados na carcaça das tilápias, uma vez que a farinha de peixe é naturalmente mais rica nestes compostos quando comparada ao milho e girassol.

O reflexo da alimentação no perfil lipídico de peixes também foi verificado em estudo com turbot (*Psetta maxima*), substituindo-se o óleo de peixe da dieta por óleo de soja ou óleo de linhaça. Observou-se um reflexo da dieta na composição de ácidos

graxos do fígado e tecido muscular dos peixes. Os animais alimentados com dietas contendo óleo de soja apresentaram maiores teores de C18:2 n-6, enquanto aqueles que receberam rações contendo óleo de linhaça revelaram níveis mais elevados de C18:3 n-3.

3.3.3 Lipídios na formulação de dietas para peixes

Uma enorme variedade de lipídeos, de origem vegetal ou de origem animal, é utilizada como ingrediente em rações para peixes. As gorduras de animais terrestres são fontes lipídicas muito utilizadas em rações para organismos aquáticos, uma vez apresentam preços mais acessíveis. No entanto, essas fontes lipídicas são deficientes em ácidos graxos essenciais e, portanto, requerem uma associação com outras fontes que venham suprir a exigência destes animais quanto aos ácidos graxos essenciais.

Os lipídeos de origem marinha, como por exemplo, o óleo de fígado de bacalhau e o óleo de fígado de lula, entre outros, são ricos em EPA e DHA e têm sido utilizados tanto em rações para peixes de água doce, principalmente os salmonídeos, como para algumas espécies de peixes e camarões marinhos. O que limita o uso destas fontes lipídicas na elaboração de rações para a aquicultura é o custo. Atualmente o preço do óleo de peixe é maior do que o dos óleos de origem vegetal e dessa forma, torna-se difícil sua utilização em larga escala.

No ano de 2000, a produção de óleo de peixe foi de aproximadamente 1,32 milhões de toneladas e cerca de 570.000 toneladas foram utilizadas em rações para a aquicultura. A Figura 9 mostra as proporções de utilização do óleo de peixe em rações para aquicultura.

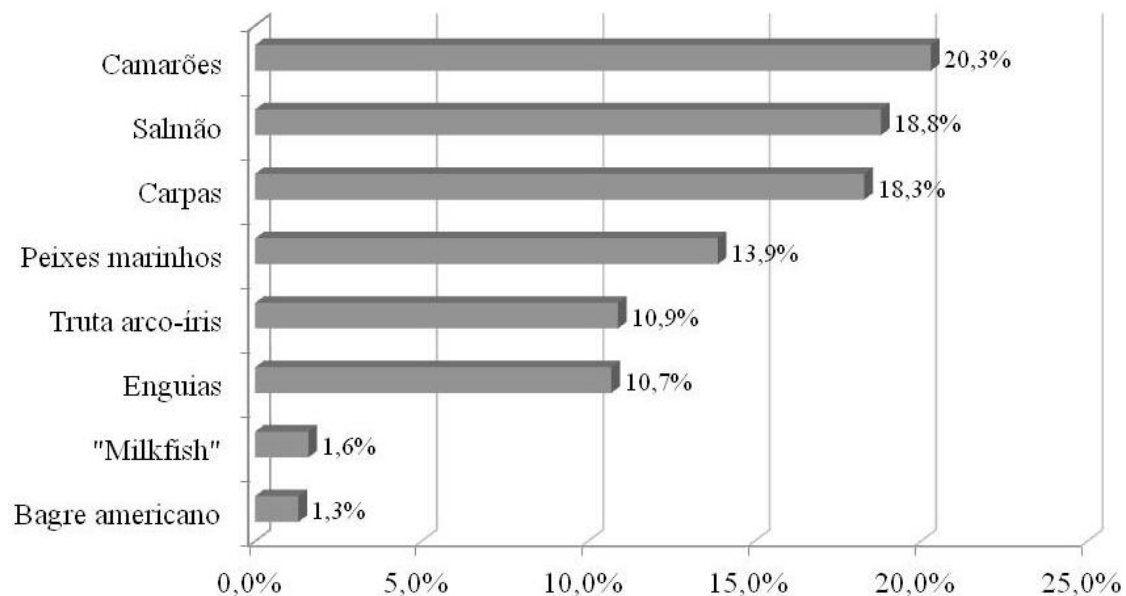


FIGURA 9 Utilização de óleo de peixe em rações para organismos aquáticos (Fonte: Adaptado de Martino, 2003).

Além do óleo de peixe, também são utilizados em larga escala, óleos vegetais como o de linhaça, canola e soja, que contêm quantidades consideráveis de ácido α -linolênico (C18:3 n-3). A semente de linhaça, por exemplo, apresenta cerca de 35% de lipídeos, dos quais praticamente a metade é de C18:3 n-3. Estes óleos podem ser adicionados às rações, tomando-se os devidos cuidados no balanceamento, de forma a manter uma relação adequada entre ácidos graxos n-6/n-3, para o perfeito aproveitamento dos mesmos.

3.4 PROTEÍNAS PARA PEIXES

As proteínas de fontes animais apresentam maior valor biológico, quando comparadas às proteínas de origem vegetal, por apresentarem uma composição aminoácídica mais próxima do tecido animal, de uma forma geral. A maior parte do nitrogênio da dieta é consumida sob a forma de proteína.

A proteína é o nutriente de maior expressão nas rações formuladas para peixes, uma vez que seu nível nas dietas é relativamente alto quando comparados aos níveis protéicos de rações para outros animais.

Seu custo de inclusão é elevado, podendo influenciar nos custos finais de produção dentro de uma piscicultura. Portanto, um dos principais objetivos da nutrição de peixes é obter uma máxima incorporação da proteína proveniente da dieta, com um bom aproveitamento para o crescimento corporal e desempenho dos animais. Para uma adequada deposição de proteína muscular, em todas espécies de peixes, é necessário o fornecimento de dietas com níveis protéicos elevados.

Cerca de 65 a 75% do peso total dos peixes (em base de matéria seca) é constituído pela proteína. Um adequado suprimento protéico é necessário para se obter bom desempenho, sem comprometer a qualidade da água dos tanques de criação.

3.4.1. Metabolismo proteico em peixes

Digestão, absorção e transporte

As enzimas proteolíticas são secretadas no estômago, juntamente com ácido clorídrico, para o início da digestão protéica. As células oxintopépticas, são responsáveis pela secreção de ácido clorídrico e pepsinogênio. A produção do ácido clorídrico é estimulada pela acetilcolina, gastrina e histamina, e sua principal função é ativar o pepsinogênio pela remoção de um peptídeo de baixo peso molecular, transformando-o em pepsina, a qual continua o processo de transformação por autocatálise.

A pepsina tem ação sobre as fibras conjuntivas do tecido animal e a cobertura celulósica dos vegetais, complementando a mastigação. Atua também na desnaturação das proteínas, tornando-as mais susceptíveis à hidrólise efetuada pelas proteases. A pepsina apresenta atividade ótima em pH próximo de 2,0 e, em alguns peixes, pode ter um segundo pH ótimo ao redor de 4,0. Esta endopeptidase é de relevante importância para as espécies carnívoras (traíra, pintado, dourado, por exemplo), pois inicia a digestão das proteínas atuando sobre suas ligações peptídicas, liberando peptídios e alguns aminoácidos livres.

Espécies onívoras e herbívoras, que possuem pH estomacal bastante ácido (entre 1,0 e 2,0), apresentam uma maior capacidade de decompor a clorofila e quebrar as paredes celulares de algas, possibilitando, assim, a digestão intestinal por permitir que as enzimas entrem em contato com o conteúdo das células vegetais. Peixes agástricos, como, por exemplo, a carpa comum (*Cyprinus carpio*) não produzem HCl ou

pepsinogênio, e portanto, toda a digestão ocorre em meio alcalino, não apresentando, dessa forma, reação ácida no trato gastrointestinal.

As glândulas de Lieberkühn intestinais secretam, entre outros compostos, enzimas proteolíticas. As peptidases encontradas são de dois tipos: aminopeptidases, exopeptidases que liberam resíduos N-terminal dos oligopeptídeos para produzir aminoácidos livres e peptídeos menores, e as dipeptidases e tripeptidases, que atuam nas ligações peptídicas dos di e tripeptídios, liberando os seus aminoácidos componentes.

As proteases de origem pancreática e intestinal apresentam maior atividade em condições alcalinas. Essas enzimas são liberadas pelo pâncreas, na porção inicial do intestino e cecos pilóricos. Peptídeos e nutrientes ingeridos, presentes na luz duodenal, favorecem a secreção de pancreozinina, hormônio produzido na mucosa intestinal, que estimula o pâncreas a secretar pró-enzimas ou zimogênios, precursores enzimáticos da tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidase, quitinase, ribonuclease, entre outras. Estas enzimas são ativadas no intestino pela enteroquinase, que converte o zimogênio pancreático tripsinogênio em tripsina pela remoção de um hexapeptídeo N-terminal, como ocorre nos vertebrados superiores. A tripsina converte outras moléculas de tripsinogênio em tripsina. Assim, a enteroquinase desencadeia uma cascata de atividade proteolítica, pois a tripsina é o ativador comum de todos os zimogênios pancreáticos.

Nos peixes que se alimentam de insetos ou crustáceos o suco pancreático contém grande concentração de quitinases, para quebrar a quitina existente no exoesqueleto desses animais. Existem, provavelmente, outras proteases presentes no intestino dos peixes. Em espécies carnívoras a atividade das enzimas proteolíticas parece ser maior quando comparada a de espécies herbívoras e onívoras.

A absorção dos aminoácidos livres, que ocorre na membrana apical do enterócito, é realizada através de transportadores específicos dependentes de Na^+ , de transportadores não-dependentes de Na^+ e por difusão. A absorção do aminoácido e do sódio não gasta energia diretamente, mas é dependente de um gradiente formado por um sistema de transporte ativo, usualmente a bomba de Na^+/K^+ . Este mecanismo cria um gradiente de sódio favorável à sua entrada no enterócito. Desse modo, o Na^+ tende a entrar e, como o transportador só funciona se houver um aminoácido conectado, acaba por carregar ambos para dentro da célula. Do interior do enterócito, o aminoácido passa por difusão para os capilares sangüíneos existentes nas dobras intestinais. Quando dois

aminoácidos são absorvidos pelo mesmo transportador, a presença de grandes quantidades de um dos aminoácidos inibe a absorção do outro. Assim, é necessária a correta formulação das dietas para peixes, quanto ao teor e proporção de aminoácidos. Pode ocorrer também a absorção de alguns aminoácidos através de mais de um tipo de transportador, de modo que nem todas as interações entre os aminoácidos resultam em competição.

Vários estudos indicam que as taxas de transporte de aminoácidos no intestino de peixes herbívoros e onívoros são menores do que em peixes carnívoros.

As proteínas também podem ser absorvidas inteiras, através da pinocitose, ou na forma de di e tripeptídeos. A absorção ocorre na porção posterior do intestino médio, independentemente do tipo de dieta e da idade do animal, sendo posteriormente hidrolisadas a aminoácidos no citossol dos enterócitos, antes de entrarem na corrente sanguínea. Os transportadores para estes pequenos peptídeos são diferentes dos transportadores de aminoácidos, parecendo ser dependentes de um transporte de H^+ e não de Na^+ . Neste caso, o co-transporte de Na^+/H^+ forma um gradiente favorável à entrada do hidrogênio no enterócito, o qual, aparentemente, favorece a absorção dos peptídeos.

Acredita-se que a absorção dos peptídeos seja mais rápida que a absorção dos seus respectivos aminoácidos na forma livre. Logo, uma suplementação com aminoácidos livres não é a melhor maneira de aumentar a absorção de proteínas ou complementar uma ração que apresenta deficiência de um determinado aminoácido. Esta característica pode explicar o fato dos peixes, quando alimentados com dietas à base de aminoácidos livres, apresentarem menor crescimento quando comparados àqueles alimentados com proteínas.

3.4.2 Exigências de proteína para peixes

Para que se tenha uma utilização satisfatória da proteína ingerida, é necessário estabelecer um nível mínimo de proteína na dieta, com um aporte adequado de aminoácidos, que assegure sua presença nos locais de síntese.

Estes níveis ótimos para o crescimento correspondem ao conceito de "requerimento protéico", que por sua vez, equivale ao requerimento de cada um dos

aminoácidos essenciais e não essenciais, presentes nas fontes protéicas mais utilizadas na formulação de dietas para animais.

A primeira determinação das necessidades protéicas para peixes foi realizada com salmão (*Oncorhynchus tshawytscha*), por De Long et al., em 1958. Em geral, os ensaios são feitos com animais jovens, por um longo período de tempo, alimentando-os com dietas contendo proteína de alta qualidade e balanço adequado de energia e nutrientes essenciais.

As concentrações ótimas de proteína nas dietas para peixes estão associadas a um balanço equilibrado entre proteína e energia, onde se deve dar atenção especial à qualidade da proteína empregada (padrão adequado de aminoácidos disponíveis) e às fontes de energia não protéicas (lipídios e carboidratos). A Tabela 7 mostra a relação proteína energia para algumas espécies de interesse zootécnico.

TABELA 7 Relação proteína/energia para algumas espécies de peixes.

| Espécie | PV (g) | PD (%) | ED (Kcal/Kg) | PD/ED (mg/Kcal) |
|---|---------------|---------------|---------------------|------------------------|
| Bagre americano (<i>Ictalurus punctatus</i>) | 34,00 | 28,80 | 3070,00 | 84,00 |
| Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) | 33,00 | 42,00 | 3600,00 | 92,00 |
| Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) | 40,00 | 26,71 | 2840,00 | 94,05 |
| Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>) | 20,00 | 31,50 | 2900,00 | 108,60 |

Fonte: Zimmermann et al. (2001)

PV – peso vivo;

PD – proteína digestível;

ED – energia digestível

A qualidade da proteína é basicamente definida pela sua digestibilidade e seu conteúdo em aminoácidos essenciais. Porém, sabe-se que existem inúmeros fatores que podem alterar o requerimento protéico dos peixes, afetando a digestão da proteína, bem como sua absorção e utilização metabólica. Entre estes fatores destacam-se:

- hábito alimentar, sendo a exigência para carnívoros maior que para onívoros e herbívoros;
- tamanho do peixe;
- conteúdo de energia da dieta;

- frequência de alimentação: aumentando-se a frequência de alimentação ocorrerá um melhor aproveitamento da proteína, com conseqüente diminuição do seu requerimento;
- estado fisiológico dos animais, sendo a exigência maior para o crescimento em relação à manutenção;
- temperatura: a exigência tende a aumentar de acordo com a elevação da temperatura da água;
- salinidade;
- interações com outros nutrientes, processamento da ração.

A síntese de proteína pode ser mensurada através do uso da dosagem da proteína em g PB/dia (nos tecidos), ou por g de RNA.

Sabe-se que a síntese de proteína é normalmente elevada no intestino, rins, baço e fígado, porém, em peixes, essa síntese é baixa nos músculos, diferentemente das demais espécies animais. Isto pode estar associado a uma interferência da temperatura.

A Tabela 8 apresenta a síntese de proteína variando de acordo com o tecido analisado e com a espécie em estudo.

TABELA 8 Nível de síntese protéica em diferentes tecidos de algumas espécies de peixes.

| Espécie | Temperatura | Fígado | Brânquias | Músculo |
|--------------------------------------|--------------------|---------------|------------------|----------------|
| Peixes Antárticos | -1,5°C | 4 - 9,2g | 1,3 - 5,3g | 1,1 - 0,2g |
| Truta arco-íris (<i>O. mykiss</i>) | 12°C | 17g | 4,7g | 0,38g |
| Peixes tropicais | 26 - 28°C | -- | 13 - 23g | 2,2 - 3,5g |

Fonte: Adaptado de Cowey & Luquet (1983), citados por Kim & Lall (2001).

As rações para peixes possuem elevado teor protéico quando comparadas as de suínos e aves, sendo que estes valores são ainda mais elevados quando se trata de espécies de peixes carnívoros. Para peixes carnívoros, o teor de proteína da dieta pode variar, ainda, de acordo com a fonte de energia. Lipídeos e proteínas são fontes primárias de energia em relação aos carboidratos, que possuem baixo valor energético para estas espécies.

A Tabela 9 agrupa valores de exigência protéica para espécies de diferentes hábitos alimentares.

TABELA 9 Exigência de proteína para peixes.

| Espécie | Exigência | Referência |
|--|------------------|-----------------------------|
| Bagre americano (<i>Ictalatus punctatus</i>) | 35% | Gaylord & Gatlin (2001) |
| Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) | 40% | Zimmermann et al. (2001) |
| Salmão do Atlântico (<i>Salmo salar</i>) | 45% | Zimmermann et al. (2001) |
| Trairão (<i>Hoplias lacerdae</i>) | 42% | Luz et al. (2001) |
| Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>) | 32% | Zimmermann et al. (2001) |
| Piracanjuba (<i>Brycon orbignyanus</i>) | 28% | Macedo-Viegas et al. (2000) |
| Matrinã (<i>Brycon cephalus</i>) | 28% | Macedo-Viegas et al. (2000) |
| Piaba (<i>Leporinus friderici</i>) | 32% | Zimmermann et al. (2001) |
| Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) | 32% | Furuya et al. (2000) |

A eficiência de retenção de proteína está inversamente relacionada com o aumento de proteína na ração, fato este observado em estudos com alevinos de “abalone” (*Haliotis midae*) e de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Para alevinos e juvenis, o nível de proteína bruta estimado para máximo ganho de peso fornece um excesso desse nutriente, reduzindo a eficiência de sua utilização, já que uma parte não é empregada na síntese protéica. O nível de proteína bruta estimado para se obter o menor custo em ração/Kg de ganho de peso para alevinos revertidos de tilápia do Nilo, por exemplo, é de 32%. A análise econômica destaca-se pela importante participação deste fator no custo de produção final.

Na Tabela 10 são apresentadas sugestões quanto à composição nutricional básica e a forma de apresentação (péletes), de rações para tilápias em diferentes fases de desenvolvimento e sistemas de cultivo.

TABELA 10 Níveis de proteína bruta (PB) e energia digestível (ED) em rações para tilápia, em diferentes fases de desenvolvimento e sistemas de cultivo.

| Fases e sistemas de cultivo | Peso peixe (g) | Biomassa econômica (Kg/ha) | PB (%) | ED (Kcal/Kg) | Pélete (mm) |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|
| Reversão | até 6cm | -- | 40-45 | 3600-3800 | 0,4-1,5 |
| Recria (viveiros c/ plâncton) | 5-100 | > 4000 | 28-32 | 2800-3200 | 2 a 4 |
| Recria (viveiros c/ plâncton) | 5-100 | < 4000 | 24-28 | 2600-2800 | 2 a 4 |
| Recria (tanque-rede e raceways) | 5-100 | -- | 36-40 | 3200-3600 | 2 a 4 |
| Engorda (viveiros c/ plâncton) | 100-600 | > 6000 | 28-32 | 2800-3000 | 4 a 6 |
| Engorda (viveiros c/ plâncton) | 100-600 | < 6000 | 24-28 | 2600-2800 | 4 a 6 |
| Engorda (tanque-rede e raceways) | 100-600 | -- | 32-36 | 2900-3200 | 4 a 6 |
| Reprodução (viveiros c/ plâncton) | -- | -- | 28-32 | 2800-3200 | -- |
| Reprodução (tanque-rede e raceways) | -- | -- | 32-36 | 3200-3600 | -- |

Fonte: Kubitza & Kubitza (2000)

3.4.3 Proteína ideal para peixes

O conceito de proteína ideal não é recente. Foi descrito por Mitchell e colaboradores, na década de 1960, e em suma, define a existência de uma combinação de aminoácidos, completa e prontamente disponível na digestão e metabolismo dos alimentos, podendo ser idêntica às exigências do animal. Este conceito foi inicialmente aplicado na elaboração de dietas para suínos, com o intuito de se obter um balanceamento adequado dos aminoácidos, otimizando dessa maneira, a utilização da proteína. Sua aplicação se fundamenta no fato de que, ainda que as exigências possam ser afetadas por diversos fatores, as relações entre os aminoácidos permanecem relativamente estáveis. Assim, a suplementação de aminoácidos com base no perfil de proteína ideal pode ter como vantagem, a flexibilidade para sua utilização, uma vez que as exigências podem ser influenciadas por fatores externos, dificultando o direcionamento das curvas de dose-resposta.

As exigências de proteína estão estreitamente relacionadas ao balanço de energia da dieta e à composição e digestibilidade dos aminoácidos dos ingredientes. As dietas para peixes apresentam elevado teor protéico, quando comparadas a outras espécies animais, como aves e suínos, por exemplo.

A utilização do conceito de proteína ideal para peixes tem proporcionado melhora no desempenho dos animais, com redução na excreção de nitrogênio para o meio ambiente. O nitrogênio é poluente, podendo levar a uma maior eutrofização do ambiente, com conseqüente colapso do sistema aquático. A utilização do padrão de aminoácidos para estimar as exigências para peixes tem sido estudada. Isto é possível devido à existência de alta correlação entre a composição de aminoácidos da carcaça e as exigências determinadas em experimentos de dose-resposta, sendo esta prática recomendada principalmente para as espécies recentemente introduzidas na piscicultura. É importante o fornecimento de uma dieta com balanceamento adequado dos aminoácidos, para maximizar a síntese protéica e reduzir a excreção de nitrogênio.

Espécies carnívoras como o pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*), por exemplo, requerem altos teores de proteína em suas dietas, em torno de 43%, e a relação energia digestível:proteína bruta é de 8,41. Pela dificuldade e custos gerados para executar inúmeros experimentos com testes de dose-resposta, visando a quantificação individual de cada aminoácido essencial, os nutricionistas vêm desenvolvendo técnicas que utilizam o conceito de “proteína ideal” para solucionar este problema, mantendo as relações ideais de aminoácidos, como base para o cálculo dos perfis de aminoácidos dietéticos. Na Tabela 11 encontra-se a composição de aminoácidos do tecido muscular do pintado.

TABELA 11 Valores de proteína bruta e aminoácidos do tecido muscular do pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*).

| Item | % MS | % PB |
|-------------------------|--------------|------|
| Proteína bruta | 86,73 | |
| Lisina | 7,91 | 9,12 |
| Metionina | 2,34 | 2,70 |
| Metionina + cistina | 3,35 | 3,86 |
| Treonina | 2,65 | 3,06 |
| Triptofano | 0,89 | 1,03 |
| Arginina | 5,38 | 6,20 |
| Histidina | 1,89 | 2,18 |
| Isoleucina | 3,38 | 3,90 |
| Leucina | 3,94 | 4,54 |
| Fenilalanina | 3,43 | 3,95 |
| Fenilalanina + tirosina | 6,08 | 7,01 |
| Valina | 4,15 | 4,78 |

Fonte: Furuya & Furuya (2003)

A lisina na carcaça (9,12%), representa cerca de 20% dos aminoácidos essenciais, evidenciando sua importância nos estudos de exigências visando sua adequada suplementação para obter melhor desempenho. A relação lisina:arginina sugere que a mesma deve estar próxima de 1,47:1, evitando assim, possíveis antagonismos entre estes aminoácidos. Esta relação é semelhante aos valores encontrados para outras espécies como o salmão (*Salmo salar*) e a truta arco-íris (*Onchorynchus mykiss*), de 1,40:1 e 1,32:1, respectivamente.

Na tentativa de determinar a exigência dos dez aminoácidos essenciais para espécies carnívoras, como o “black bass” (*Micropterus salmoides*), por exemplo, realizou-se um estudo de exigência em diferentes idades de crescimento para esta espécie, e que podem ser utilizadas como um parâmetro alternativo e bastante seguro para a formulação de rações. Assim, uma vez estabelecidas as exigências em lisina para uma determinada espécie em suas diferentes fases de desenvolvimento, todas as outras exigências em aminoácidos essenciais podem ser estimadas através do conceito de proteína ideal. A exemplo de outros animais monogástricos, a lisina é o primeiro aminoácido limitante para peixes na fase inicial de crescimento. A Tabela 12 mostra o perfil de aminoácidos do pintado (*P. coruscans*), bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) e da truta (*Onchorynchus mykiss*).

TABELA 12 Relação dos aminoácidos do tecido muscular de três espécies carnívoras.

| Aminoácido | Espécie | | |
|-------------------------|---------|----------------|-----------------|
| | Pintado | Bagre do canal | Truta arco-íris |
| Lisina | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Metionina | 29,58 | 34,31 | 33,92 |
| Metionina + cistina | 42,35 | 44,42 | 43,35 |
| Treonina | 33,50 | 51,82 | 56,07 |
| Triptofano | 11,25 | 9,17 | 10,95 |
| Arginina | 68,02 | 78,38 | 75,50 |
| Histidina | 23,89 | 25,50 | 34,86 |
| Isoleucina | 42,73 | 50,41 | 51,12 |
| Leucina | 49,81 | 86,96 | 89,40 |
| Fenilalanina | 43,36 | 48,65 | 51,59 |
| Fenilalanina + tirosina | 76,86 | 87,19 | 91,40 |
| Valina | 52,47 | 60,52 | 59,95 |

Fonte: Furuya & Furuya (2003)

A utilização do padrão de aminoácidos da carcaça para a suplementação de aminoácidos em rações é recomendada, principalmente, para as espécies em que as exigências ainda não foram determinadas em experimentos de dose-resposta. Porém, é válido ainda ressaltar que é de fundamental importância a determinação dos valores de digestibilidade, assim como a eficiência de utilização de aminoácidos sintéticos para peixes, informações estas que também contribuem para a elaboração de dietas mais precisas, maximizando assim, a síntese protéica e reduzindo a excreção nitrogenada no meio aquático.

O principal benefício da utilização do conceito de proteína ideal é assegurar que a qualidade da proteína, ou seja, seu valor biológico, não será afetado quando for necessário alterar as combinações e proporções dos ingredientes na dieta.

Deve-se lembrar que o objetivo na implantação de uma tecnologia baseada no conceito de proteína ideal não é, necessariamente, minimizar a quantidade de proteína catabolizada ou diminuir os níveis protéicos da ração pela suplementação de aminoácidos sintéticos na dieta, mas sim produzir uma dieta balanceada, com proteínas de alto valor biológico.

3.4.4 Excreção nitrogenada em peixes

Entre os diferentes organismos vivos, a síntese da uréia não é a única via de excreção de amônia e nem mesmo a mais comum. As bases para as diferenças entre as formas moleculares nas quais os grupos amino são excretados são representadas pela anatomia e fisiologia de cada espécie, bem como sua relação com seu habitat natural. Bactérias e protozoários de vida livre, por exemplo, simplesmente liberam a amônia para o ambiente, onde ela se torna altamente diluída e, por isso, considerada não tóxica. Os peixes ósseos retiram a amônia do sangue rapidamente pelas brânquias, por onde passa um grande volume de água. Embora sejam muito sensíveis à forma não ionizada (NH_3), os peixes são relativamente tolerantes à forma ionizada (NH_4^+).

Os organismos que excretam amônia não podem sobreviver em um ambiente onde a água é limitada. Sendo assim, a evolução das espécies terrestres dependeu de mutações que conferiram a capacidade de converter a amônia em substâncias não tóxicas, que podem ser excretadas em pequeno volume de água. Durante o processo

evolutivo apareceram dois métodos principais de excreção de nitrogênio: a conversão em uréia e a conversão em ácido úrico.

A importância do habitat e sua relação com a evolução animal na determinação da forma de excreção do nitrogênio podem ser ilustradas pelo modo de vida dos anfíbios, por exemplo. Os girinos são inteiramente aquáticos e excretam o nitrogênio na forma de amônia, através das brânquias. O fígado dos girinos não possui as enzimas necessárias para a conversão dessa amônia em uréia, mas durante o processo de metamorfose, o organismo começa a sintetizar essas enzimas, fazendo com que o animal perca então a capacidade de excretar a amônia. O anfíbio adulto, animal de hábitos terrestres, passa então a excretar o nitrogênio quase que integralmente na forma de uréia.

A amônia é o principal produto de excreção dos peixes, sendo responsável por 80% do total excretado por várias espécies. Esta molécula é derivada da digestão de proteínas e do catabolismo dos aminoácidos, e sua síntese é energeticamente mais eficiente que outros produtos de excreção, ocorrendo principalmente no fígado. A amônia produzida no metabolismo de espécies aquáticas é transportada pelo sistema sanguíneo até as brânquias, de onde é excretada para a água. Em solução aquosa, normalmente está em equilíbrio entre a forma ionizada (NH_4^+) e a não ionizada (NH_3).

A maioria das espécies de peixes teleósteos é amoniotélica, ou seja, apresenta a excreção do nitrogênio sob a forma predominante de amônia, com pequenas quantidades excretadas na forma de uréia e outros constituintes menos importantes. As espécies de água doce excretam o nitrogênio, normalmente, numa maior proporção como amônia, quando comparadas às espécies marinhas. Em teleósteos marinhos a amônia representa cerca de 80 - 90% do nitrogênio excretado. Normalmente considera-se como produtos finais de excreção de nitrogênio somente a amônia e a uréia, desprezando-se outros possíveis constituintes. No entanto, estudos da década de 1960 comprovam que cerca de 2 - 25% do nitrogênio total excretado por peixes marinhos ocorrem na forma de trimetilamina, óxido de trimetilamina, creatina e creatinina.

As formas predominantes de excreção do nitrogênio, assim como a quantidade em que são liberadas, depende primeiramente da anatomia e morfologia da espécie. O sistema excretor dos peixes regula o conteúdo de água corporal, mantém o equilíbrio salino e elimina os resíduos nitrogenados resultantes do metabolismo protéico. É

formado basicamente pelos rins e ureteres, cuja anatomia e morfologia muitas vezes dependem da espécie considerada. Peixes de água doce, por exemplo, apresentam rins maiores, com maior número de glomérulos, em função da baixa concentração do meio externo. Já as espécies marinhas, por viverem em ambiente altamente concentrado, possuem glomérulos pequenos e em número reduzido, eliminando também, o excesso de sal pelas brânquias.

O fígado é também o sítio principal de catabolismo dos aminoácidos nos peixes, e o NH_4^+ produzido pela transaminação/desaminação oxidativa e por outras reações é liberado do fígado para o sangue para ser transportado para as brânquias, onde é eliminado.

3.4.4.1 Principais produtos excretados

Amônia

A formação da amônia requer pequenas quantidades de energia quando comparada aos demais produtos nitrogenados de excreção. O processo de conversão envolve reações de desaminação do glutamato, sistemas de transaminação e geração de ATP.

Uma vantagem da excreção do nitrogênio na forma de amônia reside no fato de ser uma substância pequena, altamente solúvel, o que permite sua eliminação fácil por difusão. A forma ionizada (NH_4^+) rapidamente se converte em NH_3 (forma não ionizada), porém, sabe-se que a capacidade em manter a amônia sob a forma ionizada é melhorada com a absorção de íons sódio, pelas brânquias, em peixes de água doce. Este mecanismo está diretamente relacionado ao equilíbrio eletroquímico controlado pelo sódio no organismo.

Pesquisas realizadas com tambaqui (*Colossoma macropomum*) mostram que o principal produto de excreção dessa espécie de clima tropical é a amônia (93,7%), sendo que o restante (6,3%) é representado por outros produtos nitrogenados como a uréia, por exemplo. Ainda em estudos com tambaqui, há evidências de que a taxa de excreção de amônia varia de acordo com a temperatura da água e a massa do peixe, sendo possível observar um aumento nessa excreção conforme aumento da massa do peixe e diminuição da temperatura da água. Ritmos de excreção semelhantes já foram também relatados em outras espécies de peixes, como truta arco-íris (*Onchorynchus mykiss*).

Outros fatores podem influenciar a excreção, como a quantidade de alimento fornecido e frequência alimentar e a porcentagem de proteína da dieta oferecida. Sabe-se que para tambaqui, pesando 90g e mantido a 27°C, a taxa de excreção de nitrogênio é de 0,35mg amônia/dia. Porém, espécies carnívoras como o seabass (*Dicentrarchus labrax*), com mesma massa e em mesma temperatura, excretam 0,52mg amônia/dia. Este fato pode ser atribuído, entre outros aspectos, ao nível de proteína da dieta, que para carnívoros é bem mais elevado que para as espécies onívoras, como o tambaqui.

A Tabela 13 mostra as taxas médias de excreção diária de amônia em algumas espécies de peixes, levando-se em consideração o nível de proteína na dieta em função principalmente do hábito alimentar de cada espécie.

TABELA 13 Taxa de excreção de amônia em algumas espécies de peixes, de acordo com o nível de proteína na dieta.

| Espécie | %PB dieta | Excreção amônia | Fonte |
|--|------------------|------------------------|---------------------------|
| Red drum (<i>Sciaenops ocellatus</i>) | 45 | 1,19 (mg/dia) | Webb Jr. & Gatlin, (2003) |
| Plunderfish (<i>Harpagifer antarcticus</i>) | 42 | 0,82 (mg/dia) | Boyce (1999) |
| seabass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) | 40 | 0,52 (mg/dia) | Ismينو-Orbe et al. (2003) |
| Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) | 28 | 0,35 (mg/dia) | Ismينو-Orbe et al. (2003) |

Uréia

A mudança de amoniotelismo para ureotelismo, em resposta à privação de água e à necessidade de manter os processos metabólicos, é uma das teorias bioquímicas evolucionistas mais controversas.

A uréia é um composto neutro, não tóxico e altamente solúvel. Sua síntese é realizada em cinco reações que compõem o chamado “ciclo da uréia” (ou “ciclo de Krebs-Henseleit”). Esta conversão ocorre basicamente no fígado, sendo duas reações mitocondriais e três citossólicas.

Em peixes a síntese da uréia ocorre da mesma maneira que para mamíferos. Porém, como a atividade das enzimas envolvidas neste processo é normalmente menor para estes animais, sua contribuição para a excreção dos produtos nitrogenados é relativamente pequena.

A Figura 10 mostra a formação de amônia e o ciclo de conversão em uréia, que ocorre também, em menor proporção, para peixes. As principais enzimas do esquema são: (1) carbamoil-fosfato sintetase, (2) ornitina transcarbamoilase, (3) arginino-succinato sintetase, (4) arginino-succinase, (5) arginase. As enzimas 1 e 2 são mitocondriais e as demais são citossólicas.

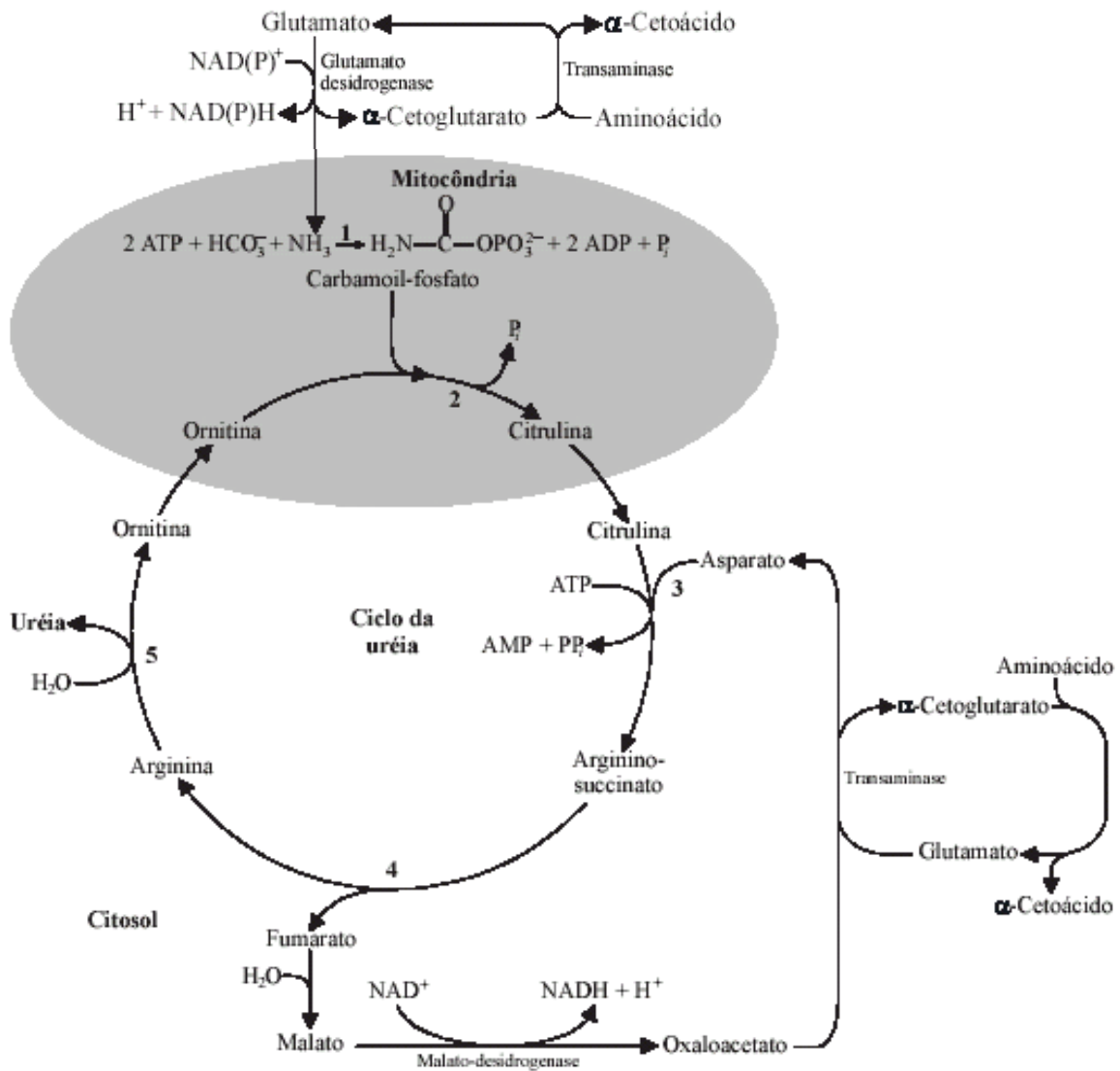


FIGURA 10 Ciclo da uréia (Fonte: Motta, 2003).

A maior parte da amônia incorporada ao carbamoil-fosfato é proveniente do glutamato obtido pela ação da glutamato desidrogenase mitocondrial hepática. O glutamato é também o doador imediato do grupo amino ao aspartato (obtido a partir do glutamato via transaminação com oxaloacetato), que entra no ciclo da uréia na fase de

condensação da citrulina. Portanto, os dois grupos amino da uréia provêm do glutamato e o carbono é fornecido pelo bicarbonato. A síntese de uma molécula de uréia requer quatro ligações fosfato de alta energia. Dois ATPs são necessários na síntese de carbamoil-fosfato, enquanto a formação de arginino-succinato requer um ATP.

Sabe-se que a produção e excreção de uréia são dependentes da amônia total. Estudos com peixes marinhos mostram a relação entre o nitrogênio total e sua eliminação sob a forma de amônia, uréia e aminas primárias, como mostrado na Tabela 14.

TABELA 14 Relação dos principais produtos de excreção do plunderfish (*Harpagifer antarticus*) a partir do total de nitrogênio eliminado.

| Produtos de excreção | Valores médios |
|-----------------------------|------------------------------------|
| <i>Nitrogênio total</i> | 2,64 ($\mu\text{mol N/peixe/h}$) |
| Amônia total | 81,96 % |
| Uréia | 13,12 % |
| Aminas primárias | 4,92 % |

Fonte: Adaptado de Boyce (1999).

Óxido de Trimetilamina

A maioria das espécies de peixes marinhos excreta uma quantidade significativa de óxido de trimetilamina como produto nitrogenado. Trata-se de um composto solúvel e não tóxico. Os teleósteos de água doce eliminam este composto em pequenas quantidades, muitas vezes consideradas insignificantes em relação aos demais produtos da excreção nitrogenada.

Em teleósteos marinhos, a produção deste composto contribui para a osmolaridade dos fluidos corporais, mantendo o volume celular constante, tanto em ambiente marinho como em água doce. Este fato é de relevante importância quando se consideram espécies migrantes em algum estágio de vida. A exemplo disto podemos citar o salmão (*Salmo salar*), uma espécie marinha que durante a fase reprodutiva migra para o rio. Esta mudança de ambiente envolve muitos processos adaptativos, incluindo os produtos nitrogenados de excreção e suas proporções, no intuito de manter sua homeostase corporal. Estudos com estas espécies mostram que há uma correlação linear entre a atividade de solutos intracelulares e a osmolaridade sanguínea, resultando em

uma queda no conteúdo de óxido de trimetilamina do tecido muscular de 30 mmoles/Kg para 20 mmoles/Kg, quando os peixes são transferidos da água salgada para água doce.

3.4.4.2 Toxicidade da amônia

A produção catabólica da amônia é altamente tóxica. As bases moleculares dessa toxicidade ainda não estão inteiramente compreendidas. Em humanos, os estágios terminais da intoxicação por amônia são caracterizados pelo estabelecimento de um estado de coma e outros efeitos sobre o cérebro, envolvendo mudanças de pH celular e depleção de intermediários do ciclo de Krebs.

A toxidez da amônia em organismos aquáticos é atribuída principalmente à forma não ionizada. Altas concentrações de amônia em tanques de criação podem ocorrer quando a densidade de peixes está acima do indicado para a espécie criada e o sistema adotado, ou quando a renovação da água no tanque ocorre numa taxa inferior à recomendada para o sistema de criação utilizado. Estes fatores fazem com que o íon amônio se acumule, favorecendo a reação inversa, que dá origem à forma não ionizada da amônia. Exposições a altas concentrações de amônia (entre 0,20 e 3,00 mg/L), causam elevação do pH sanguíneo, afetam a permeabilidade interna de íons, aumentam o consumo de oxigênio, aumentam a susceptibilidade a doenças, provocam degeneração na pele e danificação das brânquias e rins, além de retardarem o crescimento, com conseqüências negativas na sobrevivência.

3.5 VITAMINAS E MINERAIS PARA PEIXES

O “status” nutricional, juntamente com a procura pelo equilíbrio orgânico dos peixes, são fatores importantes na determinação da habilidade das espécies em resistir a doenças e alcançar um ótimo desempenho.

As vitaminas e minerais apresentam uma ampla participação no metabolismo, e seu estudo detalhado merece atenção, levando-se em consideração suas inter-relações e variações na biodisponibilidade.

As vitaminas são compostos orgânicos, necessários em pequenas quantidades e que, de forma geral, atuam como catalisadores ou reguladores metabólicos. Estão envolvidas em diversas reações e rotas metabólicas, sendo indispensáveis ao crescimento, reprodução e manutenção da higidez em peixes. Em ambiente natural, os peixes raramente mostram sinais de deficiência vitamínica, pois o alimento a que têm acesso apresenta teores normalmente elevados desses nutrientes.

Os minerais são elementos inorgânicos importantes para a manutenção dos processos vitais, por participarem de diversas reações metabólicas, serem constituintes de tecidos, entre outras funções. Diferentemente dos animais terrestres, os peixes são capazes de absorver minerais da água, através de filtração no aparelho branquial. No entanto, quando em cativeiro, necessitam de uma suplementação dietética para melhor atender as exigências de cada espécie.

3.5.1 Metabolismo e exigências de vitaminas e minerais para peixes

Informações sobre a absorção das vitaminas pelos peixes são escassas. As vitaminas lipossolúveis seguem, basicamente, o mesmo processo dos lipídeos de cadeia curta. Já para a vitamina C, que é hidrossolúvel, a absorção ocorre através do mesmo processo já descrito para os aminoácidos e monossacarídeos, utilizando um transportador dependente de Na^+ . No bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) outras vitaminas, como a niacina, a biotina e o ácido fólico, também são absorvidas por difusão intestinal.

A suplementação vitamínica é necessária em sistemas intensivos, uma vez que sua carência dietética resulta em queda no desempenho em todas as fases de criação.

Os valores de requerimentos vitamínicos para peixes estão determinados para poucas espécies, sendo que muitos deles ainda têm sido extrapolados.

Dentre as vitaminas consideradas essenciais para peixes estão: Lipossolúveis – A (retinol), D (D_3 -colecalciferol), E (tocoferol) e K (menadiona); Hidrossolúveis – B_1 (tiamina), B_2 (riboflavina), ácido pantotênico (B_3), niacina (ácido nicotínico ou B_5), B_6 (piridoxina), B_{12} (cianocobalamina), colina, biotina, ácido fólico (folacina), inositol (mioinositol) e C (ácido ascórbico).

Os valores de requerimentos vitamínicos para algumas espécies de peixes constam da Tabela 15.

TABELA 15 Exigência vitamínica para algumas espécies de peixes (valores expressos por Kg de MS da dieta).

| VITAMINA | ESPÉCIE | | | | |
|-----------------------------------|----------------|-------------|------------------|-----------------|---------------------|
| | Bagre do canal | Carpa comum | Tilápia nilótica | Truta arco-íris | Salmão do Atlântico |
| Hidrossolúvel | | | | | |
| B ₁ (tiamina) | 1mg | 0,5mg | 1mg | 1mg | 15mg |
| B ₂ (riboflavina) | 9mg | 15mg | 6mg | 4mg | 30mg |
| B ₆ (piridoxina) | 3mg | 6mg | 3mg | 3mg | 20mg |
| B ₁₂ (cianocobalamina) | nd | nd | nd | 0,01mg | 0,02mg |
| Ácido pantotênico | 15mg | 50mg | 15mg | 20mg | 50mg |
| Niacina | 14mg | 28mg | 14mg | 10mg | 200mg |
| Biotina | 1mg | 1mg | nd | 0,15mg | 1,5mg |
| Ácido fólico | 1,5mg | nd | nd | 1mg | 10mg |
| Colina | 400mg | 4000mg | 400mg | 1000mg | 3000mg |
| Inositol | 440mg | 440mg | nd | 300mg | 400mg |
| C (ácido ascórbico) | 60mg | 50mg | 50mg | 50mg | 200mg |
| Lipossolúvel | | | | | |
| vit. A | 2000 UI | 10000 UI | 2000 UI | 2500 UI | 2500 UI |
| vit. D | 500 UI | 2400 UI | 500 UI | 2400 UI | nd |
| vit. E | 50mg | 100mg | 50mg | 50mg | 50mg |
| vit. K | nd | nd | nd | nd | 10mg |

Fonte: Adaptado de Barros (2002)

nd – não determinado

Atualmente uma das maiores preocupações em relação à nutrição mineral dos animais, em geral, é com a poluição ambiental, principalmente quando se fala em fósforo, um dos minerais mais poluentes. Grande parte do fósforo presente em alimentos de origem vegetal encontra-se sob a forma de fósforo fítico, não disponível. A utilização de enzimas exógenas em dietas para peixes tem reduzido, com significativa eficiência, a excreção de fósforo na água, aumentando também a digestibilidade da proteína.

Em estudo realizado com truta arco-íris (*Onchorynchus mykiss*), observou-se também uma redução na liberação de fósforo na água, mediante o uso de uma dieta acrescida de fitase em comparação à dieta ausente desta enzima (Figura 11).

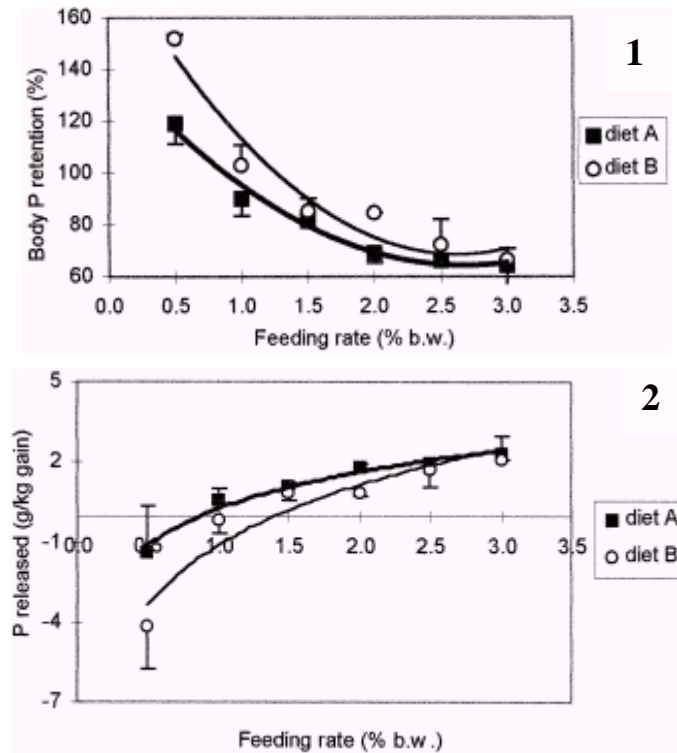


FIGURA 11 Efeito da taxa de alimentação (% peso corporal) e das dietas sem fitase (dieta A) e com 1000 U fitase/Kg (dieta B), sobre a retenção corporal de fósforo (1) e a liberação de fósforo no ambiente (2) (Fonte: Lanari et al., 1998).

Os microminerais, apesar de exigidos em pequenas quantidades merecem também atenção especial quanto ao balanço entre ingestão, reserva e excreção. A ingestão em excesso de determinados microminerais pode acarretar quadros sérios de intoxicação.

O ferro, por exemplo, está envolvido em processos respiratórios, participando de reações de óxido-redução e transferência de elétrons, entre outras funções. A pepsina gástrica favorece a absorção de vitamina C e ferro, além de ionizar a maioria dos sais inorgânicos contidos nos minerais e nos tecidos mineralizados, ingeridos com a alimentação, tornando-os disponíveis à absorção pelo organismo.

Os peixes, como já dito anteriormente, podem aproveitar os minerais que se encontram dissolvidos na água. Dentre eles, o cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na),

potássio (K), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e selênio (Se) da água geralmente atendem a grande parte das exigências dos animais. No entanto, os fosfatos, de uma maneira geral, devem ser suplementados na dieta, pois além de estarem presentes na água em pequenas quantidades, mostram uma reduzida eficiência de utilização pelos peixes. Dietas formuladas com farinha de peixe, como principal fonte protéica, apresentam naturalmente quantidades ótimas de cálcio e fósforo inorgânicos, não necessitando, neste caso, de uma suplementação. Entretanto, sabe-se que a disponibilidade de fósforo nos alimentos de origem vegetal é baixa, fazendo-se necessária uma suplementação deste mineral, em dietas onde a proteína é, em grande parte, de origem vegetal. Os valores de requerimentos minerais para algumas espécies de peixes constam da Tabela 16.

TABELA 16 Exigência de minerais para algumas espécies de peixes.

| MINERAL | ESPÉCIE | | | | |
|----------------------|----------------|-------------|------------------|-----------------|---------------------|
| | Bagre do canal | Carpa comum | Tilápia nilótica | Truta arco-íris | Salmão do Atlântico |
| Macrominerais | | | | | |
| Cálcio (Ca) | 0,45% | nd | 0,70% | 0,30% | 0,30% |
| Fósforo (P) | 0,45% | 0,60% | 0,50% | 0,60% | 0,60% |
| Sódio (Na) | nd | nd | nd | nd | nd |
| Potássio (K) | nd | nd | nd | 0,70% | nd |
| Cloro (Cl) | nd | nd | nd | nd | nd |
| Magnésio (Mg) | 400mg/Kg | 500mg/Kg | 600mg/Kg | 500mg/Kg | 500mg/Kg |
| Microminerais | | | | | |
| Manganês (Mn) | 2,4mg/Kg | 13mg/Kg | 12mg/Kg | 13mg/Kg | 16mg/Kg |
| Zinco (Zn) | 20mg/Kg | 30mg/Kg | 20mg/Kg | 30mg/Kg | 30mg/Kg |
| Ferro (Fe) | 30mg/Kg | 150mg/Kg | nd | 60mg/Kg | 60mg/Kg |
| Cobre (Cu) | 5mg/Kg | 3mg/Kg | 4mg/Kg | 3mg/Kg | 3mg/Kg |
| Selênio (Se) | 0,25mg/Kg | nd | nd | 0,3mg/Kg | 0,3mg/Kg |
| Iodo (I) | 1,1mg/Kg | nd | nd | 1,1mg/Kg | 1,1mg/Kg |

Fonte: Zimmermann et al. (2001) e Barros (2002)

nd – não determinado

Quando se fala em nutrição animal, devemos levar em consideração as possíveis inter-relações entre alguns nutrientes. Hilton (1989), citado por Barros (2002), apresenta

quatro tipos principais de inter-relações: 1- entre vitaminas, 2- entre vitaminas e minerais, 3- entre minerais e 4- entre minerais e outros nutrientes da dieta. Dentre estas inter-relações podemos citar: vitamina B₁₂ e ácido fólico; vitamina C e vitamina B₁₂; vitamina C e vitamina E; vitamina C e ácido fólico; vitamina C e ferro; vitamina D e cálcio; entre outros.

Atualmente, os níveis descritos para o melhor desempenho produtivo podem ser considerados como aqueles que possam proporcionar o melhor equilíbrio orgânico aos peixes. As Tabelas 17 e 18 mostram, de maneira resumida, as principais funções fisiológicas e sintomas de deficiência de minerais e vitaminas, respectivamente, para peixes.

TABELA 17 Principais funções e sinais clínicos de deficiência de minerais em peixes.

| Mineral | Função | Sintoma |
|---------------------------------|--|--|
| Magnésio | Manutenção da homeostase intra e extracelular, co-fator enzimático, metabolismo do tecido esquelético e transmissão neuromuscular, respiração celular e reações de transferência de fosfato sendo complexado com ATP, ADP e AMP, ativador para todas as reações de tiamina pirofosfato, metabolismo de lipídeos, carboidratos e proteínicas. | Redução no crescimento, anorexia, inércia, letargia, convulsões, catarata, degeneração de fibras musculares e células epiteliais dos cecos pilóricos e filamentos branquiais, deformidades esqueléticas e redução nos níveis de magnésio corporal. |
| Sódio, potássio, cloreto | Sódio e cloreto são os principais cátions e ânions, respectivamente, dos fluidos extracelulares, sendo o potássio o principal constituinte do fluido intracelular. Função vital no controle da pressão osmótica e equilíbrio ácido-básico. | Sinais de deficiência são difíceis de serem produzidos, pois os peixes retiram esses elementos da água. |
| Cobre | Constituinte de várias enzimas como citocromo-C oxidase, superóxido desmutase, lisil oxidase, dopamina-β-hidroxiase, tirosinase, oxidase triptofano. | Redução no crescimento, catarata, redução na atividade da enzima superóxido desmutase no fígado e redução da atividade da citocromo C oxidase no coração. |
| Manganês | Co-fator de vários sistemas enzimáticos, como na síntese de uréia e amônia, metabolismo de aminoácidos, metabolismo de lipídeos, oxidação de glicose, participa da ativação de quinases, transferases, hidrolases, descarboxilases. | Redução no crescimento, anomalias esqueléticas, alta mortalidade de embriões, perda de equilíbrio, baixas de taxas de incubação e desenvolvimento anormal da nadadeira caudal. |
| Iodo | Biossíntese de hormônios tireoideanos, atua em outras glândulas endócrinas e possui funções neuromusculares, dinâmica circulatória e metabolismo de nutrientes, de uma forma geral. | Hiperplasia da tireóide. |

Fonte: Adaptado de Barros (2002)

TABELA 18 Principais funções e sinais clínicos de deficiência de vitaminas em peixes.

| Vitamina | Função | Sintoma |
|--------------------------|---|--|
| A | Manutenção da resistência a infecções, essencial para a visão, atua na manutenção da secreção de muco pelos tecidos epiteliais. | Crescimento reduzido, perda de apetite, despigmentação, hemorragia oftálmica, edema, queratinização do tecido epitelial, degeneração da retina, catarata, ascite, torção do opérculo, exoftalmia. |
| D | Importante no metabolismo do cálcio e fósforo, manutenção da calcemia sanguínea e conversão de fósforo orgânico em inorgânico nos ossos. | Piora na conversão alimentar, redução no crescimento, diminuição do número de células sanguíneas, redução no conteúdo de cálcio e fósforo, letargia e tetania. |
| K | Manutenção da coagulação sanguínea em função da produção e liberação de protrombina e tromboplastina | Anemia, hemorragia nas brânquias, olhos, pele e tecido vascular, aumento do tempo de coagulação sanguínea. |
| B₁ | Atua no metabolismo de carboidratos, é ativadora de enzimas e essencial ao sistema nervoso. | Perda de apetite, crescimento reduzido, atrofia muscular, despigmentação, anemia, hemorragia na pele e nadadeiras, torção opercular e hipersensibilidade. |
| B₂ | Atua no metabolismo energético, no transporte de íons hidrogênio e em processos de oxi-redução. | Perda de apetite, crescimento reduzido, distúrbios nervosos, hemorragia na pele olhos e nadadeiras, necrose das brânquias, catarata, fotofobia, curvatura espinhal. |
| B₆ | Atua no metabolismo de proteínas, na descaboxilação e utilização de aminoácidos e na síntese de mRNA e acetil-CoA. | Perda de apetite, crescimento reduzido, distúrbios nervosos, natação errática, anemia, rápido estabelecimento de “rigor mortis”, ascite, baixa atividade de transferase hepatopancreática. |
| B₁₂ | Atua na formação das hemácias, manutenção do tecido nervoso, síntese de ácidos nucleicos, metabolismo do colesterol e síntese de purinas e pirimidinas. | Anemia, crescimento reduzido, baixa utilização do alimento e escurecimento. |
| Ácido pantotênico | Atua no metabolismo protéico, lipídico e de carboidratos, na síntese de fosfolípideos, ácidos graxos, hemoglobina, colesterol e hormônios esteróides. | Perda de apetite, crescimento reduzido, fígado gorduroso, anemia, dificuldade respiratória, exoftalmia, natação errática, letargia e hemorragias. |
| Niacina | Atua no metabolismo de proteínas, lipídeos e carboidratos e na liberação de energia da maioria dos nutrientes. | Perda de apetite, crescimento reduzido, piora na conversão alimentar, inflamação de brânquias, desprendimento do opérculo, hemorragia, alta mortalidade, anemia, exoftalmia, natação errática, lesão retal e coloração escura. |
| Biotina | Participa da síntese de ácidos graxos e da niacina e na ativação dos lisossomos. | Perda de apetite, crescimento reduzido, atrofia muscular, natação errática e coloração escura. |
| Colina | Componente essencial da acetil-CoA, manutenção da estrutura celular e transmissão de impulsos nervosos, doador de grupo metil na síntese de metionina. | Crescimento reduzido, fígado gorduroso, hemorragia de rins e intestinos, coloração intestinal acinzentada, distensão da cavidade abdominal, anemia, exoftalmia, perda de apetite e despigmentação. |
| Inositol | Componente do tecido esquelético, cerebral e cardíaco, envolvido no transporte de colesterol, síntese de RNA e crescimento celular. | Perda de apetite, crescimento reduzido, piora na conversão alimentar, quebra de nadadeiras, necrose, fígado gorduroso e dilatação gástrica. |

Fonte: Adaptado de Barros (2002)

3.5.2 Vitamina C (ácido ascórbico) para peixes

Na nutrição de peixes, o primeiro grupo de pesquisadores a citar a vitamina C (ácido ascórbico) e os danos causados pela sua deficiência foi liderado por McLaren e colaboradores, em 1947. Posteriormente outros autores estudaram a importância e a necessidade do ácido ascórbico na alimentação de peixes.

Quando mantidos em cativeiro, os peixes mostram-se altamente sensíveis a dietas deficientes em ácido ascórbico, especialmente nos estágios iniciais de crescimento. Muitos sinais, como crescimento reduzido, perda de apetite, conversão alimentar prejudicada, deformidades esqueléticas (lordose, escoliose e cifose), deformidades no opérculo e nas cartilagens das brânquias, anemia, hemorragia de vários órgãos, demora ou diminuição da cicatrização de feridas, coloração escura, redução do desempenho reprodutivo e diminuição da eclodibilidade, têm sido encontrados em peixes que consomem dietas deficientes em vitamina C.

O ácido ascórbico, na sua forma pura, é bastante instável, sendo facilmente destruído por temperaturas elevadas, luz, umidade, microelementos e lipídios oxidados. Estes fatores também contribuem para as perdas de ácido ascórbico na ração durante o processo de industrialização e armazenamento. Existem várias formas de ácido ascórbico e a estabilidade das mesmas tem sido testada nas rações industrializadas para peixes. Muitos trabalhos demonstram que as formas protegidas (ácido ascórbico-2-sulfato, ácido ascórbico-2-monofosfato, ácido ascórbico-2-difosfato e ácido ascórbico-2-trifosfato) são as mais estáveis e resistentes ao processo de industrialização e armazenamento e podem, desta forma, ser incorporadas em menores quantidades na ração para peixes.

Atualmente, existem algumas controvérsias a respeito da afirmação de que todos os teleósteos são de fato incapazes de sintetizar o ácido ascórbico. Em outros grupos taxonômicos dos osteíctes, em particular os condrósteos, estudos demonstram a atividade da enzima L-gulonolactona oxidase. Estas descobertas sugerem que outros grupos taxonômicos entre os vertebrados inferiores (Pisces e Ciclostomados) mantêm uma rota metabólica ativa de síntese do ácido ascórbico e que os teleósteos são os únicos que perderam esta habilidade.

A fim de manter as funções que necessitam de ácido ascórbico, os animais que o sintetizam produzem de 10 – 60 mg ácido ascórbico/1000 kcal, via rota do glicuronato (Figura 12).

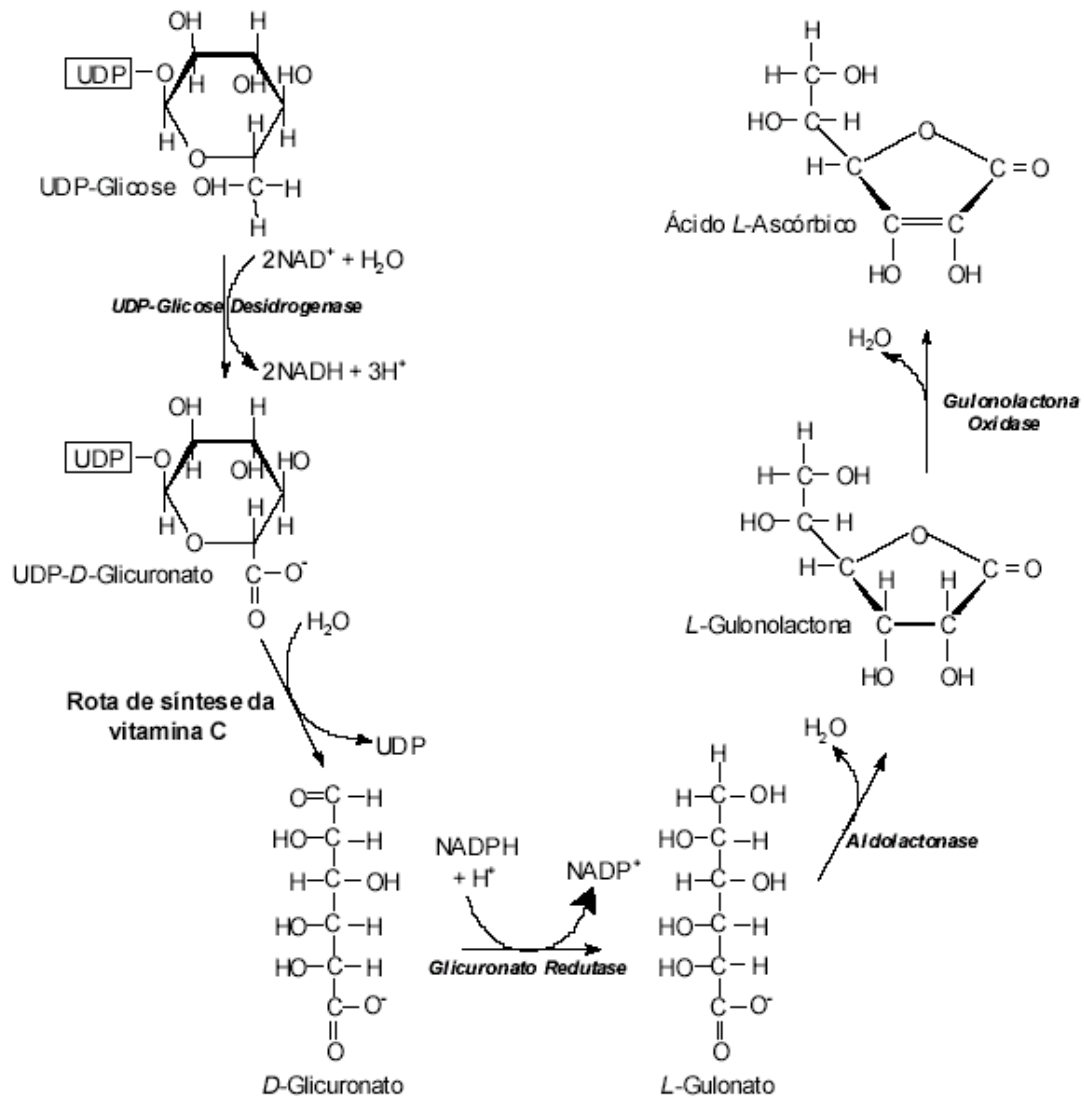


FIGURA 12 Biossíntese do ácido ascórbico (Fonte: Nelson & Cox, 2000).

Esta rota inicia-se com a D-glicose-1-P, a qual é ativada mediante a união de um nucleotídeo (uridinadifosfato - UDP) e é catalisada pela enzima glicose-1-fosfato uridil transferase. A UDP-glicose sofre uma oxidação no carbono 6 para formar o ácido glicurônico (UDP-D-glicuronato), reação catalisada pela enzima UDP-glicose desidrogenase. Nesse momento o ácido glicurônico pode entrar na rota da síntese do

ácido ascórbico. O D-glicuronato, formado a partir da hidrólise do UDP-D-glicuronato, é o precursor do ácido L-ascórbico. Nesta rota, o D-glicuronato é reduzido à ácido L-gulonato, o qual é convertido em L-gulonolactona, que então sofre desidrogenação pela flavoproteína L-gulonolactona oxidase, produzindo o ácido L-ascórbico.

Entretanto, o ácido ascórbico não é sintetizado por alguns animais, como os primatas, o porquinho da Índia, algumas cobras e alguns pássaros. Muitas espécies de peixes também parecem ter síntese ineficiente de ácido ascórbico.

Esta essencialidade dietética da vitamina C para peixes, camarões e outros organismos aquáticos provavelmente se deve à ausência parcial ou completa de atividade da enzima L-gulonolactona oxidase, que catalisa o último passo da transformação do ácido glicurônico em ácido ascórbico. Esta enzima é necessária para a biossíntese do ácido ascórbico através da glicose ou de outros precursores simples.

Como exemplo desta falta ou deficiência enzimática nos peixes, estudos realizados com tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) mostraram que a administração de dieta livre de ácido ascórbico resulta na redução da concentração tecidual desta vitamina e, em alguns casos, não foi verificada atividade vitamínica, indicando que esta espécie depende de fonte exógena de ácido ascórbico para o seu crescimento e desenvolvimento.

Em peixes, anfíbios e répteis, o ácido ascórbico, quando produzido pelo organismo, ocorre nos rins.

Absorção

A absorção da vitamina C em peixes, assim como em mamíferos, ocorre na membrana apical do enterócito, sendo realizada através de transportadores específicos dependentes de Na^+ . O processo não consome energia diretamente, mas é dependente de um gradiente formado por um sistema de transporte ativo, usualmente a bomba de Na^+/K^+ . Este mecanismo cria um gradiente de sódio favorável à sua entrada no enterócito. Desse modo, o Na^+ tende a entrar e, como o transportador só funciona se houver uma vitamina conectada, acaba por carregar ambos para dentro da célula. O ácido ascórbico, na sua forma reduzida, passa por difusão do interior do enterócito para os capilares sangüíneos existentes nas dobras intestinais. O número de transportadores específicos de vitamina C na mucosa intestinal é substrato dependente, logo, quanto maior a suplementação desta vitamina mais eficiente será sua absorção.

Papel biológico

O principal papel biológico do ácido ascórbico é como agente redutor. Serve como co-fator nas oxidações, com funções distintas, as quais promovem a incorporação de oxigênio molecular em vários substratos. Atua, ainda, em várias reações de hidroxilação como, por exemplo, nas hidroxilações de lisina e prolina no pro-colágeno, necessárias para as ligações cruzadas entre as fibras de colágeno. Por esta razão, o ácido ascórbico é importante na manutenção do tecido conectivo normal e na cicatrização, onde o tecido conectivo é o primeiro a proliferar, atuando, assim, na síntese protéica. É também importante na formação do osso, participando na síntese do colágeno da matriz óssea. A Figura 13 mostra a participação da vitamina C na síntese do colágeno.

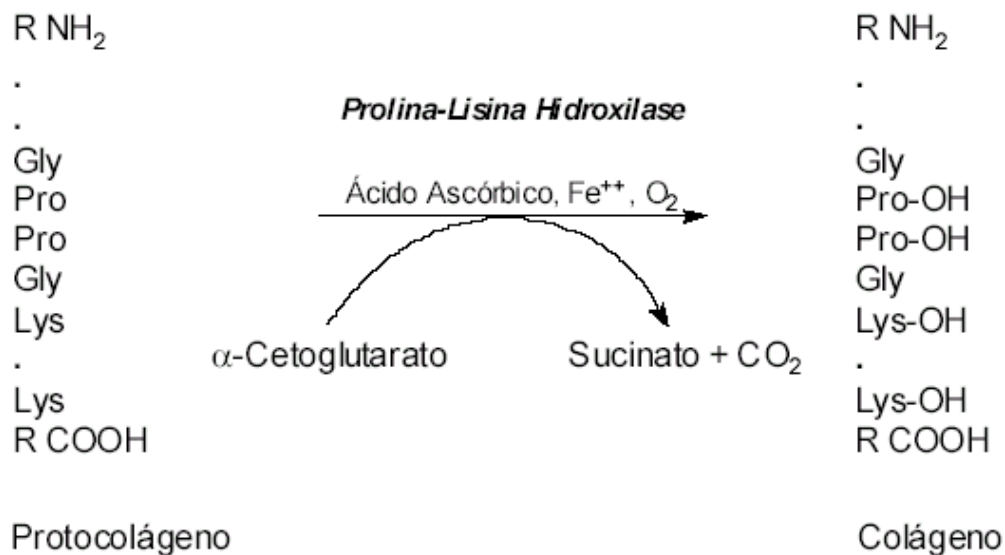


FIGURA 13 Síntese de colágeno (Fonte: Masumoto et al., 1991, citados por Rotta, 2003).

Peixes alimentados com ácido ascórbico marcado radioativamente com ¹⁴C mostraram que esta vitamina é rapidamente absorvida pelas áreas onde o colágeno é formado, isto é, na pele, nadadeira caudal, cartilagens da cabeça e do maxilar, cartilagens que suportam as brânquias e nos ossos.

Contaminantes dietéticos e do ambiente, como metais pesados e pesticidas organoclorados aumentam as necessidades de vitamina C pelos peixes. O aumento do uso de vitamina C pelos peixes para a detoxificação de xenobióticos químicos causa uma deficiência funcional desta vitamina. Portanto, a ocorrência de deformidades na

coluna vertebral em peixes pode ser um indicador precoce de estresse devido a contaminantes na água. O contaminante induz a competição por vitamina C entre o metabolismo do colágeno ósseo e as oxidases envolvidas na detoxificação de produtos químicos, o que poderá causar danos vertebrais. Esta competição diminuiria os conteúdos de vitamina C e de colágeno no osso, com aumento concomitante da relação entre os minerais ósseos e o colágeno, resultando em um aumento da fragilidade óssea.

Outras funções importantes do ácido ascórbico no metabolismo animal estão relacionadas com a biossíntese da carnitina e a hidroxilação da tirosina na formação das catecolaminas. A maioria das enzimas envolvidas nestes processos contém metais, tendo o ácido ascórbico a função de manter o metal (geralmente Fe ou Cu) no estado reduzido. A vitamina C é necessária ao metabolismo do ferro por converter o ferro da transferrina, da forma oxidada para a forma reduzida, favorecendo o seu transporte e absorção no organismo. A Figura 14 ilustra a participação da vitamina na biossíntese da carnitina.

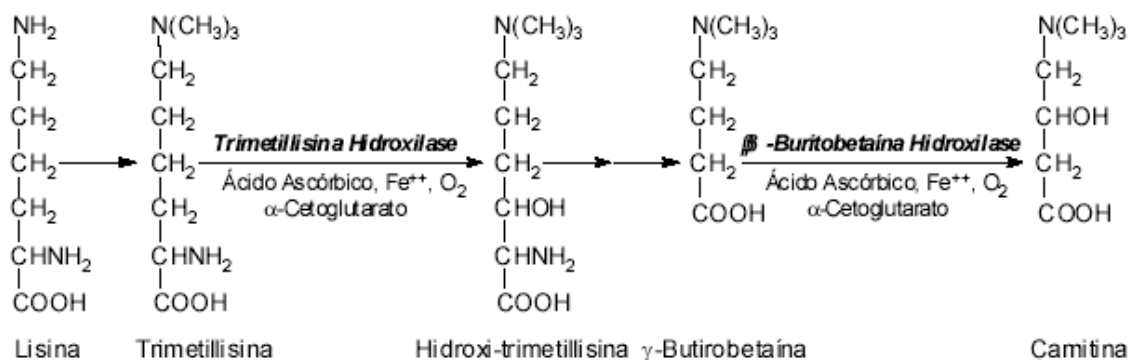


FIGURA 14 Síntese de carnitina (Masumoto et al., 1991, citados por Rotta, 2003).

A anemia é comum em peixes com deficiência em ácido ascórbico devido a uma redução na absorção e redistribuição do ferro e, conseqüentemente, uma redução na síntese de hemoglobina. Há ocorrência deste distúrbio em truta arco-íris (*Onchorynchus mykiss*), com deficiência de vitamina C que, apesar da elevada concentração de ferro no fígado, mostrava-se anêmica.

Em tilápia híbrida, alimentada com ração sem suplementação de vitamina C, os valores de hematócrito são freqüentemente menores, quando comparados aos peixes que receberam suplementação.

O ácido ascórbico também influencia o metabolismo da histamina em alguns animais, havendo uma correlação inversa entre os níveis da vitamina e os níveis de histamina.

Em contraste com a vitamina E, o ácido ascórbico é hidrofílico, atuando melhor em ambientes aquosos e, como é um inativador de radicais livres, pode reagir diretamente com os superóxidos e ânions hidroxilas, como também com vários lipídios hidroperoxidados dissolvidos no citoplasma, mantendo a integridade da membrana celular. Entretanto, a sua principal função como antioxidante se deve, possivelmente, à regeneração da forma reduzida da vitamina E, prevenindo assim a peroxidação lipídica.

Sintomas de deficiência

Quando se fala em deficiência de ácido ascórbico em peixes, como problemas decorrentes deste quadro podem se citar a escoliose, a cifose e a lordose, sendo que problemas branquiais também são característicos. As lesões que ocorrem nos tecidos conectivos são primeiramente um resultado do colágeno sub-hidroxilado, tornando-se susceptível à degradação de forma anormal. Assim, o ácido ascórbico influencia diretamente o crescimento dos peixes, uma vez que participa da formação do colágeno. A curvatura na coluna vertebral é um sinal clássico encontrado em peixes com deficiência de vitamina C.

Em experimento com juvenis de tilápia nilótica, onde cinco formas de ácido ascórbico foram avaliadas (ácido L-ascórbico, ácido L-ascórbico sódico, ácido L-ascórbico revestido por glicerídeos, ácido L-ascórbico 2-sulfato e ascorbilpalmitato), por um período de oito semanas, foi verificado que a composição da carcaça sofreu alteração. Entretanto, os peixes alimentados com dieta isenta de ácido ascórbico apresentaram vários sinais de deficiência após a sexta semana, como anemia, hemorragias, deformidade espinhal, opérculo diminuído, exoftalmia e erosão da nadadeira caudal.

A Figura 15 apresenta algumas deformidades observadas em animais alimentados com dietas deficientes em vitamina C, comparados àqueles que receberam uma suplementação vitamínica adequada na dieta.

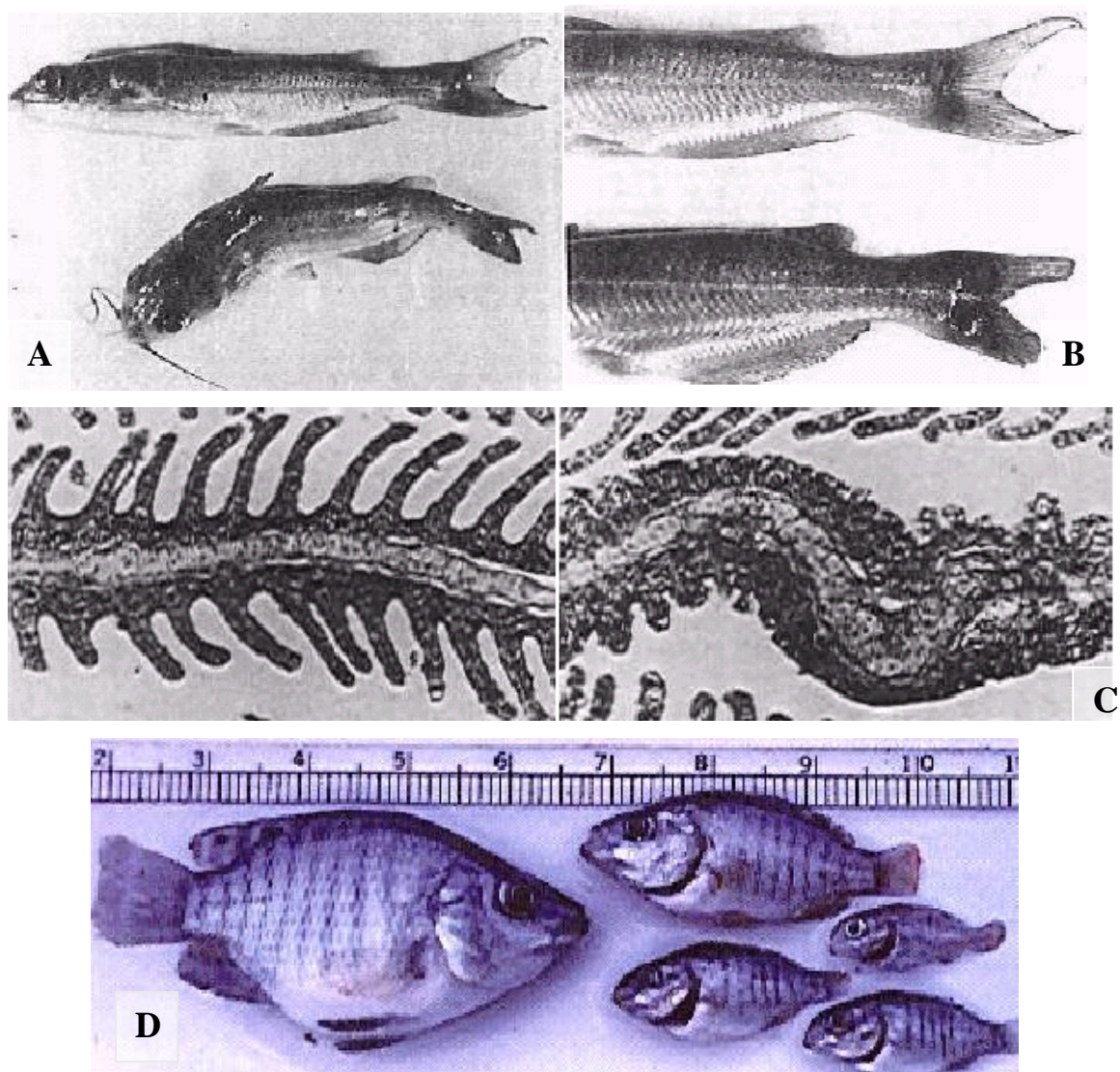


FIGURA 15 Fotos representativas de deformidades decorrentes de deficiência de vitamina C em peixes. **A:** bagre do canal alimentado com dieta contendo ácido ascórbico (acima, normal) e sem ácido ascórbico (abaixo, apresentando escoliose e lordose); **B:** bagre do canal alimentado com dieta com ácido ascórbico (acima, normal) ou sem ácido ascórbico (abaixo, apresentando erosão na nadadeira caudal); **C:** Filamento branquial normal (direita) e filamento braquial com deformidade na cartilagem de suporte e formação irregular dos condrócitos (esquerda), em bagre do canal alimentado com dietas com e sem ácido ascórbico, respectivamente; **D:** tilápia normal (direita) e tilápias com deformidade opercular e exoftalmia devido à deficiência de ácido ascórbico na dieta (esquerda) (Fonte: Adaptado de Rotta, 2003).

Efeitos da vitamina C na reprodução

As funções do ácido ascórbico na reprodução parecem estar associadas a vitelogênese e a embriogênese. Sabe-se que o estado nutricional do embrião dos peixes depende da transferência de nutrientes dos reprodutores para os gametas, incluindo o

ácido ascórbico, durante a vitelogênese. Assim, a dieta dos reprodutores não deve atender somente às exigências nutricionais ou o desenvolvimento gonadal, mas também o desenvolvimento embrionário após a desova. Tem sido demonstrado que o desempenho reprodutivo das fêmeas diminui quando são fornecidas dietas sem ou com baixa suplementação de ácido ascórbico, havendo uma diminuição da concentração de ácido ascórbico no ovário, do número de ovos desovados, do peso úmido dos ovos, da taxa de eclodibilidade e, aumento do número de larvas com deformidade, assim como um maior índice de mortalidade das mesmas.

Em experimento com truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) foi observado que as diferenças do nível de suplementação de ácido ascórbico monofosfato levaram a alterações significativas tanto no número total quanto no peso das ovas produzidas, entretanto não influenciaram o tamanho do ovo (Tabela 19). Nesta espécie o ácido ascórbico monofosfato não foi detectado nas ovas, o que leva a conclusão de que somente o ácido ascórbico puro é transportado e armazenado nestes tecidos.

TABELA 19 Efeito de diferentes níveis de ácido ascórbico monofosfato em dietas para reprodutores de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) sobre a produção de ovos.

| Nível na ração (mg/Kg) | Fecundidade (ovos/peixe) | Peso das ovas (g/peixe) | Peso do ovo (mg) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 0 | 2288 ± 426a | 114 ± 28a | 49,8 ± 5,0a |
| 30 | 3245 ± 730bc | 142 ± 32ab | 44,2 ± 6,3a |
| 110 | 2890 ± 815ab | 116 ± 33a | 40,5 ± 5,3a |
| 220 | 3630 ± 989bc | 167 ± 40b | 46,3 ± 1,9a |
| 440 | 3470 ± 684bc | 168 ± 50b | 47,5 ± 6,2a |
| 870 | 3729 ± 613c | 173 ± 15b | 47,0 ± 5,7a |

Fonte: Blom & Dabrowski (1995), citados por Rotta (2003)

A vitamina C também exerce influência sobre a esteroidogênese. O alto nível de ácido ascórbico nos ovários e na supra-renal é reflexo da sua função endócrina, na qual pode atuar como regulador ou co-fator na biossíntese de esteróides, no folículo ou nas células adrenais. Alguns estudos mostram que há um decréscimo nos níveis de 17- β -estradiol e de vitelogenina durante o rápido crescimento ovariano em truta arco-íris, alimentada com dieta isenta de ácido ascórbico. A síntese de vitelogenina no fígado é regulada pelos receptores do 17- β -estradiol e ambos são bons indicadores bioquímicos

do processo de vitelogênese. Portanto, parece haver uma relação direta entre o ácido ascórbico e o desenvolvimento ovariano em peixes.

Ação da vitamina C sobre a resposta ao estresse em peixes

Sabe-se que a vitamina C tem ação positiva no tratamento de doenças e na resistência ao estresse. A disponibilidade da vitamina C e o estado nutricional podem influenciar na dispersão da infecção por afetarem a produção e manutenção dos tecidos de reparo. A vitamina C e os aminoácidos sulfurados são necessários para a deposição de fibrina, colágeno e polissacarídeos dentro dos vacúolos, que são formados para isolar o microrganismo patogênico invasor. Logo, deficiências desta vitamina podem inibir o processo de vacuolização. Um crescimento substancial na atividade proteolítica plasmática não-específica pode ser estimulado por bactérias patogênicas que produzem endotoxinas, ou por certos tipos de situações estressantes. Condições de estresse crônico tendem a diminuir a atividade dos lisossomos, enquanto que situações de estresse agudo, como transporte e confinamento, levam ao aumento dos mesmos. Portanto, é possível que o estresse agudo possa agir sinergicamente com a deficiência em vitamina C, para facilitar a dispersão dos patógenos invasores nos tecidos de peixes.

Os hormônios adrenocorticotrópicos (ACTH) são ricos em ácido ascórbico, refletindo mudanças na sua concentração conforme o nível de vitamina C na dieta. Após duas horas de pequeno estresse, o salmão prateado apresentou uma diminuição nos níveis de ácido ascórbico nos rins, durante os primeiros 20 minutos, seguido de uma recuperação ao nível original, após duas horas. O ácido ascórbico é um cofator na biossíntese de hormônios esteróides e de neuro-hormônios, mediante estudos que demonstraram um nível significativamente menor em trutas arco-íris alimentadas com dietas deficientes em vitamina C. Os altos níveis de ácido ascórbico possuem uma função inibitória na síntese de esteróides, pois previnem a conversão dos ácidos graxos insaturados em ésteres de colesterol, os quais são incorporados aos esteróides. Esta foi, portanto, uma conclusão que levou a sugerir que o aumento da disponibilidade de ácido ascórbico possa prevenir a severidade da resposta ao estresse nos peixes.

Ainda é controversa a função do ácido ascórbico na biossíntese de cortisol. Sabe-se, no entanto, que este possui uma função específica na biossíntese das catecolaminas. A enzima dopamina β -hidroxilase necessita da forma reduzida do íon

cobre como um cofator, tendo o ácido ascórbico uma ação efetiva na manutenção deste cofator na sua forma ativa reduzida (Figura 16).

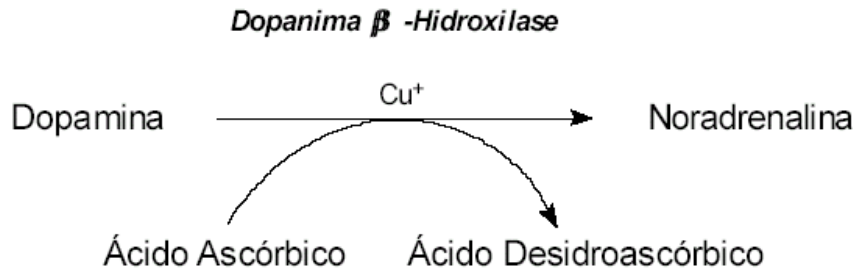


FIGURA 16 Participação do ácido ascórbico no processo de biossíntese de noradrenalina (Fonte: Masumoto et al., 1991, citados por Rotta, 2003).

O envolvimento do ácido ascórbico na biossíntese de corticosteróides e catecolaminas em peixes ainda não está comprovado cientificamente. Porém, seu papel atenuante nas respostas destes animais a determinados tipos de estresse, é notório, sendo que o aumento dos níveis dietéticos desta vitamina contribui para uma melhoria no sistema imunológico dos peixes.

Manejo alimentar de peixes

Os peixes apresentam exigências nutricionais semelhantes às observadas para animais terrestres, considerando-se crescimento, reprodução e outras funções fisiológicas normais. Estes nutrientes geralmente são obtidos de alimentos naturais, disponíveis no ambiente, ou de rações comerciais fornecidas no cultivo. Desta forma, a escolha inadequada ou a má formulação da ração provocará redução no desempenho dos animais, levando a maiores custos com a alimentação e diminuindo, conseqüentemente, o lucro da atividade.

A nutrição é essencial à saúde e capacidade dos peixes de resistir aos agentes patogênicos, sobretudo em sistemas intensivos de criação. Desta forma, o balanceamento das rações a serem oferecidas em sistemas intensivos e superintensivos deve estimular o sistema imunológico dos animais, permitindo que apresentem defesas contra agentes causadores de doenças e, ao mesmo tempo, promover desenvolvimento máximo dos peixes. Seguindo estas recomendações, é possível diminuir os efeitos indesejáveis do estresse, muito comum em peixes mantidos em densidades de estocagem elevadas.

Portanto, para a elaboração de rações balanceadas, torna-se necessário conhecer as variações existentes na estrutura e fisiologia do sistema digestivo das diferentes espécies de peixes cultivados comercialmente. Informações sobre a preferência alimentar de uma determinada espécie são de grande utilidade no estabelecimento de planos nutricionais e alimentares, incluindo o preparo de rações e o manejo da alimentação. Os processos gerais de digestão em peixes têm sido analisados em diversos estudos, e as informações disponíveis sugerem que estes processos ocorrem de maneira semelhante aos demais animais. Os peixes apresentam variações na estrutura básica do trato digestivo, se comparados a outros animais, as quais estão geralmente relacionadas ao tipo de alimento consumido e ao ambiente, podendo influenciar a presença, posição, formato e tamanho de alguns órgãos em particular. Entretanto, a maioria dos peixes é pouco especializada nos seus hábitos alimentares, sendo, considerada “generalista”.

Mesmo quando consomem um único tipo de alimento, podem substituí-lo por outro, totalmente diferente, quando o primeiro se torna indisponível, ou ainda, mudar de hábito alimentar ao longo da vida, sendo esta adaptação mais eficiente em espécies onívoras do que em carnívoras. O sucesso da aquacultura está, dentre muitos fatores, associado ao conhecimento das características fisiológicas e comportamentais das espécies em criação, em todas as fases de desenvolvimento.

4.1 COMPOSIÇÃO BÁSICA DAS RAÇÕES

Dentre alguns dos nutrientes que devem ser cuidadosamente observados na escolha da ração a ser oferecida aos peixes está a proteína. O excesso de proteína na ração poderá se tornar um fator poluente ao meio ambiente, uma vez que não irá ser aproveitado adequadamente pelos animais, além de tornar a ração mais cara, considerando que as fontes de proteína incluídas na dieta são de alto custo no mercado. Entretanto, a falta de proteína na ração pode afetar negativamente o desenvolvimento dos peixes. A exigência de proteína diminui com o crescimento do animal, sendo necessárias avaliações em cada fase de vida dos peixes.

Alguns dos ingredientes comumente utilizados na formulação de rações comerciais são: farelo de soja, farelo de algodão, farinha de peixe, farinha de carne e ossos e farinha de sangue, como fontes de proteína; e milho, sorgo, farelo de arroz e óleos, como fontes energéticas, além da inclusão de suplementos minerais e vitamínicos, sal e substâncias antioxidantes.

- **Farelo de soja:** amplamente empregado na formulação de rações para peixes, podendo ser encontrado nas mais diversas regiões do país, com preço variável. A qualidade deste alimento pode sofrer influências de fatores chamados antinutricionais que podem comprometer o desempenho dos animais. Portanto a torragem adequada da soja antes do preparo da ração é fundamental para bloquear a ação destes fatores.

- **Farinha de peixe:** é um subproduto desidratado e moído, obtido pela cocção do peixe integral, do corte de órgãos ou de ambos, após extração parcial do óleo. Apresentam equilíbrio ideal em aminoácidos essenciais e é importante fonte de fósforo e microminerais (zinco, manganês, cobre, selênio e ferro) aos peixes.

- **Farinha de carne e ossos:** é um alimento protéico de origem animal, que tem limitações quanto à sua inclusão nas rações, muitas vezes atribuída aos altos teores de cálcio e fósforo nela presentes.
- **Farinha de sangue:** na maioria das vezes a digestibilidade deste alimento é baixa para os peixes, devido ao processamento inadequado. A qualidade do produto deve ser a melhor possível, para evitar problemas posteriores.
- **Milho:** é uma das principais fontes de energia para peixes onívoros e herbívoros. A forma mais utilizada é o milho moído. Seu teor de inclusão é dado em função da disponibilidade, da viabilidade econômica, analisando sempre seu teor de umidade, presença de micotoxinas, resíduos de pesticidas e sementes tóxicas.
- **Sorgo:** substitui o milho em alguns casos, porém apresenta problemas devido ao tanino, uma substância tóxica para os animais. Porém, atualmente já existem variedades de sorgo com níveis de tanino mais baixos.
- **Farelo de arroz:** no mercado existe o farelo de arroz desengordurado, o farelo de arroz integral e o farelo de arroz integral com casca. Podem ser usados em substituição ao milho, trigo aveia, sorgo, etc. Ao utilizá-lo em rações para peixes deve-se ter o cuidado de adicionar junto um anti-oxidante, pois são sujeitos à rancificação, devido ao alto teor de gordura.

O preparo das rações deve ser criterioso, desde a moagem e mistura dos ingredientes até as etapas finais do processamento, quando houver. A moagem inadequada dos ingredientes pode ser facilmente percebida pela presença de pedaços visíveis de milho ou trigo, por exemplo, o que pode determinar uma redução considerável no aproveitamento dos nutrientes pelos peixes. Ao final do processo de preparo das rações deve ser observado parâmetros como coloração, uniformidade dos grânulos e cheiro, que são características complementares para se verificar a qualidade do alimento.

4.2 ADITIVOS ALIMENTARES

Os aditivos são substâncias não nutritivas, adicionadas intencionalmente às rações, com a finalidade de intensificar as propriedades químicas dos alimentos e/ou melhorar a condição dos animais. A inclusão racional de aditivos nas rações pode contribuir para o aproveitamento adequado dos nutrientes pelos animais, com melhorias no desempenho dos mesmos nos sistemas de criação. Dentre as categorias de aditivos utilizados em dietas animais podemos destacar: aditivos promotores de crescimento, aditivos medicamentosos, antioxidantes, pigmentantes, aglutinantes, entre outros. Atualmente, os aditivos promotores de crescimento têm ganhado destaque na nutrição animal, sobretudo aqueles naturais, com propriedades fitoterápicas. Tais aditivos são também denominados “alimentos funcionais”.

4.2.1 Alimentos funcionais para peixes

Um alimento pode ser considerado funcional se for demonstrado que o mesmo pode afetar benéficamente uma ou mais funções alvo no corpo, além de possuir os adequados efeitos nutricionais, de maneira que seja tanto relevante para o bem-estar e a saúde quanto para a redução do risco de uma doença, mas para isso deve ter consumo regular e uma preparação adequada par atingir suas funcionalidades. Eles apresentam substâncias com funções biológicas distintas, denominadas de compostos bioativos e são apresentados na forma de alimentos comuns, podendo assim, serem consumidos em dietas convencionais.

Os extratos vegetais são constituídos por óleos essenciais que contêm misturas de substâncias, algumas das quais são princípios ativos com efeito promotor de crescimento em muitos animais. Os óleos essenciais são extraídos por destilação a vapor de diferentes partes das plantas, como folhas, sementes, frutos, bulbos, rizomas e cascas.

Os alimentos funcionais podem ser classificados de dois modos: quanto à fonte, de origem vegetal ou animal, ou quanto aos benefícios que oferecem, atuando em seis áreas do organismo: no sistema gastrointestinal, no sistema cardiovascular, no metabolismo de substratos, no crescimento, no desenvolvimento e diferenciação celular e no comportamento das funções fisiológicas.

A propriedade antiséptica das plantas medicinais e aromáticas e de seus extratos tem sido observada desde a antiguidade. Pesquisas têm focado os efeitos benéficos específicos da inclusão desses microingredientes nas rações. Essas substâncias tendo influência na flora intestinal podem assim, melhorar a digestibilidade e a absorção dos nutrientes, e conseqüentemente, melhorar a resposta imune dos animais. Outro grande potencial dos fitoterápicos é na prevenção ou controle de patógenos na aquicultura como alternativas ao uso de antibióticos e produtos químicos no combate a patógenos. Alguns trabalhos mostram que os óleos essenciais de cravo, amêndoa amarga, pimenta vermelha e noz moscada e os extratos de louro, alecrim, orégano e coentro, possuem propriedades antibactericida atuando sobre a membrana celular bacteriana, impedindo sua divisão mitótica, promovendo desidratação celular, impedindo, assim, a sobrevivências de bactérias patogênicas. Diversos princípios ativos dos extratos vegetais tiveram seus efeitos antimicrobianos demonstrados *in vitro*.

Muitas doenças de peixes estão ligadas ao estresse imposto pelo ambiente de cultivo. O sistema imunológico dos peixes é diretamente influenciado por fatores ambientais. Além disso, as condições nutricionais também têm papel preponderante sobre o sistema imune. Esse sistema, assim como em outros vertebrados, desempenha um papel de grande importância na defesa do organismo contra a invasão e estabelecimento de muitas doenças, de maneira que estimular o sistema de defesa de animais mantidos em um ambiente estressante é uma alternativa eficaz e necessária. Para isso, vêm sendo utilizados desde produtos que contenham microorganismos e seus derivados, denominados pró-bióticos e pré-bióticos, extratos de plantas e de animais, até adjuvantes e fatores nutricionais diversos. Estes produtos são conhecidos como imunoestimulantes, e têm propriedades capazes de estimular o sistema imune por conferirem um aumento na atividade das células fagocitárias, na produção de lisossomos e anticorpos, diminuírem o estresse do manejo reduzindo assim, as perdas causadas pelas doenças. Os imunoestimulantes, adicionados a ração de maneira profilática, podem beneficiar a aquicultura, principalmente nas fases iniciais do cultivo, quando os peixes estão mais susceptíveis a doenças.

Por meio do uso de extrato aquoso de folhas de amendoeira, na concentração de 200 ppm, pesquisadores conseguiram reduzir a infecção por fungos nos ovos de tilápias e, com 800 ppm, eliminaram completamente *Trichodina* spp. de juvenis de tilápias do

Nilo após 2 dias de tratamento. Outra planta importante, que desperta o interesse dos pesquisadores, é o alho, por apresentar um amplo espectro de combate aos microorganismos como bactérias, fungos, protozoários e vírus, além de ser de fácil obtenção. Essas propriedades se devem a alicina, também responsável pelo odor característico da planta, e ao trissulfeto de alila.

O alho deve ser usado, preferencialmente, na forma de extrato cru, já que a fervura desnatura a alicina perdendo suas propriedades antimicrobianas. Com extrato na concentração de 200 mgL^{-1} , se conseguiu tratar ovos de enguia parasitados pelo protozoário *Trichodina* spp.. Na Tailândia, um estudo usando extrato de alho para banhos numa concentração de 800 ppm, conseguiu eliminar 100% do ectoparasita *Trichodina* spp. de juvenis de tilápias do Nilo em 2 dias. Usando $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ de ração por 45 dias, é possível reduzir em 95% a infestação por monogenético *Anacanthorus penilabiatusem pacus*.

A adição do extrato à ração, segundo os autores, não alterou as propriedades organolépticas da carne dos pacus. O orégano também possuem comprovada eficácia antimicrobiana por apresentar em sua composição cerca de 85% de uma mistura de dois componentes fenólicos, o carvacrol e o timol, além de atuar como antioxidante, antifúngico e antimicrobiano.

Outra importante propriedade dos alimentos funcionais é a ação antioxidante indicada como efetivas em retardar o processo de peroxidação lipídica em óleos e alimentos gordurosos. As especiarias têm despertado o interesse de muitos grupos de pesquisa, devido a facilidade de incorporação em óleos e gordura, apresentando a vantagem da aceitação imediata pelo consumidor e da sua utilização não ser limitada pela legislação. Os compostos antioxidantes naturais foram isolados de diferentes partes de plantas tais como sementes, frutas, folhas e raízes. Muitos são os componentes naturalmente presentes nos alimentos que apresentam atividade antioxidante, incluindo flavonóides, precursores de lignanos, ácidos fenólicos, terpenos, tocoferóis, fosfolipídeos.

Os compostos fenólicos são uns dos maiores grupos que estão associados com a inibição da oxidação em alimentos e em sistemas biológicos, sendo substâncias bioativas que ocorrem largamente em alimentos de origem vegetal e muito deles são bons suprimentos de antioxidantes naturais. Os antioxidantes fenólicos funcionam como

sequestradores de radicais livres e, algumas vezes, como quelantes de metais, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo.

As especiarias mais estudadas como antioxidante são o orégano, alecrim, sálvia, tomilho, pimenta malagueta, pimenta vermelha, gengibre, gergelim, canela e cravo da Índia, das quais o alecrim e a sálvia foram consideradas as mais eficazes. A ação antioxidante do extrato de alecrim comercial em filés de pacu armazenados por 30 dias a -35°C foi avaliada. A pesquisa verificou que o extrato protegeu os filés contra a oxidação, e que o grau de proteção foi dependente do perfil de ácidos graxos do filé, mostrando assim, a importância da dieta nos processos oxidativos in vivo. O efeito antioxidante do alecrim foi descrito como, tão efetivo quanto o BHA e equivalente ao BHT. Estudos confirmaram a eficiência antioxidante do extrato metanólico de alecrim (0,02%) em banha armazenada no escuro por 6, 14, 21, 28 e 36 dias através da determinação do índice de peróxido. A eficiência do extrato de alecrim foi comparável ao BHT e superior ao BHA nas mesmas concentrações.

4.3 FORMA FÍSICA DA RAÇÃO

Por viverem em meio aquático, os peixes têm problemas de perda de nutrientes, principalmente os mais solúveis. Sendo assim, o processamento adequado da ração é fundamental na alimentação dos animais. As formas físicas nas quais pode se fornecer a ração aos peixes são:

- **Ração farelada:** os ingredientes da ração são apenas moídos e misturados. Sua utilização não é recomendada, uma vez que as perdas de nutrientes são muito grandes, causando não só problemas aos peixes, como a poluição da água dos tanques.
- **Ração peletizada:** através da combinação de umidade, calor e pressão, as partículas menores são aglomeradas, dando origem a partículas maiores. Sua estabilidade na superfície da água deve estar em torno de 15 minutos, o que garante sua qualidade. Este tipo de ração reduz as perdas de nutrientes na água, pode eliminar alguns compostos tóxicos, diminui a seleção de alimento pelos peixes, além de reduzir o volume no transporte e armazenamento da ração. Porém, tem um custo de produção mais elevado quando comparada à ração farelada.

- **Ração extrusada:** a extrusão consiste num processo de cozimento em alta temperatura, pressão e umidade controlada. Sua estabilidade na superfície da água é de cerca de 12 horas, tornando o manejo alimentar com este tipo de ração mais fácil. Atualmente, tem sido a forma de ração mais indicada para a piscicultura.

A Figura 17 ilustra as principais formas físicas de ração para peixes.

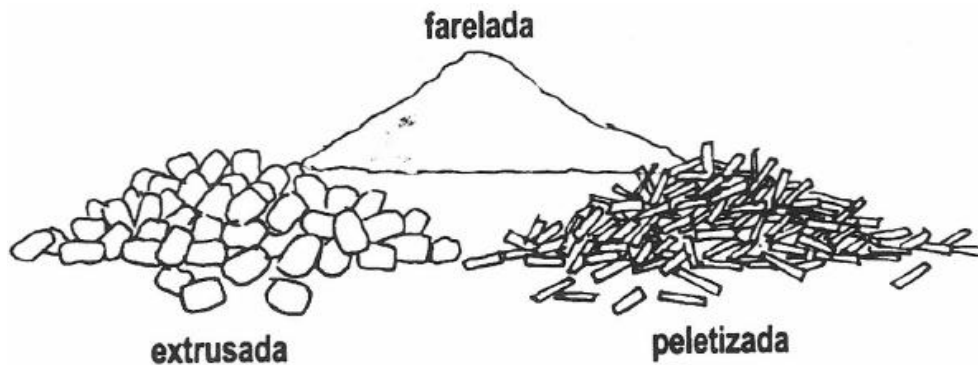


FIGURA 17 Principais formas físicas de ração para peixes (Fonte: Ostrensky & Boeger, 1998).

As rações processadas para organismos aquáticos, peletizadas ou extrusadas, dificultam sobremaneira as perdas de nutrientes por lixiviação. Assim, a produção de ração na propriedade, muito comum até meados da década de 1990, deixou de ser uma rotina, pelos inconvenientes práticos e financeiros, dando lugar à utilização de rações processadas industrialmente.

Na Tabela 20 encontram-se apresentadas algumas características que permitem estabelecer diferenças básicas entre as rações peletizadas e extrusadas e a consequência de seu uso na piscicultura.

TABELA 20 Diferenças básicas entre rações peletizadas e extrusadas.

| Parâmetros | Ração peletizada | Ração extrusada |
|------------------------------------|------------------|-----------------|
| Estabilidade na água | baixa a média | alta |
| Flutuabilidade | afunda | flutua |
| Possibilidade de perdas na água | alta | baixa |
| Observação do consumo pelos peixes | difícil | fácil |
| Quantidade fornecida/tanque | % da biomassa | à vontade |
| Impacto negativo na água | médio a grande | pequeno |
| Eficiência alimentar | média a baixa | alta |

As rações comerciais para peixes envolvem o processo de extrusão, o que melhora seu valor nutricional e possibilita aos animais se alimentarem na superfície da água, proporcionando um controle do manejo alimentar mais eficiente, uma vez que, com contato visual é possível observar o apetite dos peixes e eventuais sobras de ração.

4.3.1 Granulometria da ração

A escolha da ração a ser fornecida deve levar em consideração o tamanho dos peixes, sobretudo o tamanho da boca do peixe, para que este consiga capturar a ração e ingeri-la. Na Figura 18 está ilustrada uma comparação entre diferentes tamanhos de peixes e a compatibilidade de suas bocas com os grânulos de ração oferecidos.

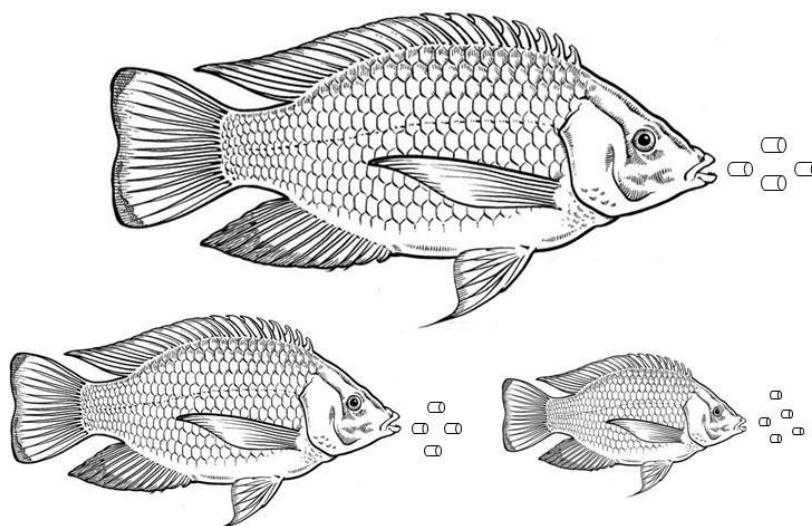


FIGURA 18 Escolha da granulometria da ração em função do tamanho da boca do peixe.

Frequentemente utiliza-se uma relação entre o tamanho do grânulo da ração e o tamanho da boca do peixe, que dever ser o mais próxima de 1:1 possível. A Tabela 21 mostra alguns exemplos de granulometrias e tipos de ração que podem ser fornecidas conforme o tamanho dos peixes no tanque.

TABELA 21 Forma física e granulometria da ração a ser fornecida, em função do tamanho dos peixes.

| Tamanho do peixe (cm) | Tipo de ração | Grânulo de ração (mm) |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| pós-larva | farelada fina | < 0,3 |
| 1,0 a 1,5 | farelada | 0,3 a 0,5 |
| 1,6 a 2,4 | triturada/farelada | 0,5 a 0,8 |
| 2,5 a 4,0 | triturada | 0,8 a 1,2 |
| 4,1 a 7,0 | triturada | 1,2 a 1,7 |
| 7,0 a 10,0 | peletizada ou extrusada | 1,7 a 2,4 |
| 10,0 a 15,0 | peletizada | 2,4 a 4,0 |
| mais de 15,0 | peletizada | > 4,0 |

Fonte: Kubitzka, 1997

4.4 ARMAZENAMENTO DAS RAÇÕES

O armazenamento das rações pode ser feito em temperatura ambiente ou sob sistema de refrigeração, sendo que este último garante um período maior de conservação. A estocagem correta das rações é extremamente importante para a conservação de suas características nutricionais, uma vez que umidade excessiva e contaminações por microrganismos e/ou insetos comumente levam a perdas consideráveis das propriedades de seus ingredientes. A umidade excessiva do ambiente de armazenamento das rações, associadas a altas temperaturas, leva ao aparecimento de fungos, que podem causar desde prejuízos no desempenho dos peixes até a sua mortalidade. Por outro lado, a incidência elevada de raios solares nas rações prejudica alguns de seus componentes, fazendo com que percam suas propriedades nutricionais. Assim, uma maneira prática de garantir a estocagem adequada dos sacos de ração é

mantê-los em ambiente fechado, bem ventilado e empilhados sobre estrados de madeira, evitando-se contato direto com o piso (Figura 19).

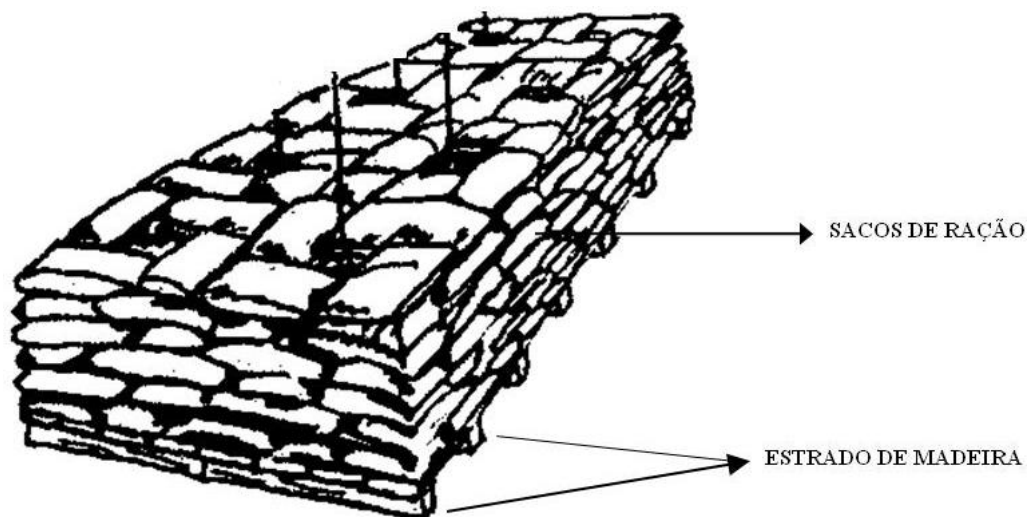


FIGURA 19 Armazenamento de rações sobre estrados de madeira.

O tempo que esta ração irá permanecer armazenada também deve ser observado, principalmente se este armazenamento for feito em temperatura ambiente. Nesta situação, recomenda-se o armazenamento da ração por no máximo 90 dias, respeitando-se as condições de baixa umidade e temperatura e ausência de incidência solar direta.

Durante o período de armazenamento é recomendado o controle rigoroso de roedores e insetos, que podem causar perdas consideráveis de ração.

4.5 FORNECIMENTO DE RAÇÃO AOS PEIXES

Existem duas maneiras de se fornecer a ração aos peixes: manualmente ou através do uso de comedouros. O fornecimento manual é interessante no sentido de mantermos um contato visual com os peixes, no tanque, podendo observar, por exemplo, possíveis problemas de saúde dos animais, porém requer maior mão-de-obra, quando comparado ao sistema de comedouros. A alimentação em comedouros pode ser através de cochos (bastante usado em sistemas tradicionais, no fornecimento de ração

farelada), ou mecanizada, onde o alimento é lançado por um equipamento acoplado a um trator. Este método permite uma alimentação rápida de grandes áreas, apesar de limitar o contato entre o tratador e os peixes. Existem ainda os comedouros automáticos, que distribuem a ração de tempos em tempos no tanque, porém também limitam o contato entre os peixes e o tratador. Este tipo de comedouro se encontra disponível no mercado, sendo necessário analisar sua relação custo/benefício quando da sua utilização.

Na fase inicial de desenvolvimento dos peixes recomenda-se o uso de uma ração finamente moída, em função do tamanho da boca do animal. É importante que o alimento seja distribuído de maneira uniforme pelo tanque.

A quantidade de ração fornecida aos peixes varia de acordo com a idade, a espécie, temperatura da água, teor de oxigênio dissolvido, a fase de crescimento e com a condição de saúde dos animais. Uma das formas utilizadas para quantificar a ração a ser fornecida aos animais baseia-se no conceito de “biomassa”, que é traduzido pelo número estimado de peixes existentes no tanque, multiplicado pelo seu peso médio. Para isso, é necessária uma avaliação periódica dos animais. A oferta diária de ração deve ser ajustada em intervalos de 7 a 14 dias. No entanto, este procedimento comumente estressa os peixes, podendo ocasionar redução temporária no consumo de alimento. A Tabela 22 ilustra alguns exemplos de quantidade de ração fornecida em função do peso dos peixes.

TABELA 22 Taxa de fornecimento de ração para tilápias nilóticas, mantidas em temperatura média de 28°C, em função do peso.

| Peso vivo dos peixes (g) | Taxa de fornecimento de ração (% peso vivo/dia) |
|---------------------------------|--|
| Até 1g | 30 a 10% |
| 1 a 5g | 10 a 6% |
| 5 a 20g | 6 a 4% |
| 20 a 100g | 4 a 3% |
| Acima de 100g | 3% |

Durante a fase de engorda dos peixes, recomenda-se uma separação dos animais de acordo com seu tamanho e peso. Este procedimento ajuda na padronização dos lotes de peixes, ajuda no acompanhamento do desenvolvimento dos animais ao longo das

fases de vida e permite correções periódicas na quantidade de alimento fornecido aos peixes nos tanques.

Uma maneira prática de se verificar o consumo dos peixes e a necessidade ou não de aumento da quantidade de alimento fornecido é lançar a ração no tanque (no caso de rações peletizadas ou extrusadas) e observar os animais se alimentando. Quando começar a sobrar ração na superfície, significa que os peixes estão saciados e que aquela quantidade de ração foi suficiente.

O número de vezes que os peixes devem ser alimentados por dia varia em função da temperatura, da espécie criada, da idade ou tamanho dos peixes e da qualidade da água do tanque. Geralmente quando a temperatura cai, o consumo de ração é menor e, portanto, o seu fornecimento deve ser menor também. Sabe-se também que quanto mais jovem é o peixe, mais vezes por dia ele deve ser alimentado. A qualidade da água é influenciada pela frequência de alimentação, uma vez que o excesso de ração no tanque provoca diminuição do oxigênio dissolvido na água, prejudicando os peixes.

Na Tabela 23 encontram-se algumas sugestões para frequência alimentar de tilápias nilóticas criadas em temperatura média de 28°C.

TABELA 23 Recomendação de frequência de alimentação de tilápias nilóticas, mantidas em temperatura média de 28°C.

| Peso vivo dos peixes (g) | Frequência de alimentação (número de vezes/dia) |
|---------------------------------|--|
| Até 1 g | 8 |
| 1 a 5 g | 6 |
| 5 a 20 g | 6 |
| 20 a 100 g | 4 |
| Acima de 100 g | 3 |

Quanto aos horários de fornecimento de ração, estes podem variar conforme a espécie cultivada. O ideal é fornecer a ração sempre nos mesmos horários, todos os dias, para que haja um condicionamento dos peixes. Estar sempre atento às condições da água do tanque (temperatura, transparência, oxigênio dissolvido), bem como às condições dos animais é importante para adequar o fornecimento de ração aos peixes. O mais importante é que o tratador seja um bom observador, pois dele irá depender a saúde e o desenvolvimento adequado dos animais.

A ração deve ser jogada nos tanques de maneira homogênea, de forma que se espalhe igualmente pela superfície, evitando, assim, aglomeração de ração em cantos do tanque, o que dificulta a ingestão pelos peixes e prejudica a qualidade da água, uma vez que as sobras afundarão e serão fermentadas (Figura 20).

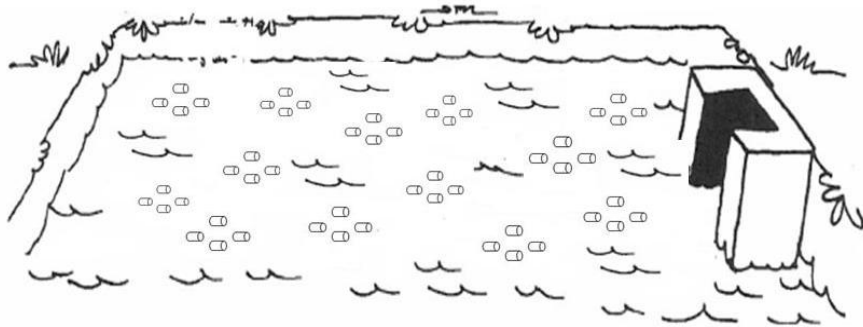


FIGURA 20 Fornecimento de ração extrusada em tanques de piscicultura (Fonte: adaptado de Ostrensky & Boeger, 1998).

Ao espalhar a ração na superfície da água o piscicultor aumenta a chance de que todos os peixes tenham acesso ao alimento.

Considerações finais

O manejo nutricional e alimentar correto irá garantir o crescimento dos animais, em condições de saúde adequadas, permitindo que os peixes resistam às condições impostas pelo sistema de criação, dificultando o aparecimento de doenças. Além disto, o fornecimento adequado de rações aos peixes, tanto pela escolha apropriada da ração, quanto pela estratégia de alimentação (frequência, quantidade e distribuição da ração nos tanques), contribuem para redução no desperdício de alimento, diminuindo a poluição ambiental e o custo de produção.

6

Referências Bibliográficas

- ALVAREZ, M.J.; DIEZ, A.; LÓPEZ-BOTE, C.; GALLEGO, M.; BAUTISTA, J.M. Short-term modulation of lipogenesis by macronutrients in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. **British of Journal Nutrition**, v.84, p.619-628, 2001.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ALIMENTOS PARA ANIMAIS – ANFAL. **Guia prático de orientação ao aqüicultor**. São Paulo, SP. 2000, 32p.
- BALDISSEROTTO, B. Digestão. In: **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2002. p.19-39.
- BARCELLOS, L.J.G. **Avaliação da resposta aguda ao estresse em alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2001. 62p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BARROS, M.M. Nutrição e saúde dos peixes. In: **XII Simpósio Brasileiro de Aqüicultura (apostila de minicurso)** – Goiânia, 2002. 17p.
- BOYCE, S.J. Nitrogenous excretion in the plunderfish. **Journal of Fish Biology**, v.54, p.72-81. 1999.
- BROOKMAN, P. Antioxidants and consumer acceptance. **Food Technology in New Zealand**, v.26, n.10, p.24-28, 1991.
- BRUGALLI, I. Alimentação alternativa: a utilização de fitoterápicos ou nutracêuticos como moduladores da imunidade e desempenho animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS, 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 2003. p.167-182.
- BURT, S.A.; VLIELANDER, R.; HAAGSMAN, H.P.; VELDHUIZEN, E.J.A. Increase in activity of essential oil components carvacrol and thymol against *Escherichia coli* O157:H7 by addition of food stabilizers. **International Journal of Food Properties**, v.68, p.919-926, 2005.
- BUTOLO, J.E. Alimentação alternativa: a utilização de fitoterápicos ou nutracêuticos como moduladores da imunidade e desempenho animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p.167-182, 2005.

CHITMANAT, C. Fish Immunostimulants. **Songklanakarín Journal Science and Technoogy**, v.24, n.4, p.739-747, 2002.

CHITMANAT, C.; TONGDONMUAN, K.; KHANOM, P.; PACHONTIS, P.; NUNSONG, W. Antiparasitic, antibacterial, and antifungal activities derived from a *Terminalia catappa* Linn solution against some tilapia (*Oreochromis niloticus*) pathogens. **Acta Horticulturae**, v.678, p.179-182, 2005a.

CHITMANAT, C.; TONGDONMUAN, K.; NUNSONG, W. The use of crude extracts from traditional medicinal plants to eliminate *Trichodina* spp. in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Songklanakarín Journal Science and Technology**, v.27, n.1, p.359-364, 2005b.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. **Princípios Básicos de Piscicultura**. Itutinga, MG, 2000. 57p.

CONTRERAS-GUZMÁN, E.S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 409p.

CRUZ, C. **Aspectos toxicológicos de parathion metílico e de extrato aquoso de folhas secas de nim (*Azadirachta indica*) para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e eficácia no controle de monogenea *Dactylogyridae***. Jaboticabal. 96 p. (Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP), 2005.

CYRINO, J.E.P. **Condicionamento alimentar e exigências nutricionais de espécies carnívoras**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP. 2000, 200p.

DEANS, S. G.; RITCHIE, G. Antibacterial properties of plant essential oils. **International Food Microbiology**, v.5, n.2, p.165-168, 1987.

DEL CARRATORE, C. R.; MACHADO, J. H.; URBINATI, E. C.; GONÇALVES, D. D.; VOLPI, S. Desempenho produtivo de alevinos de pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*), alimentados com níveis crescentes de amido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 11., 2000, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRAQ/ACAq/ABCC/BMLP/MAA, 2000.

DENG, D.F.; REFSTIE, S.; HUNG, S.S.O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates. **Aquaculture**, v.199, p.107-117, 2001.

DIAB, A.S.; ALY, S.M.; JOHN, G.; ABDE-HADI, Y.; MOHAMMED, M.F. Effect of garlic, black seed and Biogen as immunostimulants on the growth and survival of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae), and their response to artificial infection with *Pseudomonas fluorescens*. **African Journal of Aquatic Science**, v.33, n.1, p.63-68, 2008.

DORMAN, H.J.; DEANS, S.G. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. **Journal of Applied Microbiology**, v.88, p.308-316, 2000.

DÜGENCI, S.K.; ARDAB, N.; CANDANA, A. Some medicinal plants as immunostimulant for fish. **Journal of Ethnopharmacology**, v.88, n.1, p.99-106, 2003.

FERRARI, CK. Bioquímica dos alimentos funcionais, nutrição e saúde. **Revista Nutrição Profissional**, v.1, n.1, p. 21-28, 2005.

FRØYSTAD, M.K.; VOLDEN, V.; BERG, T.; GJØEN, T. Metabolism of oxidized and chemically modified low density lipoproteins in rainbow trout – clearance via scavenger receptors. **Developmental & Comparative Immunology**, v.26, p.723-733, 2002.

FURUYA, W.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B.; SOARES, C.M. Exigência de proteína para alevino revertido de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1912-1917, 2000.

FURUYA, W.M.; FURUYA, V.R.B. Composição de aminoácidos da carcaça do pintado (*P. corruscans*) baseada no conceito de proteína ideal. **Zoot. Trop.** v.21, n.2, p.109-117. 2003.

GAYLORD, T.G.; GATLIN, D.M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalatus punctatus*). **Aquaculture**, v.194, n.3-4, p.337-348, 2001.

GONDRET, F.; MOUROT, J.; LEBAS, F.; BONNEAU, M. Effects of dietary fatty acids on lipogenesis and lipid traits in muscle, adipose tissue and liver of growing rabbits. **Journal of Animal Science**, v.66, p.483-489, 1998.

HOULIHAN, C.M.; HO, C.T.; CHANG, S.S. The structure of rosmariquinone-A new antioxidant isolated from *Rosmarinus officinalis*L. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.62, p.96-98, 1985.

HSIEH, S.L.; CHEN, Y.N.; KUO, C.M. Physiological responses, desaturase activity and fatty acid composition in milkfish (*Chanos chanos*) under cold acclimation. **Aquaculture**, v.220, p.903-918, 2003.

INGRAM, C. **The cure is in the cupboard (How to use oregano for better health)**. Illinois: Knowledge House, 1997.

ISMINO-ORBE, R.A.; ARAUJO-LIMA, C.A.R.M.; GOMES, L.C. Excreção de amônia por tambaqui (*Colossoma macropomum*) de acordo com variações na temperatura da água e massa do peixe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1243-1247. 2003.

KAMEL, C. A novel look at a classical approach of plant extracts. **Feed Mix**, p.19-21, 2000.

KIM, J.D.; LALL, S.P. Effects of dietary protein level on growth and utilization of protein and energy by juvenile haddock (*M. aeglefinus*). **Aquaculture**, v.195, n.3-4, p.311-319, 2001.

KUBITZA, F. Qualidade da Alimentação, Qualidade da Água e Manejo Alimentar na Produção de Peixes. **Anais do Simpósio sobre Manejo Alimentar e Nutrição de Peixes**. CBNA. Piracicaba, p.63-101, 1997.

KUBITZA, F. **Nutrição e Alimentação de Peixes Cultivados**. Campo Grande, MS. p.45-47, 1998.

KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação dos peixes cultivados**. 3ed. Jundiaí, SP. 1999. 123 p.

KUBITZA, F. Manejo Nutricional e Alimentar de Tilápias. In: **Rev. Panorama da Aqüicultura**. v.10, n.60, p.31-36, 2000.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L.M.M. Tilápias: água, cultivo, produção, nutrição - Parte II. **Rev. Panorama da Aqüicultura**, v.10, n.60, p. 31-36, 2000.

LANARI, D.; AGARO, E.D.; TURRI, C. Use of nonlinear regression to evaluate the effects of phytase enzyme treatment of plant protein diets for rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.161, p.345-356, 1998.

LOGATO, P.V.R. **Nutrição e alimentação de peixes de água doce**. Imp. Gráfica Univ. UFLA/FAEPE. (CDD - 639.31). Lavras, MG. 1999, 136p.

LOGATO, P.V.R. **Anatomia funcional e fisiologia dos peixes de água doce**. Lavras: UFLA/FAEPE. 2001. 70p.

LUZ, R.K.; SALARO, A.L.; SOUTO, E.F.; REIS, A.; SAKABE, R. Desenvolvimento de alevinos de trairão alimentados com dietas artificiais em tanques de cultivo. **Rev. Bras. Zootec.**, v.30, n.4, p.1159-1163, 2001.

LUZIA, L.A; SAMPAIO, G.R.; CASTELLUCCI, C.M.N.; TORRES, E.A.F.S. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. **Food Chemistry**, p.1-5, Jan, 2003.

MACEDO-VIEGAS, E. M.; FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; VIDOTTE, R.M.; SECCO, E.M. Efeito das classes de peso sobre a composição corporal e rendimento de processamento da matrinxã cultivada (*B.cephalus*). **Acta Scientiarum**, Maringá, Paraná. 22 (3): 729-732, 2000.

- MADSEN, H.C.K.; BUCHMANN, K.; MELLERAGAARD, S. Treatment of trichodiniasis in eel (*Anguilla anguilla*) reared in recirculation systems in Denmark: alternatives to formaldehyde. **Aquaculture**, v.186, p.221-231, 2000.
- MAINA, J.G.; BEAMES, R.M.; HIGGS, D.; MBUGUA, P.N.; IWAMA, G.; KISIA, S.M. Partial replacement of fishmeal with sunflower cake and corn oil in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn): effect on whole body fatty acids. **Aquaculture Research**, v.34, p.601-608, 2003.
- MARTINS, M.L.; MORAES, F.R.; MIYAZAKI, D.M.Y.; BRUM, C.D.; ONAKA, E.M.; FENERICK Jr, J.; BOZZO, F.R. Alternative treatment for *Anacanthorus penilabiatu*s (Monogenea: Dactylogyridae) infection in cultivated pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Osteichthyes: Characidae) in Brazil and its haemathological effects. **Parasite**, v.9, p.175-180, 2002.
- MARTINO, R.C. Exigências e cuidados da adição de lipídeos em rações para peixes e a sua importância para o homem. **Rev. Panorama da Aqüicultura**, v.12, n.74, p.52-54. 2002.
- MARTINO, R.C. Exigências e cuidados da adição de lipídeos em rações para peixes e a sua importância para o homem – Parte 2. **Rev. Panorama da Aqüicultura**, v.13, n.75, p.58-60. 2003.
- MASUDA, T.; INABA, Y.; TAKEDA, Y. Antioxidant mechanism of carnosic acid: structural identification of two oxidation products. **Journal Agricultural Food Chemical**, v.49, p.5560-5565, 2001.
- MENOYO, D. et al. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids. **Aquaculture**, v.225, p.295-307, 2003.
- MENTEN, J. F. M. Probióticos, prebióticos e aditivos fitogênicos na nutrição de aves. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: CBNA, p.251-276, 2002.
- MILOS, M.; MASTELIC, J.; JERKOVIC, I. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidically bound volatile compounds from oregano (*Origanum vulgare*, L. ssp. *hirtum*). **Food Chemistry**, v.71, p.79-83, 2000.
- MILTENBURG, G. Extratos Herbais como substitutos de antimicrobianos na alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE ADITIVOS ALTERNATIVOS NA NUTRIÇÃO ANIMAL, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: [s. n.], p.87-108, 2000.
- MONTERO, D.; MARRERO, M.; IZQUIERDO, M.S.; ROBAINA, L.; VERGARA, J.M.; TORT, L. Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles subjected to crowding stress. **Aquaculture**, v.171, p.269-278, 1999.

MOTTA, V.T. **Bioquímica básica**. Autolab Análises Clínicas. 2003. 310p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of fish and shrimp**. Washington: National Academy, 392p. 2011.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger: principles of biochemistry**. 3.ed. New York: Worth Publishers, 2000. 1152 p.

NIELSEN, K.S. **Fisiologia Animal: Adaptação e Meio Ambiente**. São Paulo, 2002. 611p.

O'KEEFE, T. **Ascorbic acid and stable ascorbate esters as sources of vitamin C in aquaculture feeds**. Singapore: American Soybean Association – United Soybean Board - (ASA Technical Bulletin Vol. AQ48-2001). In: www.asasea.com/technical/aq48-2001, 2001.

OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. **Piscicultura – Fundamentos e técnicas de manejo**. Editora Agropecuária, Guaíba, RS. 1998. 214p.

PEREIRA, S.L.; LEONARD, A.E.; MUKERJI, P. Recent advances in the study of fatty acids desaturases from animals and lower eukaryotes. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**. 68 (2003), 97-106.

PEZZATO, L.E. BARROS, M.M. Nutrição de peixes no Brasil. In: Palestra I Simpósio de Nutrição e Saúde de Peixes, Unesp Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Aquanutri, Cd-rom. 2007.

PORTZ, L.; CYRINO, J.E.P. Comparison of the amino acid contents of roe, whole body and muscle tissue and their A/E ratios for largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802). **Aquaculture Research**, v.34, p.1-8. 2003.

REGOST, C.; ARZEL, J.; CARDINAL, M.; ROBIN, J.; LAROCHE, M.; KAUSHIK, S.J. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v.193, p.291-309, 2001.

RIBEIRO, P.A.P.; GOMIERO, J.S.G.; LOGATO, P.V.R. **Manejo alimentar de peixes**. Boletim técnico. Editora UFLA, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2001. 16p.

RIBEIRO, P.A.P.; ROSA, P.V.; VIEIRA, J.S.; GONÇALVES, A.C.S.; DE FREITAS, R.T.F. Perfil lipídico e composição química de tilápias nilóticas em diferentes condições de cultivo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.1, p. 199-208, 2011.

ROBERFROID, M. Functional food concept and its application to prebiotics. **Digestive and Liver Disease**.v.34, n.2, p.105-10, 2002.

ROTTA, M.A. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura.** Embrapa – Corumbá, MS, 2003. n.53, 49p.

SAKAI, M. Current status of fish immunostimulants. **Aquaculture**, v.172, p.63-92, 1999.

SALARO, A.L. **Manejo e nutrição de peixes em tanque-rede.** Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009, 10p. Disponível em:
http://www.cbnutricaoanimal.com.br/Palestras/PALESTRA_MANEJO_PEIXES_ANA_LUCIA.PDF

SANT'ANA, L.S.; MACINI-FILHO, J. Ação antioxidante de extratos de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) em filés de peixes da espécie pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.2, n.1, p.27-31, 1999.

SCHIRCH, D.T.; MANCINI-FILHO, J. Avaliação da atividade antioxidante em extratos de alecrim (*Rosmarinus officinalis*, L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XVII. 2000, Fortaleza. **Resumos.** Fortaleza: SBCTA, v.2, p.5.15, 2000.

SEIXAS FILHO, J. T.; OLIVEIRA, M. G. A.; DONZELE, J. L.; GOMIDE, A. T. M.; MENIN, E. Atividade de amilase em quimo de três espécies tropicais de peixes Teleostei de água doce. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.907-913, 1999.

SHIAU, S.Y. & HSU, C.Y. Vitamin E sparing effect by dietary vitamin C in juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **Aquaculture**, v.210, p.335-342, 2002.

SIVROPOULOU, A.; PAPANIKOLAOU, E.; NIKOLAOU, C.; KOKKINI, S.; LANARA, T.; ARSENAKIS, M. J. Antimicrobial and cytotoxic activities of origanum essential oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.5, p.1202-1205, 1996.

SOUSA, R.V. **Óleos em rações de suínos dos 70 aos 100 Kg e seus efeitos sobre o metabolismo de lipídeos, desempenho, qualidade da carcaça e características físico-químicas da carne.** Lavras: UFLA, 2002. 150p. (Tese de Doutorado).

SOUZA, P. H. M.; SOUZA NETO, M. H.; MAIA, G. A. Componentes funcionais nos alimentos. **Boletim da SBCTA**. v.37, n.2, p.127-135, 2003.

SPERANDIO, L.M. Manejo nutricional e alimentar para peixes em tanque-rede: noções gerais. In: Setor Pesqueiro, www.setorpesqueiro.com.br, 2004.

SUN, L.T.; CHEN, G.R.; CHANG, C.F. Acute responses of blood parameters and comatose effects in salt-acclimated tilapia exposed to low temperatures. **J. Therm. Biol.**, v.20, p.299–306, 2000.

SUSSEL, F.R. Alimentação na criação de peixes em tanque-rede. APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios), Assis, SP. 2008. 14p. Disponível em: ftp://ftp.sp.gov.br/ftpesca/alimentacao_peixes.pdf

SWENSON, M.J.; REECE, W.O. **Dukes: fisiologia dos animais domésticos**. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856p.

TACON, A. G. J. Transtornos nutricionales relacionados con las vitaminas. In: **Ictiopatología nutricional: signos morfológicos de la carencia y toxicidad de los nutrientes en los peces cultivados**. Roma: FAO, 1995. 77p.

TEXEIRA, A. S. **Alimentos e Alimentação dos Animais**. Imp. Gráfica Univ. UFLA/FAEPE. (CDD – 636.084). Lavras, MG. 239-240p. 1998.

TEROVA, G.; SAROGLIA, M.; PAPP, Z.Gy.; CECCHINI, S. Dynamics of collagen indicating amino acids, in embryos and larvae of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*), originated from broodstocks fed with different vitamin C content in the diet. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.121, p.11-118, 1998.

TOCHER, D.R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in Fisheries Science**, v.11, n.2, p.107-184, 2003.

TRUEMAN, R.J.; TIKU, P.E.; CADDICK, M.X.; COSSINS, A.R. Thermal thresholds of lipid restructuring and delta 9-desaturase expression in the liver of carp (*Cyprinus carpio*). **J. Exp. Biol**, v. 203, p.641–650, 2000.

VANGEN, B.; HEMRE, G.I. Dietary carbohydrate, iron and zinc interactions in Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v.219, p.597-611, 2003.

VIJAYAN, M.M.; PEREIRA, C.; MOON, T.W. Hormonal stimulation of hepatocyte metabolism in rainbow trout following an acute handling stress. **Comp. Biochem. Physiol.** v.108, p.321-329, 1999.

WEBB JR. K.A.; GATLIN, D.M. Effects of dietary protein level and form on production characteristics and ammonia excretion of red drum *Sciaenops ocellatus*. **Aquaculture**, v.225, p.17-26. 2003.

WILSON, R. P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (Ed). **Fish Nutrition**. Orlando: Academic Press, p.144-179, 2002.

WU, J.W.; LEE, M.H.; HO, C.T. et al. Elucidation of the chemical structures of natural antioxidants isolated from rosemary. **Journal of American Oil Chemists Society**, v.59, p.339–345, 1982.

ZIMMERMANN, S.; MOREIRA, H.L.M.; VARGAS, L.; RIBEIRO, R.P. **Fundamentos da moderna aquicultura**. Ed. ULBRA, Canoas, RS. 2001. 199p.