

Ácidos graxos Ômega-3 e Ômega-6 na nutrição de peixes – fontes e relações

Fatty acids Omega-3 and Omega-6 in fish nutrition – sources and relations

Silvia Maria Guimarães de Souza¹, Rodrigo Javier Vargas Anido², Francielle Carlet Tognon³

Recebido em 16/11/2006; aprovado em 14/08/2007.

RESUMO

Existem duas séries de ácidos graxos essenciais que não podem ser sintetizados pelos animais e humanos e devem ser supridos pela dieta. A série n-6 é derivada do ácido linoléico (LA) e a série n-3, do ácido alfa-linolênico (ALN). A partir destes ácidos graxos polinsaturados (PUFAs- polyunsaturated fatty acids), são sintetizados os ácidos araquidônico (AA), eicosapentanoico (EPA) e docosaexanoico (DHA). Os peixes geralmente são importantes fontes de ácidos graxos, de cadeia longa. Contudo, existem diferenças entre espécies marinhas e às de água doce. Peixes marinhos são caracterizados por baixos níveis de LA e ALN, mas com altos níveis de ácidos graxos altamente insaturados (HUFA) de cadeia longa n-3, quando comparados com os peixes de água doce. Entretanto, peixes de água doce parecem ter uma maior capacidade de alongar e dessaturar ácidos graxos, sintetizados por algas ou plantas em EPA e DHA. Para a nutrição de peixes cultivados, utiliza-se o óleo de peixe marinho, mas, este representa um recurso finito de pesca. Com a estagnação dos recursos pesqueiros, seu preço tende a subir, tornando-se cada vez mais interessante procurar fontes alternativas para este ingrediente. Entre as alternativas sustentáveis para substituir o óleo de peixe está a inclusão óleos de vegetais, como linhaça e canola na ração. Para tanto, pesquisas vêm sendo realizadas, com o intuito de alcançar melhores proporções de n-3/n-6 no músculo do peixe. Dessa

forma, se potencializa o valor nutricional para a saúde humana, já que os ácidos graxos altamente insaturados proporcionam diversos benefícios a ela, como prevenção de doenças, devendo, portanto, ter seu consumo aumentado.

PALAVRAS-CHAVE: EPA, DHA, lipídios, óleos vegetais, saúde.

SUMMARY

There are two series of essential fatty acids, which can not be synthesized by animals or humans and must be supplied in the diet. The n-6 series are derived from linoleic acid (LA) and the n-3 series from alpha linolenic acid (ALN). From these polyunsaturated fatty acids (PUFAs) are synthesized the arachidonic acid (AA), eicosapentanoic acid (EPA) and docosahexanoic acid (DHA). Fish are generally good sources of fatty acids, but there are differences between marine and freshwater fishes. Low levels of LA and ALN characterize lipids of marine fish species, as well as high levels of long chain n-3 high-unsaturated fatty acid (HUFA). However, freshwater fishes seem to have greater capacity to desaturate and elongate the fatty acids, synthesized by algae or plants, into EPA and DHA. Fish oil has been utilized for farm fish feeding marine, but it represents a finite resource. With the fishery resource stagnation, the price tends to increase which turns more interesting to search alternative sources. A sustainable source to

¹ Médica Veterinária, Doutora em Fisiologia, Profª Adjunta em Aqüicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Endereço/Adress: Depto. Zootecnia, Setor de Aquicultura, Av. Bento Gonçalves 7712,000 Porto Alegre-RS CEP 91540-000 E-mail para correspondência: silsouza@ufrgs.br

² Biólogo, Mestrando em Zootecnia

³ Engenheira de Pesca

substitute fish oil in fish feeding includes vegetable oils like rapeseed oil and linseed oil. Research has been carried out to find the best ratio n-3/n-6 in fish muscle. This finding is important to increase fish nutritional value for human health, since the highly unsaturated fatty acids provide various benefits, such as preventing heart diseases, and an increase of their consume should be stimulated.

KEY WORDS: EPA, DHA, lipid, vegetable oil, health.

INTRODUÇÃO

Os lipídios, juntamente com sua dinâmica, são fundamentais para a saúde, sobrevivência e sucesso das populações de peixes (ADAMS, 1998). As funções destas moléculas no crescimento dos peixes estão bem definidas, sendo elas: energéticas, estruturais, hormonais, precursores de eicosanóides e bioquímicas, entre outras (HALILOGLU et al., 2003). Dentro dos lipídios, os ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) são requeridos para um crescimento e desenvolvimento normais, principalmente através da manutenção da integridade estrutural e funcional das membranas (SARGENT et al., 1999).

As exigências lipídicas apresentam grandes variações entre as espécies cultivadas, as quais representam um grande campo de pesquisa (DE SILVA e ANDERSON, 1995). A exigência nutricional nos peixes está definida como a capacidade de sintetizar ou não os diferentes grupos de moléculas. Nos lipídios, os ácidos graxos linoléico (AL) e linolênico (ALN) não podem ser sintetizados pelos peixes e, portanto, devem ser incorporados na dieta (BELL, 1998). Estes ácidos graxos essenciais são encontrados, sobretudo em óleos vegetais, sendo precursores de muitos outros derivados por acréscimo de carbono na cadeia e por introdução de duplas ligações, formando as famílias ômega-6 (n-6) e ômega-3 (n-3), respectivamente (OLSEN, 1998).

As necessidades destes ácidos graxos nas diversas espécies de peixes vêm sendo estudadas desde os anos sessenta (NICOLAIDES e WOODALL, 1962). A pesquisa nesta área está

concentrada nas quantidades e relações de famílias n-3 e n-6 na dieta, e como elas influenciam a capacidade das enzimas (desaturases e alongases) em promover a produção de ácidos graxos altamente insaturados (HUFAs) partindo dos seus precursores (SARGENT et al., 1999; ZHENG et al., 2004a) (Figura 1).

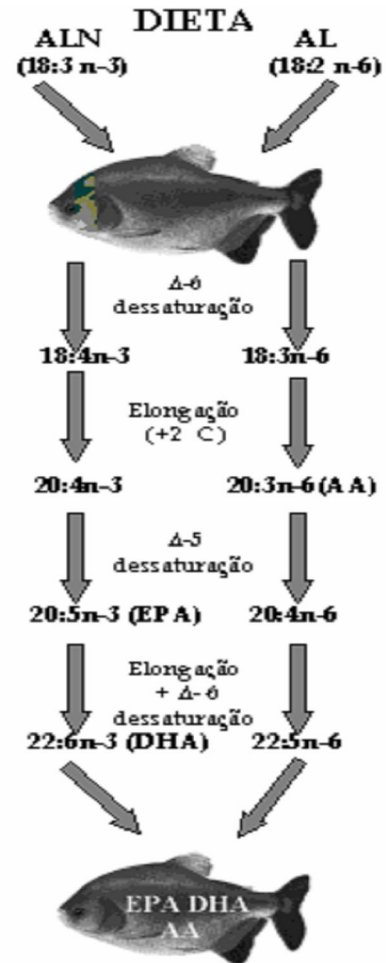


Figura 1 - Bioconversão de ALN e AL, em EPA, DHA e AA pelas enzimas alongases e desaturases.

Nesse sentido, peixes marinhos possuem uma relação n-3/n-6 maior que peixes de água doce, devido a uma presença mais forte da série n-3 na sua cadeia trófica (OLSEN, 1998). Por outro lado, algumas espécies de peixes de água doce possuem uma maior capacidade de alongar e desaturar estes ácidos graxos (MOREIRA et al., 2001). Esta peculiaridade vem sendo pesquisada com o intuito

de alcançar melhores relações n-3/n-6 no músculo destes peixes, através da dieta.

A composição, a distribuição e a relação entre as séries n-3 e n-6 nos peixes são influenciadas basicamente por três fatores: genéticos (espécie, etapa de desenvolvimento, entre outros), ambientais (temperatura e salinidade) e, fundamentalmente nutricionais (JUSTI et al., 2003). A composição corporal do peixe é um fiel reflexo da dieta consumida pelo animal (VISENTAINER et al., 2005). Para tanto, surge a necessidade de estabelecer, precisamente, as exigências nutricionais dos peixes durante as diferentes etapas do cultivo, com a finalidade de gerar dietas adequadas que maximizem o crescimento e mantenha o seu estado sanitário (VERGARA, 1992).

Grande variedade de lipídios de origem animal e vegetal vêm sendo usados na formulação de dietas para peixes (MOURENTE, et al., 2005). Dentro deles, pode-se citar os óleos de girassol, soja, milho e linhaça. Porém, poucos trabalhos têm sido direcionados para a significativa afinidade entre alimentação do peixe, composição lipídica do peixe de água doce e seu valor para a nutrição humana (STEFFENS, 1997). Assim, cabe salientar a importância de estudos sobre ácidos graxos das famílias n-3 e n-6, em peixes, que visem apontar as diversas fontes lipídicas utilizadas na dieta, com a finalidade de produzir alimentos mais saudáveis para os consumidores.

DESENVOLVIMENTO

Relações n3/n6 em peixes marinhos e de água doce.

Uma forma de conhecer as exigências lipídicas dos peixes é fazer uma avaliação da relação ótima entre as séries de seus ácidos graxos em animais saudáveis em seu habitat natural. Em geral, peixes marinhos são caracterizados por apresentar uma relação n-3/n-6 alta, variando entre 5 a mais que 10 (STEFFENS, 1997). Isto se deve ao alto conteúdo de PUFAs de cadeia longa da série n-3 de algumas espécies de fitoplâncton marinho, contidos em sua dieta (DE SILVA et al., 1998). Geralmente, ácidos graxos n-3 dominam sobre ácidos graxos n-6, numa proporção de 5-20 em alimentos marinhos (OLSEN,

1998). Por isso, peixes marinhos carnívoros dependem de uma dieta rica em ácidos graxos n-3 HUFA, particularmente EPA e DHA, para seu rápido crescimento (SARGENT et al., 2002). Com a evolução, esses peixes foram perdendo sua capacidade de alongar e dessaturar os ácidos graxos PUFAs, devido à redução das enzimas que realizavam este trabalho, pois os PUFAs provinham diretamente da dieta (OLSEN, 1998).

Por outro lado, a composição de ácidos graxos dos peixes de água doce, é caracterizados por altas proporções de n-6 PUFA, especialmente ácido linoléico e ácido araquidônico. Para tanto, a razão total n-3 para n-6 de ácidos graxos é inferior para peixes de água doce que para peixes marinhos, estendendo-se de 1 (um) para aproximadamente 4 (quatro) (STEFFENS, 1997). Isto se deve a eles se alimentarem de fitoplâncton de água doce, crustáceos e larvas de insetos, que são ricos em LA n-6, ALN n-3 e EPA n-3, (FARKAS, 1970; STEFFENS, 1997). Algas de água doce apresentam, em geral, grandes quantidades de ALN e AL; entretanto, as espécies *Oscillatoria* (Cyanophyta) e *Cladophora* (Chlorophyta) demonstram um comportamento “atípico”, onde foram encontrados, além dos precursores, altos níveis de n-3 HUFA, como EPA e DHA (NAPOLITANO, 1998). Em geral, peixes de água doce demonstram ter uma maior capacidade de alongar e dessaturar ácidos graxos PUFAs de cadeia curta. Com isso, convertem alimento de menor valor nutricional em alimento com maior valor nutricional (MOREIRA et al., 2001).

Em geral, considera-se que peixes cultivados de água doce contêm menor quantidade de ácidos graxos da série n-3 e maior quantidade de n-6 (SUÁREZ-MAHECHA et al., 2002). Assim, pesquisas sobre fontes lipídicas na nutrição de peixes de água doce, são muito importantes para o desenvolvimento da aquicultura, pois nela está a possibilidade de se obter melhores resultados nas proporções das relações das séries n-3/n-6. Muitos estudos têm sido realizados buscando o efeito da composição dos ácidos graxos da dieta sobre o metabolismo, especialmente em conexão com a exigência de ácidos graxos essenciais em várias espécies de peixes (JOBBLING, 2004).

Alguns estudos com o salmão do Atlântico mostraram que a inclusão de óleos vegetais nas dietas não resultaram em redução da performance de crescimento, conversão alimentar ou desenvolvimento de patologias no peixe. Entretanto com a inclusão de níveis (50%) de óleos vegetais, houve significativo acúmulo de 18:2n-6 e redução de 20:5n-3 e 22:6n-3 na carne (TORSTENSEN et al., 2000; BELL et al., 2001; 2003).

Estudos com catfish (*Ictalurus punctatus*) indicaram que este peixe poderia utilizar efetivamente o sebo de carne, alto em ácido oléico n-9 e baixo em ácidos graxos n-6 e n-3, ou o óleo de savelha (*Brevoortia tyrannus*), moderado em n-3 HUFA, enquanto que, o óleo de girassol, alto em AL, e o óleo de linhaça, alto ALN, foram utilizados pobremente. Estas pesquisas sugerem que esta resposta pobre dos óleos vegetais foi devida a uma habilidade limitada de metabolizar AL ou à inibição competitiva da síntese de ácidos graxos na presença de altos níveis do ALN na dieta (WILSON e MOREAU, 1996).

Variações no perfil dos ácidos graxos da dieta, devido à inclusão de óleos vegetais, podem alterar o metabolismo dos peixes, que pode afetar a saúde e a resistência ao estresse do peixe (MOURENTE et al., 2005). A inclusão de óleos vegetais na ração pode produzir inadequadas proporções de ácidos graxos n-3/n-6 no peixe, o que afeta sua saúde por alterar a síntese de eicosanóides. Estes têm sua produção provavelmente associada com situações estressantes e são moduladores da função imunológica (SARGENT et al., 2002). Entretanto, a função dos ácidos graxos n-3 e n-6 em peixes e a resposta imunológica é incerta e contraditória, e outros estudos neste sentido devem ser feitos (MONTERO et al., 2003).

Por outro lado, pode haver um aumento na concentração de EPA e DHA em algumas espécies de peixes, exóticas e nativas, com a utilização de óleos vegetais, que contenham precursores ALN. Nesse sentido, Visentainer et al. (2005) observaram um aumento na quantidade destes ácidos graxos na composição lipídica total de filés de tilápia, com a substituição de óleo de girassol por óleo de linhaça na ração.

Estudos com espécies de peixes nativos

Várias espécies de peixes brasileiros são de grande interesse comercial, seja para o consumo ou para práticas esportivas e, no país, a cada ano, aumenta a produção em cativeiro destes peixes (FRACALOSSO et al., 2004). As variações das exigências de ácidos graxos essenciais para as diferentes espécies de peixes são, aparentemente, originárias tanto da dieta como de adaptações metabólicas a diferentes habitat (SARGENT, et al., 1999). Para tanto, conhecer a quantidade dos ácidos graxos desses peixes, em habitat natural, é essencial para o cultivo.

Nesse contexto, Maia (1998) encontrou valores de EPA e DHA altos, em relação aos lipídios totais, para algumas espécies naturais do Rio Amazonas, como 6,47 e 7,19% para *Cishla* sp., 9,57 e 19,28% para *Pellona castelnaena* e 9,15 e 4,46% para *Liposarcus pardalis*, respectivamente. Andrade et al. (1995) também detectaram altos valores de EPA e DHA para algumas espécies de peixes de água doce, tais como 11,67 e 10,34% para *Plagioscion squamosissimus*; 4,8 e 7,08% para *Salminus maxilloso*; 6,05 e 6,47% para *Hoplias malabaricus* e 4,32 e 7,61% para *Pseudoplatystoma corruscans*. Outros estudos realizados por Andrade et al. (1997), com espécies de peixes de água doce, nativos e exóticos, demonstraram que espécies como barbado (*Pinirampus pinirampu*), pintado (*P. corruscans*) e truta (*Salmo* sp.) contêm 1,62 e 3,92%; 2,97 e 4,29; 1,69 e 11,89% de EPA e DHA respectivamente. Já Maia et al. (1994), encontraram valores mais baixos para *Prochilodus scrofa*, 1,5% (EPA) e 2,4% (DHA), capturados no Rio Mogi Guaçu – SP.

Moreira et al. (2001) compararam a quantidade de ácidos graxos no músculo de diferentes espécies do gênero *Brycon* (*B. cephalus*, *B. orbignyanus* e *B. microlepis*), cultivados e dos Rios Cuiabá-Manso e Paraná, onde encontraram valores menores que 1,6% para AA, EPA e DHA, em todas as espécies. Segundo o Department of Health (1994), a relação n-3/n-6 deve ser maior que 0,25. Nesse aspecto, apenas os peixes capturados nos rios apresentaram uma relação superior, 0,56 (*B. microlepis*) e 0,88 (*B. orbignyanus*), que nos cultivados, 0,20 (*B. orbignyanus*) e 0,11 (*B.*

cephalus). Estudos desenvolvidos por Martino et al.(2002) verificaram que o surubim (*P. corruscans*) pode atingir uma relação n-3/n-6 adequada, quando fontes ricas em ácidos graxos n-3, como óleo de linhaça, são incorporadas na dieta. Uma maior relação n-3/n-6 na dieta em favor dos ácidos graxos n-3, é efetiva na prevenção da síndrome de cardiopatia (BELL et al. 1991). Assim, EPA e DHA são conhecidos por exercerem um efeito benéfico à saúde humana.

Benefícios dos ácidos graxos altamente insaturados na saúde humana

A composição de ácidos graxos em peixes tem recebido muita atenção, em função de suas implicações na saúde humana. Atualmente, está sendo recomendado um alto consumo de ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs), especialmente da série n-3 ou ômega-3 e, menor da série n-6 ou ômega-6 (DEPARTMENT OF HEALT, 1994).

Existem várias pesquisas que destacam a importância de uma dieta à base de peixes, devido a esses alimentos serem ricos em DHA e EPA (ômega-3). Isto porque o corpo humano possui pouca habilidade de converter PUFAs em EPA e DHA, ocorrendo com baixa eficiência, cerca de 10 a 15% (EMKEN et al., 1994).

São amplamente conhecidos os benefícios que representam os ácidos graxos altamente insaturados para a saúde humana no que diz respeito à prevenção de doenças coronárias, doenças cardiovasculares, artrite reumática, depressão, depressão pós-parto, cânceres, diabetes, ação antiinflamatórias, entre outros (PUWASTIEN et al., 1999; SANDERSON et al., 2002; FAGUNDES, 2003).

Vários países como a Alemanha, Canadá, Japão e EUA já fizeram recomendações da proporção de ômega-3 ômega-6 para a saúde humana. No Canadá, a proporção recomendada de n-3/n-6 deve ser maior que 0,25 para reduzir a influência da competitividade do AL com ALN, para o metabolismo na produção de cadeias longas (EPA e DHA) (HOLUB, 2002). Assim, o consumo de peixe que contém uma relação adequada das séries dos ácidos graxos (ALN e AL) pode melhorar a saúde de pessoas, quando comparadas com as que não consomem. O consumo

de pescados no Brasil é muito regionalizado. A região amazônica apresenta o maior consumo per capita, acima de 30 kg/hab/ano. Nas cidades de Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo, e no estado de Santa Catarina, o consumo é também mais elevado, estando em torno de 20 kg/hab/ano. Estes números contrastam com estados como Minas Gerais, Piauí e Tocantins, onde o consumo médio da população não chega a 5 kg/hab/ano, sendo que no estado do Rio Grande do Sul, o consumo de peixe ainda é mais baixo, em torno de 0,9 kg/hab/ano (SEAP, 2006)(SAA/RS, 2002).

CONCLUSÕES

A produção de peixes ricos em EPA e DHA pressupõe uma dieta com boas fontes de precursores LA e ALN. A composição dos ácidos graxos nos peixes está relacionada com altos níveis de ácido graxo n-3 poliinsaturado na ração, e conseqüentemente, a uma boa relação de n-3/n-6 no músculo. Assim, mais estudos devem ser realizados com o intuito de melhorar estas relações em peixes de água doce, pois eles podem ser melhores fontes de ácidos graxos essenciais do que peixes marinhos e, dessa forma, benéficos à saúde humana.

Esses estudos devem estar direcionados às diversas fontes lipídicas com seus precursores e à capacidade que cada espécie possui em bioconverter PUFAs em HUFAs. Alguns óleos vegetais, como linhaça e canola são ótimas fontes de ALN e, ao serem introduzidos na dieta dos peixes, poderão trazer bons resultados. Outro aspecto a considerar é o cultivo em águas verdes, ricas em fitoplâncton, uma fonte natural e de baixo custo de precursores. Concluindo, a nutrição lipídica de peixes cultivados representa um grande campo de pesquisa, na busca da produção de alimentos funcionais para o homem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M. S. Ecological role of lipids in the health and success of fish populations. In: ARTS, M. T., WAINMAN, B. C. **Lipids in freshwater ecosystems**. New York : Springer-Verlag,1998. cap. 7, p. 132-160.
- ANDRADE, A. D. et al. Omega-3 fatty acids in

- backed freshwater fish from south of Brazil. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.47, n.1, p.73-76, 1997.
- ANDRADE, A. D. et. al. Omega-3 fatty acids in freshwater fish from south Brazil. **Journal American Oil Chemistry Society**, v.72, p.1207-1210, 1995.
- BARLOW, S. Fishmeal and fish oil: sustainable feed ingredients for aqua feeds. **Global Aquaculture Advocate** v.4, p.85-88, 2000.
- BELL, J.G. Current aspects of lipid nutrition in fish farming. In: BLACK, K. D., PICKERING, A. (Eds), **Biology of Farmed Fish**. Sheffield: Sheffield Academic Press, p.114-145, 1998.
- BELL, J. G. et al. High dietary linoleic acid effects the fatty acid composition of individual phospholipids from tissues of Atlantic salmon (*Salmo salar*): association with stress susceptibility and cardiac lesion. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.121, p.1163-1172, 1991.
- BELL, J. G. et al. Rapessed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil "wash out". **Aquaculture**, v.218, p.515-528, 2003.
- BELL, J. G. et. al. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid composition and hepatocyte fatty acid metabolism. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.131, p. 1535-1543, 2001.
- DE SILVA, S.S.; ANDERSON, T.A. **Fish nutrition in aquaculture**. London : Chapman & Hall, 1995. 319p.
- DE SILVA, SS. et al. Habitat related variations in fatty acids of catadromus *Galaxias maculatus*. **Aquatic Living Resources** v.11, n.6, p. 379-385, 1998.
- DEPARTAMENT OF HEALT. **Nutritional aspects of cardiovascular disease**. London : H. M. Stationery Office, 1994. Report on health and social subjects n. 46.
- EMKEN, E. A.; ADLOF, R. O.; GULLEY, R. M. Dietary linoleic acid influences desaturation and acylation of deuterium-labeled linoleic acids in young adult males. **Biochimica et Biophysica Acta : BBA. Lipids and Lipid Metabolism**, v.1213, p.277-288, 1994.
- FAGUNDES, L. A. **Guia de alimentação natural: alimentos que nos ajudam a viver melhor**. Porto Alegre : AGE, 2003. p. 83-91.
- FARKAS, T. The dynamics of fatty acids in the aquatic food chain, phytoplankton, zooplankton, fish. **Annual Biology**, Tihany, v.37, p.165-176, 1970.
- FRACALOSSO D. A. et al. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. **Acta Scientiarum : Animal Sciences**, Maringá, v.6, n. 3, 2004.
- HALILOGLU, H.I. et al. Comparisons of fatty acid composition in some tissues of rainbow (*Oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater. **Food Chemistry**, v.86, p.55-59, 2003.
- HOLUB, B. Omega-3 fatty acids in cardiovascular care, **Journal Clinical Nutrition: 4**. CMAJ, v.166, p. 608-615, 2002.
- HORROBIN, D. F. Interactions between n-3 and n-6 essential fatty acids (EFAs) in the regulation of cardiovascular disorders and inflammation. **Prostaglandins Leukotrienes Essential Fatty Acids**, v.44, p. 127-131, 1991.
- JOBLING, M. Are modifications in tissue fatty acid profiles following a change in diet the result of dilution? Test of a simple dilution model. **Aquaculture**, Amsterdam, v.232, p. 551-562, 2004.
- JUSTI, K. C. et al. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. **Food Chemistry**, v.80, p.489-493, 2003.
- MAIA, E. L. et al. Fatty acids composition of Amazon River fishes. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 16. **Anais...** Rio de Janeiro, 1998, p. 1154-1157.
- MAIA, E. L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.; FRACO, M. R. B. Fatty acids of the total, neutral, and phospholipids of the Brazilian freshwater fish *Prochilodus scrofa*. **Journal Food Composition and Analysis**, v.7, p.240-251, 1994.
- MARTINO, R. C. et al. Performance and fatty acid composition of surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) fed diets with animal and plant lipids. **Aquaculture**, v.209, p. 233-246, 2002.
- MONTERO, D. et al. Vegetable lipids source for gilthead sea bream (*Sparus aurata*): effects on fish health. **Aquaculture**, v.225, p. 353-370, 2003.

- MOREIRA, A. B. et al. Fatty acids profile and cholesterol contents of Three Brazilian *Brycon* freshwater fishes. **Journal Food Composition and Analysis**, v.14, p.565-574, 2001.
- MOURENTE, G.; GOOD, J. E.; BELL, J. G. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E₂ and F₂α, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. **Aquaculture Nutrition**, v.11, p.25-40, 2005.
- NAPOLITANO, G. E. Fatty acids as trophic and chemical markers In: ARTS, M. T., WAINMAN, B. C. **Lipids in freshwater ecosystems**, New York: Springer-Verlag, 1998. cap.2, p. 21-44.
- NG, W.K. et al. Replacement of dietary fish oil with palm fatty acid distillate elevates tocopherol and tocotrienol concentrations and increases oxidative stability in the muscle of African catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.233, p.423-437, 2004.
- NG, W.K.; LIM, P.K.; BOEY, P.L. Dietary lipid and palm oil source affects growth, fatty acid composition and muscle a-tocopherol concentration of African catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.215, p.229-243, 2003.
- NICOLAIDES, N. ; WOODALL, A. H. Impaired pigmentation in chinook salmon fed diets deficient in essential fatty acids. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.78, p.431-437, 1962.
- NRC. **Nutrient Requirements of Fish**. Washington: National Academy Press, 1993. p.114.
- OLSEN, Y. Lipids and essential fatty acids in aquatic foods webs: what can freshwater ecologists learn from mariculture. In: ARTS, M. T., WAINMAN, B. C. **Lipids in freshwater ecosystems**, 1998. cap. 8, p.161-202.
- PUWASTIEN, P. K.; NAKNGAMANONG, Y.; BHATTACHARJEE, L. Proximate composition of raw and cooked thai freshwater and marine fish. **Journal Food Composition and Analysis**, v.12, p.9-16, 1999.
- SAA. Cadeia Produtiva do Peixe Cultivado. Philadelphia, Philadelphia **SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO RS**, 2002. p.47.
- SANDERSON, P. et al. UK Food Standards Agency α-linolenic acid workshop report. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v.88, p.573-579, 2002.
- SARGENT, J. G., TOCHER, D. R., BELL, J. G. The lipids. In: HALVER, J. E., HARDY, R. W. **Fish nutrition**. 3rd ed. Ohio: Elsevier, 2002. p.181-257.
- SARGENT, J.G.M. et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v.177, p.191-199, 1999.
- SEAP – **Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca**. Segunda semana Nacional do Peixe. Disponível em :<
<http://200.198.202.145/seap/speixe/index.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2007.
- STEFFENS, W. Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans. **Aquaculture**, Amsterdam, v.151, p.97-119, 1997.
- SUAREZ-MAHECHA, H. et al. Importância de ácidos graxos poliinsaturados presentes em peixes de cultivo e de ambiente natural para a nutrição humana. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.28, n.1, p.101-110, 2002.
- TORTENSEN, B.E.; LIE, O.; FROYLAND, L. Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar*)—effects of capelin oil, palm oil and oleic-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. **Lipids**, v.35, p.653-664, 2000.
- VERGARA, J.M. **Studies on the utilization of dietary protein and energy by Gilthead Seabream *S. spratus***. 1992. 162p. PhD. Tesis of doctorate in Institute of Acuiculture University of Stirling. Scotland.
- VISENTAINER, J. V. et al. Influence of diets enriched with flaxseed oil on the α-linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Food Chemistry**, v.90, p.557-560, 2005.
- WILSON, R.P.; MOREAU, Y. Nutrient requirements of catfishes (Siluroidei). **Aquatic Living Resources**, v.9, p.103-111, 1996.
- ZHENG, X. et al. Effects of diets containing vegetable oil on expression of genes involved in highly unsaturated fatty acid biosynthesis in liver of Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, Amsterdam, v.236, p.467-483, 2004 (a).

ZHENG, X. et al. Characterization and comparison of fatty acyl D6 desaturase cDNAs from freshwater and marine teleost fish species. **Comparative Biochemistry Physiology**, Part B Vancouver, v.139, p.269–279, 2004 (b).