

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HIGIENE VETERINÁRIA
E PROCESSAMENTO TECNOLÓGICO DE PRODUTOS DE
ORIGEM ANIMAL**

NATHÁLIA MIRANDA COUTINHO

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E
ESTABILIDADE LIPÍDICA EM DIFERENTES
TEMPERATURAS DE ESTOCAGEM DE
PEIXES DULCÍCOLAS**

**NITERÓI
2015**



NATHÁLIA MIRANDA COUTINHO

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ESTABILIDADE LIPÍDICA EM DIFERENTES
TEMPERATURAS DE ESTOCAGEM DE PEIXES DULCÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal Fluminense. Área de Concentração: Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Medicina Veterinária.

Orientadora: Prof^a. Dra. Eliane Teixeira Mársico

Coorientadora: Dra. Maria Lúcia Guerra Monteiro

Niterói
2015

C871c Coutinho, Nathália Miranda

Caracterização nutricional e estabilidade lipídica em diferentes temperaturas de estocagem de peixes dulcícolas / Nathália Miranda Coutinho; orientadora Eliane Teixeira Mársico. – 2015.
80 f.

Dissertação (Mestrado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) – Universidade Federal Fluminense, 2015.
Orientadora: Eliane Teixeira Mársico.

1. Peixe de água doce. 2. Composição centesimal.
3. Lipídeo. 4. Cromatografia gasosa. I. Título.

CDD 664.94

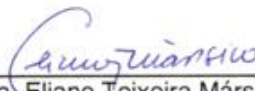
NATHÁLIA MIRANDA COUTINHO

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ESTABILIDADE LIPÍDICA EM
DIFERENTES TEMPERATURAS DE ESTOCAGEM DE PEIXES DULCÍCOLAS**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Medicina Veterinária. Área de Concentração: Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal.

Aprovada em 14 de julho de 2015.

BANCA EXAMINADORA




Profa. Dra. Eliane Teixeira Mársico - Orientadora – UFF



Profa. Dra. Carla da Silva Carneiro – UFRJ



Dra. Maria Lúcia Guerra Monteiro - PAPDRJ - CAPES/FAPERJ



Dra. Anna Carolina Vilhena da Cruz Silva Canto - PDJ/CNPq

Niterói - RJ
2015

Aos que me ensinaram o caminho para chegar até aqui,
minha maior inspiração e exemplo, meus dois maiores
amores dessa vida e de toda a minha existência.
A João e Gina Coutinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada.

Aos meus pais, João Carlos Coutinho e Gina Miranda Coutinho, por todo o amor e companheirismo, por serem meus alicerces ao longo da minha formação.

A minha irmã Luana Miranda Coutinho, por toda atenção, ajuda, amizade e incentivo.

Ao Angelo Simões, pelos mimos, amor, por todo o incentivo e ajuda. Muito obrigada.

A minha irmã Marina Miranda e meu cunhado Bruno Cardoso, pelo carinho e apoio e aos meus sobrinhos Lucas e Guilherme, pelos momentos de descontração e amor.

A minha vó Nair Pereira e a minha tia Karina Coutinho, que mesmo longe, sempre me apoiaram e incentivaram ao longo dessa caminhada.

A minha orientadora Eliane Teixeira Mársico, por toda a compreensão, pela amizade e admiração construída, estando sempre presente, auxiliando na minha formação tanto pessoal quanto profissional. Muito obrigada.

A minha coorientadora Maria Lúcia Guerra Monteiro por todos os ensinamentos, toda a dedicação, compreensão e ajuda para a realização desse trabalho e também a Anna Carolina Vilhena da Cruz Silva Canto, por toda ajuda, dedicação na etapa final desse projeto. Gostaria de expressar a vocês minha profunda gratidão.

Aos meus amigos e colegas do programa de Pós-graduação em especial, André Muniz, Hugo Azevedo, Leonardo Gaze, Bruna Rosa, Letícia Aquino, Celso Fasura, Saulo Machado, Vitor Melo, Fernanda Medeiros, Mozart Lemos, Roberta Ribeiro, Bruno Lima, Claudius Cabral, Cristine Oliveira, Ana Paula Salim, Felipe Viana, Julia Simões, Julia Lira, Marion Costa, Beatriz Frasão, Camila Cutrim, Raphael Barros, Eduardo Noqueira, Camila Valente, Monaliza Santuchi, Pedro Henrique Panzenhagen, Carlos Frederico Guimarães e Bruna Rodrigues, que foram essenciais para realização desse trabalho, por toda amizade, conselhos e apoio em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Ismar Araújo de Moraes, Prof^a. Dr^a. Cláudia Emília Teixeira e a Prof^a. Dr^a. Micheli da Silva Ferreira, pela amizade e carinho de sempre, por todo incentivo e auxílio para meu crescimento profissional.

Ao Prof. Dr. Carlos Adam Conte Junior, por todos os ensinamentos diários para a conclusão dessa etapa na minha vida profissional.

Ao Prof. Luiz Antônio Moura Keller e ao Prof. Renato Clapp, pelos ensinamentos e por toda ajuda inicial nesse trabalho.

Aos alunos de PIBIC, estagiários e funcionários do Centro Laboratorial Analítico - CLAn, em especial Wagner Alves e Cristina Silveira, pelo apoio, carinho e momentos de descontração e ao Sr. Laércio Souza e Dona Irani de Souza, pela limpeza impecável do laboratório.

A equipe da Pós-Graduação, Prof. Dr. Sérgio Borges Mano, Dráusio de Paiva Ferreira, Mariana Ferreira de Oliveira e André Luiz da Silva Veiga pela atenção e ajuda durante a realização do curso de Mestrado.

Aos produtores da Fazenda da Baixa e aos frigoríficos Boa Cria e Frigoind, que com presteza, forneceram as amostras as quais me permitiram a realização deste estudo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo auxílio financeiro.

Enfim, agradeço àqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concluído. Minha gratidão a todos que, pela amizade, carinho e respeito, ou pelo simples convívio ao longo dessa jornada, ligaram-se a mim, pelo vínculo da experiência comum. Muito obrigada por tudo!

“O êxito da vida não se mede pelo caminho
que você conquistou, mas sim pelas
dificuldades que superou no caminho”.
(Abraham Lincoln)

“A persistência é o menor caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

A cadeia produtiva da piscicultura de água doce no Brasil é uma atividade que vem apresentando taxas de crescimento expressivas a nível nacional e mundial. O pescado é valorizado sob o ponto de vista nutricional devido à presença de micronutrientes, proteínas de alto valor biológico e ácidos graxos essenciais que são benéficos à saúde humana na prevenção de doenças. Essa matriz alimentar é altamente perecível devido a fatores extrínsecos e intrínsecos que favorecem inúmeras reações químicas, alterando moléculas e podendo gerar substâncias tóxicas. A oxidação é a principal causa de degradação da molécula lipídica. Este processo produz compostos indesejáveis que alteram as características sensoriais e nutritivas do alimento, podendo também gerar substâncias com potencial carcinogênico. A utilização de baixas temperaturas para conservação do pescado, métodos convencionais na comercialização e ambiente domiciliar, é usada historicamente para diminuir a taxa de deterioração do pescado, porém sua utilização deve ser cuidadosa e criteriosa, pois apenas diminui a taxa de degradação das moléculas. Diante deste cenário, objetivou-se avaliar a composição nutricional de duas espécies de peixes de água doce nativos do Brasil, avaliar o perfil de ácidos graxos e acompanhar a degradação lipídica em diferentes temperaturas de estocagem. No primeiro experimento que gerou um primeiro artigo, avaliou-se a composição centesimal, o conteúdo de lipídio total em diferentes regiões musculares do corpo do jaú catfish (*Zungaro jahu*), o valor energético e a oxidação lipídica por substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), analisados em “pool” de tecido muscular. TBARS foi avaliado em refrigeração (4°C) durante 15 dias nas amostras frescas e após 105 dias de congelamento (-20°C). Todas as análises foram realizadas em duplicatas e todo o experimento foi repetido duas vezes (n=2). O estudo revelou que o teor de lipídios totais em jaú catfish varia entre as diferentes regiões do corpo. Além disso, essa espécie nas condições do estudo apresentou maior teor de proteína e menor teor de lipídios. No entanto, o armazenamento tanto congelado como resfriado não impediu a formação de TBARS. Na segunda etapa do projeto que gerou o artigo 2, avaliou-se a composição centesimal e valor energético em mantas de pirarucu (*Arapaima gigas*) criado em cativeiro, e acompanhou-se a degradação lipídica em amostras armazenadas em refrigeração (4°C) durante 15 dias, com intervalo de dois dias e em congelamento (-20°C) avaliadas quinzenalmente, ao longo de 90 dias. Para esta espécie objetivou-se também caracterizar o perfil de ácidos graxos. As análises físico-químicas foram realizadas em “pool” do tecido muscular e incluíram a determinação da composição centesimal, valor calórico e perfil lipídico por cromatografia gasosa, realizadas em triplicata. E análises relacionadas à avaliação da degradação lipídica como TBARS e índice de peróxido (PI) foram realizadas em duplicata. Todo o experimento foi repetido três vezes (n=3). Os resultados revelaram uma matriz de alta qualidade proteica com baixo teor de lipídio. Observou-se a oxidação lipídica tanto em refrigeração quanto ao longo do congelamento. O pirarucu foi caracterizado como um

peixe de alto valor nutricional, apresentando elevado conteúdo de ácidos graxos poliinsaturados (AGPI) (43,97%), com índices de aterogenicidade de 0,35 e trombogenicidade de 0,28, e a razão ácido hipocolesterolémico / hipercolesterolêmica de 2,37. Da família ômega-6, ácido linoleico (C18:2 ω -6) e araquidônico (C20:4 ω -6), apresentaram maiores valores. Com relação aos AGPI da série ômega-3, o ácido docosaenoico (DHA, C22:6 ω -3) exibiu maior quantidade que o ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3).

Palavras-chave: peixe dulcícola, composição centesimal, oxidação lipídica, perfil lipídico, cromatografia gasosa.

ABSTRACT

The production chain of freshwater fish farming in Brazil is an activity that is showing significant growth rates at national and global level. Seafood is valued under the nutritional point of view due to the presence of micronutrients, high biological value protein and essential fatty acids that are beneficial to human health disease prevention. This food matrix is highly perishable due to extrinsic and intrinsic factors that favor many chemical reactions, changing molecules and may generate toxic substances. Among these degradation processes, the oxidation is a major cause of degradation of the lipid molecule. This process produces undesirable compounds that alter the sensory and nutritional quality of the food and may also generate substances with carcinogenic potential. The use of low temperatures for preservation fish, conventional methods in marketing and home environment, and historically used to slow the rate of deterioration of fish, but its use should be carefully for only decreases the degradation rate of the molecules. In this scenario, aimed to evaluate the nutritional composition of two species of freshwater fish native Brazil evaluate the fatty acid profile and monitor lipid degradation at different temperatures of storage. In the first experiment that generated a first article, we evaluated the chemical composition, the total lipid content in different muscle regions of body jaú catfish (*Zungaro jahu*), the energy value and lipid oxidation by reactive substances thiobarbituric acid (TBARS) analyzed on pool of muscle tissue. TBARS was valued at refrigeration (4°C) for 15 days on fresh samples and after 105 days of freezing (-20°C). All analyzes were performed in duplicate and the experiment was repeated twice (n=2). The study revealed that the total lipid content in jaú catfish varies between different regions of the body. Also this species in study conditions, showed higher protein content and lower content of lipids. However, both cold and frozen storage did not prevent the formation of TBARS. In the second stage of the project that generated the Article 2 evaluated the chemical composition and energy value in pirarucu fillets (*Arapaima gigas*) raised in captivity and followed up the lipid degradation in stored samples in refrigeration (4°C) for 15 days with two days interval and freezing (-20°C) assessed biweekly over 90 days. For this species also aimed to characterize the fatty acid profile. As physical and chemical analyzes were performed in pool of muscle tissue and included the determination of the chemical composition, calorific value and lipid profile by gas chromatography, performed in triplicate. And analyzes related to the assessment of lipid degradation as TBARS and peroxide index (PI) were performed in duplicate. The entire experiment was repeated three times (n=3). Our research revealed a matrix of high quality protein with low fat content. It was observed oxidative rancidity as well refrigeration as frozen. The *Arapaima gigas* was characterized as a high nutritional fish value, with great polyunsaturated fatty acids (PUFAs) content (43.97%), with atherogenicity index of 0.35, thrombogenicity index of 0.28, and the hypocholesterolemic acid/ hypercholesterolemic of 2.37 ratios. Regarding the omega-6 family, the linoleic acid

(C18:2 ω -6) and arachidonic (C20:4 ω -6) showed higher values. And regarding the omega-3 series, docosahexaenoic acid (DHA, C22:6 ω -3) exhibited larger amount than eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5 ω -3).

Key-words: freshwater fish, proximate composition, lipid oxidation, lipid profile, gas chromatography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Metabolismo dos ácidos graxos das séries ω -3 e ω -6 (adaptado de LOTTENBERG, 2009), p. 21
- Figura 2.** Desenho experimental delineado para desenvolvimento do artigo 1, p. 27
- Figura 3.** Desenho experimental delineado para desenvolvimento do artigo 2, p. 45
- Figura 4.** Piscicultura de pirarucu localizada na Fazenda da Baixa, município de São Luís de Montes Belos, Goiás/GO, p. 77
- Figura 5.** Frigorífico Boa Cria localizado em Bonfinópolis, Goiás/GO, p. 78

SUMÁRIO

RESUMO, p. 8

ABSTRACT, p. 10

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, p. 12

1 INTRODUÇÃO, p. 14

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, p. 16

2.1 POTENCIAL DA AQUICULTURA NACIONAL, p. 16

2.2 CARACTERÍSTICAS DO JAÚ (*Zungaro jahu*), p. 17

2.3 CARACTERÍSTICAS DO PIRARUCU (*Arapaima gigas*), p. 18

2.4 LIPÍDIOS: ASPECTOS GERAIS E FUNCIONALIDADE, p. 19

2.5 VALOR NUTRITIVO DO PESCADO, p. 23

2.6 ASPECTOS DE QUALIDADE DO PESCADO, p. 24

2.6.1 Alterações degradativas, p. 24

2.6.2 Alterações da fração lipídica, p. 25

3. DESENVOLVIMENTO, p. 27

3.1 ARTIGO 1: LIPID DISTRIBUTION IN THE MEAT OF JAU (*Zungaro jahu*) AND THE INFLUENCE OF STORAGE TEMPERATURE ON ITS FAT STABILITY. Submitted in International Journal of Food Science & Technology (Paper I – Under review), p. 27

3.2 ARTIGO 2: FATTY ACIDS COMPOSITION AND INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE LIPID STABILITY OF *Arapaima gigas* MEAT. Submitted in LWT- Food Science and Technology (Paper II – Under review), p. 45

4.CONSIDERAÇÕES FINAIS, p. 69

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p. 71

6. APENDICES, p. 77

6.1 PISCICULTURA DE PIRARUCU, p. 77

6.2 FRIGORÍFICO BOA CRIA, p. 78

6.3 CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO – ARTIGO 1, p. 79

6.4 CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO – ARTIGO 2, p. 79

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da piscicultura de água doce no Brasil é uma atividade que vem apresentando uma taxa de crescimento expressiva a nível nacional e mundial, devido a fatores como disponibilidade de recursos hídricos, clima favorável e crescente demanda por pescado no hábito alimentar dos brasileiros. Espécies dulcícolas como jaú (*Zungaro jahu*) e o pirarucu (*Arapaima gigas*), são consideradas na categoria de sobreexplotadas ou ameaçadas de sobreexploração, e dados relacionados à biologia e qualidade destas espécies, são escassos apesar do promissor potencial para a piscicultura brasileira.

Atualmente, a produção de pescado através da aquicultura vem despertando a atenção da sociedade científica, e tem contribuído para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas com a qualidade sanitária do alimento, com o sistema de produção utilizado e relacionado aos impactos ambientais causados por essa atividade.

Todavia, a composição da fração lipídica varia entre as espécies, pois depende de alguns fatores como alimentação, idade, peso, época do ano, entre outros, sendo de fundamental relevância determinar o perfil lipídico de diversas espécies, especialmente, daquelas com carência de informações na literatura como o jaú e o pirarucu, objetos desse estudo, dentre outras tantas espécies nativas.

O consumo de pescado no Brasil de uma forma geral está bastante atrelado a questões como disponibilidade, facilidade de acesso e qualidade uma vez que a distribuição do produto após despesca ou captura é feita de maneira bem ineficiente. O pescado vem se tornando uma opção alimentar cada dia mais expressiva, em função de aspectos ligados à saúde por seus atributos nutricionais e sensoriais, como a presença de elevada quantidade de ácidos graxos poliinsaturados (AGPI), especialmente, das séries ômega 3 e 6, que são benéficos a saúde humana na prevenção de doenças cardiovasculares como aterosclerose, trombose e arritmia. Além disso, são importantes no tratamento de certas doenças inflamatórias como eczema atópico, asma e psoríase bem como na síndrome pré-menstrual, diabetes, artrite reumatóide, hipertensão, obesidade e certos tipos de cânceres.

Entretanto, para que de fato possa gerar benefícios à saúde, as moléculas que os constituem devem estar estáveis, íntegras e aptas a atuar no controle das patologias supracitadas. Este parâmetro caracteriza uma interface de fundamental importância, pois o pescado consiste em uma matriz alimentar altamente perecível devido a determinados fatores extrínsecos e intrínsecos como elevada atividade de água, pH próximo da neutralidade, elevada quantidade de nutrientes facilmente utilizáveis por microrganismos, rápida ação de enzimas autolíticas, além da predominância de gorduras insaturadas, moléculas quimicamente instáveis que favorecem a instalação do ranço oxidativo.

Este processo de rancificação produz compostos indesejáveis, que alteram as características sensoriais e nutritivas do alimento, podendo também resultar na formação de substâncias tóxicas (radicais livres e compostos secundários) para a saúde humana, causando danos muitas vezes irreparáveis e, silenciosos à saúde do consumidor, limitando a validade comercial dos produtos. Logo, a utilização de baixas temperaturas para conservação do pescado é uma técnica amplamente usada na comercialização, pois tanto a refrigeração ($4 \pm 2^{\circ}\text{C}$) quanto o congelamento ($-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), exercem a função de diminuir a atividade dos principais agentes causadores da deterioração.

Neste contexto, devido ao grande potencial econômico para aquicultura brasileira além da carência de informações relacionadas com o valor nutricional e ao processo de deterioração, aspectos intimamente ligados à validade comercial justificam a utilização do jaú e do pirarucu como as espécies de eleição. Diante desse cenário, aborda-se na presente pesquisa o estudo da composição centesimal aliado a um amplo estudo relacionado à fração lipídica destas espécies, abrangendo desde o conhecimento do perfil de ácidos graxos, até a avaliação dos processos degradativos durante o período de estocagem sob refrigeração e congelamento, que representam métodos de conservação convencionais tanto para comercialização como no ambiente domiciliar, gerando conhecimentos que contribuam para a conservação do pescado e aumento da oferta de proteína de qualidade para a população.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 POTENCIAL DA AQUICULTURA NACIONAL

O Brasil é constituído por 8.400 km de costa marítima, 5.500.000 hectares de reservatórios de águas doces com aproximadamente 12% da água doce disponível no planeta, de clima extremamente favorável para o crescimento dos organismos cultivados, possuindo enorme potencial para o desenvolvimento da aquicultura (BRASIL, 1998).

A partir de 1990, a aquicultura comercial brasileira se firmou como uma atividade econômica no cenário nacional da produção de alimentos. Neste período, a produção de pescado cultivado representou aproximadamente 25.000 toneladas/ano (BEIRÃO et al., 2000).

Em 2001, o Brasil produziu cerca de 210.000 toneladas, incluindo peixes, moluscos e crustáceos. Os peixes de água doce, com destaque para as carpas, tilápias e bagres, contribuíram com mais de 85% do total produzido, enquanto os 15% restantes corresponderam principalmente a camarões marinhos e mexilhões (EMBRAPA, 2003).

A aquicultura continental, em 2007, apresentou um crescimento relativo de mais 10,2% em relação ao ano de 2006, produzindo 210.644,5 toneladas da produção de pescado total do Brasil. As principais regiões que apresentaram crescimento na produção do pescado em 2007 foram, por ordem crescente, as regiões: Norte (26.143,0 toneladas), Sudeste (35.823,5 toneladas), Centro-oeste (40.209,0 toneladas), Nordeste (43.985,5 toneladas) e Sul (64.483,5 toneladas). As espécies de peixes mais utilizadas na aquicultura destas regiões foram tilápia, carpa, tambaqui, tambacu e curimatã (IBAMA, 2007).

A produção mundial de pescado, em 2010, continuou crescendo juntamente com o crescimento populacional devido à aquicultura, ocupando a 17ª posição no ranking mundial na produção de pescado em cativeiro (479.399,0 toneladas) e a 19ª na produção total de pescado (1.264.765,0 toneladas). E em 2012, de acordo com

dados da FAO (2012), o Brasil passou a ocupar a 12^a posição no ranking mundial da aquicultura (707.461,0 toneladas).

Em 2013, o Ministério da Pesca e Abastecimento desenvolveu novos parques aquícolas para a produção de pescado, implantando em 13 estados e, ao longo do ano, foram firmados convênios com as prefeituras de Nortelândia (MT), Itauçu (GO), Pinhalão (PR), Seberi (RS), Bananeiras (PB) e com o governo do Distrito Federal (DF). Esta medida teve como objetivo o aumento sustentável da produção de peixes e o desenvolvimento dos produtores familiares com geração de emprego e renda (BRASIL, 2013).

Pode se considerar que o Brasil, em 2014, obteve aproximadamente 3 mil espécies de peixes nativos, dentre eles, os de maior potencial para utilização em piscicultura foram: dourado, jaú, matrinxã, piau, pintado, pirarucu e jundiá (BRASIL, 2014).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO JAÚ (*Zungaro jahu*)

As espécies de peixes do gênero *Zungaro* (Siluriformes, Pimelodidae) estão presentes nas bacias do rio Paraná-Paraguai e Amazônica onde realizam seu ciclo de vida; são piscívoros e vivem em águas profundas de ambientes lóticos com hábito migratório. Esses bagres, popularmente conhecidos como "jaú" no Brasil, que significa na linguagem TUPI, "aquele que devora", estão entre as maiores espécies com comportamento migratório nos rios neotropicais, medindo até 144 cm de comprimento e 150 kg de peso. Na década de 90, esta espécie foi importante na pesca artesanal na reserva de Itaipu. Durante este período, os juvenis de jaú eram capturados no reservatório e os peixes adultos na zona ribeirinha. No entanto, o excesso da pesca sem controle, reduziu drasticamente esta espécie trazendo como consequência o decréscimo dos estudos relacionados à fisiologia deste peixe, de acordo com os dados sugeridos por Agostinho et al. (2003).

As populações dessas duas bacias (Paraná-Paraguai e Amazônica) foram caracterizadas morfológicamente como duas espécies diferentes. No início da década de 90, o jaú era identificado como *Paulicea luetkeni*, porém Silfvergrip (1992) reconheceu que o gênero *Paulicea* era sinônimo de *Zungaro*. Outra pesquisa

descreveu duas espécies morfológicamente distintas nos principais rios brasileiros (LUNDBERG; LITTMANN, 2003). A espécie *Zungaro zungaro* é encontrada na bacia do Amazonas, e a espécie *Zungaro jahu*, é restrita à bacia do rio Paraná-Paraguai. Por outro lado, em revisão feita por Graça e Pavanelli (2007) foi adotada a interpretação de que todas as populações de jaú são da espécie *Zungaro zungaro*. Entretanto, em uma pesquisa realizada por Boni et al. (2011), as populações dessas duas bacias foram caracterizadas geneticamente como duas espécies diferentes, concluindo que a população *Zungaro* da bacia do Paraná-Paraguai devem ser identificada como *Zungaro jahu*, e a população da bacia Amazônica como *Zungaro zungaro*. As ações de conservação desta espécie devem ser planejadas em diversos níveis, considerando análises de genes, espécies, e ecossistemas, e só será mais adequadamente planejada, quando as relações taxonômicas ficarem esclarecidas.

Carillo-Avila et al. (2009) ressaltam que estas espécies possuem um elevado valor econômico e ecológico em função da importância para a pesca esportiva e de subsistência, por isso é essencial delimitar suas unidades populacionais e genéticas para contribuir com a conservação desta espécie a partir do estabelecimento de eficientes planos de manejo.

2.3 CARACTERÍSTICAS DO PIRARUCU (*Arapaima gigas*)

O pirarucu é considerado o maior peixe de escama de água doce do mundo, podendo alcançar 3 metros de comprimento e peso de 200 kg. O nome pirarucu tem origem do Tupi, onde *pira* significa peixe e *urucu*, semente de cor vermelha. Está presente em grande parte da região Pan-Amazônica e a distribuição geográfica abrange a bacia Amazônica, Araguaia-Tocantins e Orinoco (AMARAL et. al., 2011). Taxonomicamente pertence à ordem Osteoglossiformes, subordem Osteoglossoidei, superfamília Osteoglossoidae, família Osteoglossidae, gênero *Arapaima* e espécie *Arapaima gigas* (REBAZA et al., 1999).

O histórico da pesca do pirarucu se inicia no período colonial, com a criação dos “pesqueiros reais”. No século XVIII, iniciou-se a exploração comercial desta espécie, sendo a mesma comercializada em mantas secas e salgada, um produto

similar ao bacalhau (*Gadus morhua*). No século XIX até início do século XX, mais de 3.000 ton/ano de pirarucu foram exportados da Amazônia. A partir de 1975, esta estimativa reduziu para 300 ton/ano e o pirarucu foi inserido na lista do anexo II da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES). De acordo com este documento, a exploração da referida espécie foi estritamente regulamentada e controlada. Nos anos 90, o cenário foi caracterizado pela recuperação dos estoques na Amazônia devido às estratégias de preservação e conservação do pirarucu bem como a participação efetiva dos pescadores na elaboração das medidas de manejo (BRASIL, 2011).

Desta forma, estímulos têm sido realizados para a criação do pirarucu em cativeiro visando maior monitoramento e preservação dos estoques naturais. Além disso, esta espécie apresenta inúmeras características favoráveis para a criação intensiva como resistência a elevadas densidades de estocagem; fácil adaptação ao consumo de alimentos balanceados e rações comerciais; rápido crescimento (cerca de 7 -10 kg) no primeiro ano de criação; respiração aérea nas fases mais avançadas de desenvolvimento, o que facilita a criação em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio; e elevado rendimento de filé (acima de 45%), superando o alcançado pela maioria dos peixes cultivados no país. Ademais, esta espécie apresenta carne clara, magra, de elevada qualidade e livre de espinhas intramusculares, tendo expressiva aceitação pelos consumidores e elevado valor de mercado, representando uma espécie com promissoras perspectivas para o comércio nacional e internacional (BRANDÃO et al., 2008; ONO; KEHDI, 2013).

2.4 LIPÍDIOS: ASPECTOS GERAIS E FUNCIONALIDADE

Em geral, os lipídios englobam todas as substâncias gordurosas existentes no reino vegetal e animal. Compreendem as gorduras, óleos e ceras naturais, sendo que os mais importantes são os óleos e as gorduras, que possuem grande relevância na alimentação e na constituição das células vivas (FELTRE, 1996).

As gorduras e os óleos apresentam estrutura química bastante semelhante, diferenciando-se pela presença ou não de insaturações, que são determinantes no

estado físico da substância. Nas gorduras predominam radicais de ácidos graxos saturados (sólidas) e nos óleos há predominância de radicais de ácidos graxos insaturados (líquidos). Os principais componentes dos lipídios são os ácidos graxos, que compõem os triglicerídeos e são formados por cadeias de átomos de carbono que se ligam a átomos de hidrogênio com um radical ácido em uma das extremidades. Os ácidos graxos podem ser saturados (AGS) (carbonos com ligações simples) ou insaturados (AGI) (carbonos com uma ou mais ligações duplas). No caso de apenas uma dupla ligação na cadeia, o ácido graxo é denominado monoinsaturado (AGM), e no caso de duas ou mais duplas ligações, denomina-se poliinsaturado (AGPI) (USBERTO; SALVADOR, 2006).

O pescado pode ser classificado em grupos de acordo com o percentual de lipídios totais: peixes magros (<2%), peixes com baixo teor de gordura (2-4%), peixes com médio teor de gordura (4-8%) e peixes com alto teor de gordura (>8%) (LAMBERTSON, 1978; ACKMAN, 1989; HAARD, 1992).

Os lipídios são biomoléculas que desempenham relevante função na alimentação humana, pois possuem alto valor energético. Além disso, exercem importante função na estrutura, na composição, na permeabilidade das membranas e das paredes celulares. Atuam também na absorção e no transporte de nutrientes e de vitaminas lipossolúveis (A, E, D e K) favorecendo a difusão de substâncias importantes para o metabolismo celular. Estima-se que cerca de 40% do total da necessidade diária de ácidos graxos são obtidos através da dieta alimentar (PEREDA et al., 2005).

Os ácidos graxos poliinsaturados das séries ômega-3 e ômega-6 são considerados essenciais na alimentação humana e apresentam importantes funções farmacológicas, reduzindo níveis de lipoproteínas de densidade baixa (LDL-C) e muito baixa (VLDL-C) e, aumentando níveis de lipoproteínas de alta densidade (HDL-C), assim como outros efeitos são atribuídos a estas biomoléculas como participação em reações inflamatórias, resistência imunológica, doenças neoplásicas (SIMOPOULOS, 2009; 2011).

Neste contexto, o pescado é composto por fração lipídica de elevada qualidade e possui quantidade expressiva de ácidos graxos essenciais quando comparado aos demais produtos de origem animal. Dentre os ácidos graxos

poliinsaturados destacam-se aqueles pertencentes à série ômega-6, como os ácidos linoleico (C18:2 ω -6, AL) e o araquidônico (C20:4 ω -6, AA), e à série ômega-3 como os ácidos alfa-linolênico (C18:3 ω -3, AAL), eicosapentaenoico (C20:5 ω -3, EPA) e docosaexaenoico (C22:6 ω -3, DHA) (SIMOPOULOS, 2009; 2011).

Os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6 são obtidos a partir da alimentação ou produzidos pelo organismo a partir dos AL e do AAL, pela ação das enzimas elongases e dessaturases. As elongases atuam adicionando dois átomos de carbono à parte inicial da cadeia, ao passo que as dessaturases oxidam dois carbonos da cadeia, originando uma dupla ligação com a configuração *cis* (COVINGTON, 2004; SIMOPOULOS, 2009). A série ω -6 é derivada do AL e a série ω -3 do AAL. A partir destes ácidos graxos essenciais são sintetizados os ácidos: araquidônico (AA), eicosapentaenóico (EPA) e docosa-hexaenóico (DHA) (SOUZA et al., 2007; SIMOPOULOS, 2009). A figura 1 ilustra a síntese de ácidos graxos das séries ω -3 e ω -6.

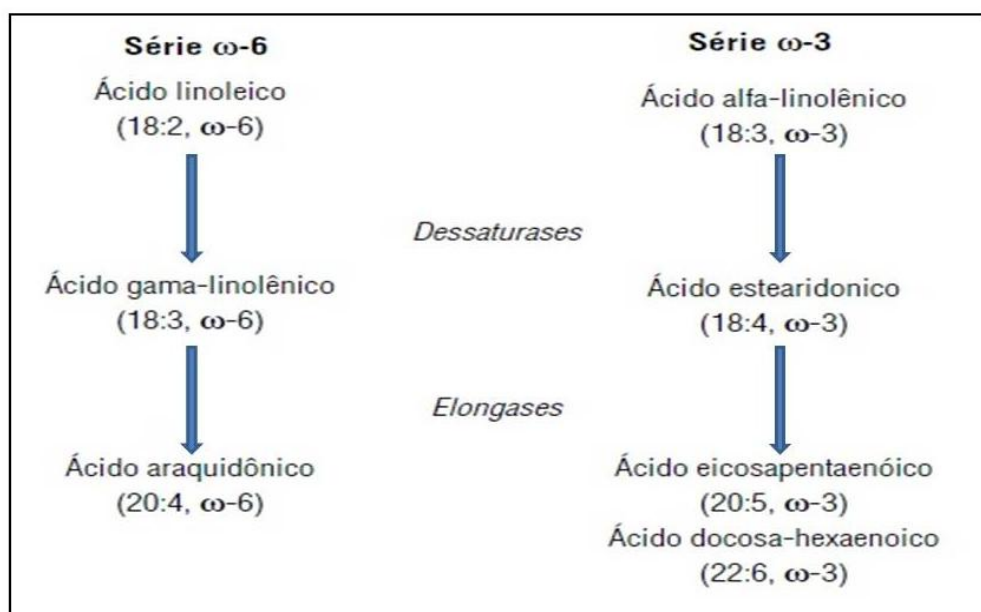


Figura 1: Metabolismo dos ácidos graxos das séries ω -3 e ω -6 (adaptado de LOTTENBERG, 2009).

O AAL é responsável pela produção de EPA e DHA, que são precursores de um grupo de compostos eicosanóides do qual fazem parte as prostaglandinas, os tromboxanos e os leucotrienos. (COVINGTON, 2004). O EPA está diretamente relacionado com a diminuição do processo inflamatório e, o DHA, também está associado a vários benefícios para a saúde, principalmente no desenvolvimento do cérebro e da retina (SIMOPOULOS, 2011).

O AA está envolvido no crescimento e na produção de prostaglandina E2 (PGE2), que é importante para o desenvolvimento normal de muitos órgãos e células incluindo o sistema nervoso central (SIMOPOULOS, 2011). Além disso, está relacionado com o desenvolvimento da retina, durante o período de gestação e nos primeiros anos de vida, sendo sua presença indispensável para a formação do indivíduo (MARTIN et al., 2006). Esta molécula em altas concentrações (>1,5g/dia por 50 dias) compromete o sistema imunológico com destaque para proliferação linfocitária, produção de citocinas e atividade de célula natural “killer” (OLIVEIRA, 2004).

Estudos têm demonstrado que alguns ácidos graxos essenciais, possuem fatores de proteção à saúde e que o consumo frequente de alimentos com elevada quantidade de ômega 3 e ômega 6, presentes especialmente nos peixes, está associado a redução dos riscos de doenças cardiovasculares como aterosclerose, trombose e arritmia. Além disso, são importantes no tratamento de certas doenças inflamatórias como eczema atópico, asma e psoríase bem como na síndrome pré-menstrual, diabetes, artrite reumatóide, hipertensão, obesidade e certos tipos de cânceres (SANTOS et al., 2008; SIMOPOULOS, 2009; 2011).

A composição de ácidos graxos permite avaliar a qualidade nutricional da fração lipídica e, para isso, são calculados os índices de aterogenicidade (IA), trombogenicidade (IT), que relacionam os AGS com os AGM e AGPI, e as razões entre AG hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (H/H). Segundo Turan et al. (2007) os índices de aterogenicidade e trombogenicidade (IA e IT, respectivamente) indicam o potencial de estímulo à agregação plaquetária, ou seja, quanto menor os valores de IA e IT, maior é quantidade de ácidos graxos anti-aterogênicos presentes em determinada fração lipídica e, conseqüentemente, maior é o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronarianas. A razão entre ácidos graxos

hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (H/H) está relacionada mais especificamente com o metabolismo do colesterol, e quanto maior for esta razão, mais adequado nutricionalmente é o óleo ou a gordura (BENTES et al., 2009).

Apesar dos benefícios à saúde humana, os ácidos graxos poliinsaturados são extremamente susceptíveis às reações degradativas. Quanto maior o grau de insaturação, maior a suscetibilidade a oxidação (PEREDA et al., 2005; SHICHIRI et al., 2014).

2.5 VALOR NUTRICIONAL DO PESCADO

Em geral, o pescado é composto por 66 a 85% de umidade, 15 a 24% de proteína, 0,1 a 25% de gordura, 1 a 2% de minerais e 0 a 0,5% de carboidratos. Ainda, a composição química desta matriz alimentar é extremamente variável dependendo de fatores como a época do ano, alimentação (composição, quantidade disponível e qualidade), estágio de maturação sexual, idade, condições de cultivo, porção muscular analisada, entre outros. Desta forma, a composição centesimal pode variar entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie (ARBELÁEZ-ROJAS et al., 2002; BORAN; KARAÇAM, 2011).

Estes fatores também influenciam o perfil de ácidos graxos dos peixes, principalmente, a alimentação que, devido aos componentes da cadeia alimentar, difere mais acentuadamente entre as espécies selvagens e criadas em cativeiros, onde há fornecimento de rações balanceadas (AVERINA; KUTYREV, 2011).

As proteínas e os lipídios são os principais componentes, enquanto que os carboidratos são detectados a níveis limitados (menos de 0,5%). O conteúdo de vitaminas é comparável aos encontrados em mamíferos, exceto para as vitaminas A e D. Em relação aos minerais, o pescado é uma fonte particularmente valiosa de cálcio e fósforo, bem como ferro, cobre e selênio. Além disso, peixes de água salgada contêm elevados níveis de iodo. Com relação à porção lipídica, os peixes possuem até 40% de ácidos graxos de cadeia longa que são altamente insaturados, entre cinco ou seis ligações duplas, quando comparados aos lipídios da musculatura de mamíferos. Esta diferença tem relação direta tanto para aspectos ligados a saúde (atividade antitrombótica de ácidos graxos poliinsaturados) quanto naqueles

correlacionados a fins tecnológicos e de qualidade (desenvolvimento rápido de ranço) (SARTORI; AMANCIO, 2012).

O perfil de ácidos graxos também pode variar entre os peixes; os peixes de água doce apresentam maior percentual de ácidos graxos da família ômega 6 enquanto que os peixes marinhos apresentaram maior percentual de ácidos graxos da família ômega 3, especialmente EPA e DHA (WANG et al., 1990).

2.6 ASPECTOS DE QUALIDADE DO PESCADO

2.6.1 Alterações degradativas

O pescado é uma matriz altamente perecível devido às características intrínsecas como elevada atividade de água, pH neutro, presença de uma flora bacteriana de natureza psicrófila, tipo de proteínas e elevado conteúdo de lipídios poliinsaturados, os quais são facilmente oxidáveis. A deterioração do pescado se instala logo após a morte e avança ao longo do tempo. A velocidade de decomposição depende de fatores exógenos (manipulação, manejo de abate e conservação) e endógenos (composição e espécie do peixe). Os processos deteriorativos envolvem, principalmente, atividade enzimática, a ação de microrganismos presentes na superfície, brânquias e trato intestinal e a oxidação lipídica (FOGAÇA; SANT'ANA, 2009).

Após a morte do pescado, a estrutura do tubo digestivo é modificada, o sistema imune cessa sua atividade e inicia a entrada de enzimas endógenas para os tecidos circundantes. Este processo de autodigestão no pescado, denominado autólise são muito variados e incluem alterações como degradação de nucleotídeos a proteólise. Normalmente, coincide com a lipólise das gorduras, que acarreta liberação de ácidos graxos, que serão muito importantes em fenômenos posteriores como a oxidação (GONÇALVES, 2011).

2.6.2 Alterações na fração lipídica

As alterações oxidativas dos ácidos graxos insaturados podem ocorrer por várias vias, em função do meio e dos agentes catalisadores. A auto-oxidação é um processo dinâmico que evolui ao longo do tempo, envolvendo reações capazes de auto-propagação, e que dependem do tipo de ação catalítica (temperatura, íons metálicos, radicais livres, pH). Classicamente é dividida em três fases: iniciação, propagação e terminação. Na iniciação formam-se radicais livres a partir dos ácidos graxos insaturados, que reagem com o oxigênio, produzindo peróxidos. Na propagação, ocorre o acúmulo de radicais do tipo peróxido, formando os hidroperóxidos e a oxidação de elevada concentração de lipídios insaturados. Na terminação, ocorre decomposição de hidroperóxidos que resultam na formação de compostos secundários como aldeídos, cetonas, alcoóis, hidrocarbonetos, que são responsáveis pelas alterações sensoriais nos alimentos (sabor e odor de ranço) e pela toxicidade (FERRARI, 1998; SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

Os hidroperóxidos formados durante a oxidação são compostos inodoros, no entanto, a sua degradação leva à formação de uma ampla gama de compostos carbonilo, hidrocarbonetos, furanos e outros produtos que contribuem para o sabor rançoso da deterioração dos alimentos (DE ABREU et al., 2011). Além disso, a oxidação pode levar à formação de compostos tóxicos, tais como o malondialdeído (MDA) e também a degradação de ácidos graxos poliinsaturados (AGPI), em particular o ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosaenoico (DHA) (GOMEZ-ESTACA et al., 2014). Segundo Zaki et al. (2014), o aumento de MDA, reduz os níveis da enzima paraoxonase (PON1), o que contribui para resistência à insulina bem como aumento da pressão arterial e níveis de lipídios no sangue, sendo considerados importantes fatores de risco para saúde.

Além da auto-oxidação, é possível ainda acontecer à foto-oxidação pela presença de sensores nos tecidos animal e vegetal como a riboflavina, clorofila e mioglobina que, na presença de luz e oxigênio, iniciam um processo de transferência de energia para a formação de peróxido. Esta reação provoca alterações na conformação das moléculas de ácidos graxos, que passam da configuração *cis* para *trans*. Outra possível via de oxidação lipídica consiste na ação de enzimas como

lipoxigenases e/ou peroxidases, que são isoenzimas que catalisam reações oxidativas nas ligações duplas dos ácidos graxos poliinsaturados. Este fator ocorre em uma reação de cadeia (propagação), formando hidroperóxidos que se decompõem em ácidos, aldeídos e cetonas (ARAÚJO, 2008).

A rancificação oxidativa apresenta expressiva relevância na deterioração do pescado devido às alterações sensoriais e a produção de compostos potencialmente tóxicos para a saúde. Além disso, o oxigênio, luz, umidade e calor são agentes catalisadores do processo de oxidação lipídica, sendo de fundamental relevância atentar para possíveis condições de exposição e estocagem desfavoráveis ao produto (MARIUTTI; BRAGAGNOLO, 2009). No entanto, o comportamento da oxidação lipídica para cada espécie de peixe pode ser influenciado por fatores endógenos (espécies de peixes e composição química), bem como por transformação e as condições de armazenamento, afetando a qualidade nutricional do pescado (TAHERI et al., 2012).

O armazenamento tanto refrigerado quanto congelado, com ou sem outras soluções tecnológicas, tem sido empregados para manter as propriedades do pescado. Podemos observar em um estudo realizado por Arfart et al. (2015), em pesquisa com *Lates calcalifer*, de áreas tropicais do Sudeste Asiático, observaram o aumento dos radicais peróxidos e da formação do MDA, durante 12 dias de estocagem em refrigeração. De Abreu et al. (2011), também demonstraram a formação de peróxidos e de MDA durante 12 meses de congelamento, em amostras de *Hippoglossus hippoglossus*. Aubourg et al. (2007) atribuíram o processo de oxidação de lipídios no peixe congelado à ação de enzimas endógenas em cada espécie. Estas enzimas, como as lipoxigenases, por exemplo, podem ser influenciadas por fatores interno (teor enzimático e composição) e externo (tipo de alimentação, temperatura e captura), o que deve ser considerado na comercialização e no tempo de estocagem do pescado. As enzimas endógenas de peixes podem estar ativas durante o armazenamento congelado, mesmo a temperaturas de -20°C (HWANG; REGENSTEIN, 1989).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ARTIGO 1: LIPID DISTRIBUTION IN THE MEAT OF JAU (*Zungaro jahu*) AND THE INFLUENCE OF STORAGE TEMPERATURE ON ITS FAT STABILITY. Submitted in International Journal of Food Science & Technology (Paper I – Under review).

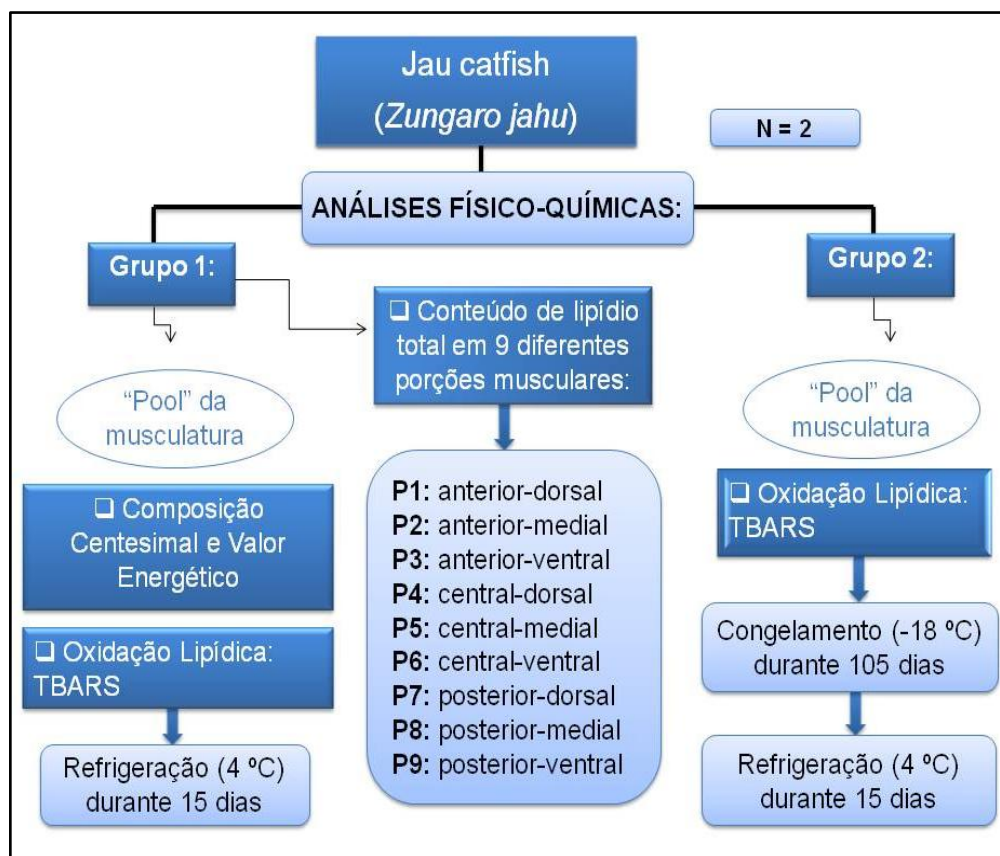


Figura 2. Desenho experimental delineado para desenvolvimento do artigo 1.

Lipid distribution in the meat of jau (*Zungaro jahu*) and the influence of storage temperature on its fat stability

Nathália Miranda Coutinho¹, Eliane Teixeira Mársico¹, Miguel Antonio Cinquini², Flavio Alves da Silva³, Maria Lucia Guerra Monteiro¹, Ismar Araujo de Moraes⁴ and Carlos Adam Conte-Junior¹

¹Departamento de Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense - UFF, Vital Brazil Filho 64, 24230-340, Niterói, RJ, Brasil.

²Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, Campus Samambaia - Rodovia Goiânia / Nova Veneza, Km 0, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.

³Setor de Engenharia de Alimentos, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás - UFG, Campus Samambaia - Rodovia Goiânia / Nova Veneza, Km 0, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.

⁴Departamento de Fisiologia, Centro de Ciências Médicas, Universidade Federal Fluminense - UFF, Hernani de Mello, 101, 24210130, Niterói, RJ, Brasil.

Corresponding author: Nathália Miranda Coutinho. Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense - UFF, Vital Brazil Filho 64, 24230-340, Niterói, RJ, Brasil. Tel: +55 21-2629-9545 / Fax: +55 21-2629-9541.

E-mail: nathaliacoutinho@id.uff.br

Summary: The aim of this study was to determine the total lipid content in nine different body regions of jau catfish, and evaluate their chemical composition and lipid oxidation. The body regions were divided into anterior-dorsal (P1), anterior-medial (P2), anterior-ventral (P3), central-dorsal (P4), central-medial (P5), central-ventral (P6), posterior-dorsal (P7), posterior-medial (P8), and posterior-ventral (P9). Malondialdehyde (MDA) was determined during 15 days at 4 °C, before (T1) and after freezing period for 105 days at –20 °C (T2). Jau catfish contained high protein (20.17%) and low lipid (0.60%). The increase of MDA (0.2 to 2.5 mg MDA kg⁻¹) was more pronounced after freezing period (T2) ($P < 0.05$). Among all body regions analyzed, ventral portions (P3, P6 and P9) presented highest total lipid content ($P < 0.05$). Our study revealed that total lipid varies depending on body regions. Moreover, both refrigerated and frozen storage did not avoid MDA formation.

Key-words: freshwater fish, catfish, chemical composition, lipid oxidation, TBARS.

Introduction

World fish production has grown steadily throughout the last years. From 2011 to 2012, it increased by 1.5%, from an average of 155.7 million to 158.0 million tons. Brazil's large contribution significantly improved its global ranking among the top fish producing countries in recent years. In 2012, Brazil was ranked 10th for capture and 12th for farmed fish production, contributing 266.042 and 707.461 million tons, respectively (FAO, 2014).

Fish species of the genus *Zungaro* (Siluriformes, Pimelodidae), popularly known as “jau” in Brazil, are characterized as leather fish and are among the largest species with migratory behavior. They reach up to 150 kg in weight and 144 cm in length. These catfish are

piscivorous and usually inhabit deep holes of lotic environments. Furthermore, jau species are of great importance for commercial fishing and their meat is highly appreciated by consumers (Agostinho *et al.*, 2003).

Fish are a valuable source of nutrients for balanced nutrition and good health, mainly due to their high lipid quality (Calder & Yagoob, 2009). Nevertheless, lipid content varies among body regions of fish, previously described for some species such as salmon (Katikou *et al.*, 2001), trout (Fjellnager *et al.*, 2001) and European seabass (Testi *et al.*, 2006). In general, total lipid content varies depending on exogenous (catching, season, environmental conditions, feed) and endogenous factors (species-specific physiological characteristics such as spawning and migration (Boran & Karaçam, 2011). Furthermore, fish lipids contain a high amount of unsaturated fatty acids which are more prone to oxidation due to the instability of double bonds (Mapiye *et al.*, 2012; Tacon & Metian, 2013).

Lipid oxidation results in secondary compounds, for example malondialdehyde, which are harmful to human health (Chaijan, 2008; Zaki *et al.*, 2014) because of their mutagenic and carcinogenic properties (Duthie *et al.*, 2013). However, more substantiated studies on the behavior of lipid molecules in fish are needed, because they are considered an important source of fatty acids for humans. The lipid oxidation behavior for each fish species can be influenced by endogenous factors (fish species and chemical composition), as well as by processing and storage conditions that affects lipid composition (Taheri *et al.*, 2012).

Regardless of the economic importance of these fish species, very little or no information is available on the lipid composition of their different body regions and their chemical stability. Therefore, the objective of this study was to evaluate total lipid content of different body regions of jau catfish, and to monitor lipid oxidation during 15 days at 4 ± 1 °C, before and after freezing (105 days at -20 ± 2 °C).

Materials and methods

Experimental design

From a lot of 25 adult fishes, a total of approximately 20 kg frozen jau catfish (*Zungaro jahu*) (85 cm average length) were randomly obtained from a fish industry located in the state of Goiás, Brazil. For this experiment were obtained fishes with natural diet and without distinction of sex. The whole fishes were obtained in November during fishing season. Frozen samples ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) were put on ice ($0 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) and transported by airmail to the laboratory in Rio de Janeiro, Brazil. The transportation period did not exceed three hours. Under laboratory conditions, fish samples were randomly divided into two batches. Group one was used to determine total lipid content in nine different body regions. In addition, chemical composition, energy value, and TBARS were evaluated during refrigerated storage (15 days at $2 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) using pooled muscle tissue of fish samples from this group. This pooled sample was obtained by combining subsamples from all sampled body regions. Fish samples from group two were immediately frozen. After 105 days of freezing at $-20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, samples were thawed overnight in a refrigerator ($4 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), and pooled muscle tissue was obtained as described previously. Next, fish samples were stored at $4 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 15 days for TBARS determination. All experiments were repeated twice ($n = 2$).

Total lipid content of different body regions

Each fish sampled in group one was divided into three regions: anterior, central and posterior, and then subdivided into three areas (dorsal, medial and ventral), totaling nine regions: P1 (anterior-dorsal), P2 (anterior-medial), P3 (anterior-ventral), P4 (central-dorsal),

P5 (central-medial), P6 (central-ventral), P7 (posterior-dorsal), P8 (posterior-medial), and P9 (posterior-ventral) (Figure 1). Total lipid content was determined by the gravimetric method using petroleum ether as organic solvent (AOAC, 2012). All analyses were performed in duplicate.

Chemical composition

Moisture, protein, ash, and lipid content were determined according to AOAC (2012). Moisture was determined by drying the sample at 100 – 105 °C until constant weight. Protein content was estimated by the Kjeldahl method with a conversion factor of $N \times 6.25$. Ash content was determined after incineration at 550 °C in a muffle furnace. Lipid content was obtained by petroleum ether extraction using a Soxhlet apparatus. The percentage of carbohydrates was calculated by the equation $\% \text{ carbohydrates} = 100\% - (\% \text{ protein} + \% \text{ lipid} + \% \text{ moisture} + \% \text{ ash})$. Energy value was determined by multiplying the percentage of protein, lipid and carbohydrate content with their respective energy values of 4, 9 and 4 kcal. Both carbohydrate and energy values were obtained according to Merrill & Watt (1973). All analyses were performed in duplicate.

Lipid oxidation

Thiobarbituric acid (TBA) content was determined using the distillation method described by Monteiro *et al.*, (2012). Oxidative rancidity was measured, every other day, during refrigerated storage of 15 days at 2 ± 1 °C in two different groups: in fresh fish (T1) and in thawed fish after freezing for 105 days at -20 °C (T2). Results were expressed as

milligram of malondialdehyde per kilogram sample (mg MDA kg⁻¹). All analyses were performed in duplicate.

Statistical analysis

Significant differences between mean values of total lipid content from different body regions and TBARS from different storage days were evaluated by one-way ANOVA with Tukey's test at a 95% confidence level ($P < 0.05$). These analyses were performed with the software XLSTAT, version 2012.6.08 (Addinsoft, Paris, France).

Results and Discussion

Total lipid content of different body regions

The total lipid content of nine different body regions is listed in Table 1. Considering the anterior and posterior areas, total lipid content did not differ between dorsal (P1 and P7) and medial (P2 and P8) regions ($P > 0.05$). Total lipid content was highest in the ventral regions of the anterior and posterior areas (P3 and P9, $P < 0.05$). In the central regions, the highest total lipid content was found ventrally (P6), followed by medial (P5) and dorsal (P4) areas ($P < 0.05$). Total lipid content was higher in ventral regions (0.57 – 1.91%) than in dorsal (0.13 – 0.32%) and medial (0.13 – 0.42%) regions ($P < 0.05$). Of all ventral regions, the highest total lipid content was found central-ventrally (P6, $P < 0.05$). Our results indicate that total lipid content of jau catfish tended to increase in the dorsal-ventral direction ($P < 0.05$).

Our results are in agreement with Thammapat *et al.* (2010), who observed a similar tendency in total lipid content of different body regions of Asian catfish. In addition, total lipid content tended to increase significantly in the dorsal-ventral direction in rainbow trouts (Fjellanger, *et al.*, 2001; Testi *et al.*, 2006), Nile tilapia and broadhead catfish (Yarnpakdee *et al.*, 2014). Chaijan *et al.* (2010) also observed that lipid content was lower in the dorsal region (0.54%) than in the ventral region (4.52%) in giant catfish (*Pangasianodon gigas*). The increase of lipid content in the dorsal-ventral direction can be explained by close proximity to the visceral region, which has higher lipid content than muscle portions. Thammapat *et al.* (2010) observed that viscera of Asian catfish had higher lipid content (93.32%) than ventral (4.79 – 57.51%) and dorsal body regions (2.95 – 5.54%). Zhong *et al.* (2007) found that viscera of steelhead trout (40.2%) had higher lipid content than muscle. Duan *et al.* (2014) report similar findings for yellow croaker, with mean values for total lipid content in muscle and viscera of 14.32% and 24.55%, respectively.

Chemical composition

Jau catfish consisted on average of $20.17 \pm 1.40\%$ protein, $0.60 \pm 0.27\%$ lipids, $77.71 \pm 3.62\%$ moisture, $0.96 \pm 0.05\%$ ash, $0.56 \pm 0.23\%$ carbohydrates and $88.36 \text{ kcal } 100\text{g}^{-1}$ energy value. In agreement with this, the chemical composition is similar in catfish from Colombia (Perea *et al.*, 2008) and in African catfish (Foline *et al.*, 2011), however, protein content in the latter was lower (16.24%).

On the other hand, our results are in partial disagreement with previous studies of other catfish such as sutchi catfish (*Pangasius hypophthalmus*) (Orban *et al.*, 2008), silver catfish (*Rhamdia quelen*) (Weber *et al.*, 2008) and African catfish (*Clarias gariepinus*) (Ersoy *et al.*, 2009; Ibhaddon *et al.*, 2015). These studies reported protein, lipid and moisture contents

of 11.40 – 16.20%, 1.84 – 5.02%, and 69.30 – 83.57%, respectively. Nevertheless, in accordance with our data, these authors reported similar values of ash (0.83 – 1.25%). Carbohydrate values were higher in African catfish (*Clarias gariepinus*) (Chukwu & Shaba, 2009, Foline *et al.*, 2011 and Ibadon *et al.*, 2015).

The chemical composition of fish is highly variable since it depends on species, catching season, environment, diet, age, and sex (Boran & Karaçam, 2011; Li *et al.*, 2012). Lipid and protein are the most variable components in fish (Yeganeh *et al.*, 2012) leading to variation in moisture content due to the inverse relationship between lipid and moisture (Katikou *et al.*, 2001). Our study suggests that jau catfish has high nutritional value due to high protein content and low total lipid content resulting in the lowest energy value among catfish species.

Lipid oxidation

Malondialdehyde (MDA) values are commonly used as an indicator of the degree of lipid oxidation in fish muscle. In general, an increase in MDA values decreases the paraoxonase (PON1) level leading to a greater risk of dyslipidemia, insulin resistance, and high blood pressure which are considered important components in the pathogenesis of the metabolic syndrome, mainly in obese adolescents (Zaki *et al.*, 2014).

In fresh fish (T1), MDA values increased ($P < 0.05$) from day 6 (0.1 mg MDA kg⁻¹) to day 15 (0.6 mg MDA kg⁻¹) of refrigerated storage (Figure 2). After a freezing period (T2), MDA values remained constant until day 8 of refrigerated storage, except on days 4 and 5 where MDA increased (3.4 mg MDA kg⁻¹) ($P < 0.05$). After day 8, MDA values decreased (2.3 mg MDA kg⁻¹) ($P < 0.05$) and remained constant until the end of the storage period

(Figure 2). Nevertheless, the increase of MDA values was more pronounced after a freezing period ($0.2 \text{ mg MDA kg}^{-1}$ observed on day 0 in fresh fish (T1) and $2.5 \text{ mg MDA kg}^{-1}$ on day 0 in thawed fish (T2), $P < 0.05$).

Several studies confirmed the increase of MDA during refrigerated and freezing storage of different fish species such as Atlantic halibut (De Abreu *et al.*, 2011), Nile tilapia (Monteiro *et al.*, 2012), salmon (Indergard *et al.*, 2014), saithe, hoki (Karlsdottir *et al.*, 2014a, b), and sea bass (Qiu *et al.*, 2014). During frozen storage, an increase of MDA is probably due to endogenous lipoxygenase activity at low temperatures (De Abreu *et al.*, 2010; De Abreu *et al.*, 2011). In the lipoxygenase pathway, oxidative reactions affecting the double bonds of unsaturated fatty acids produce a wide variety of degradation products and lead to hydroperoxide formation (Allen & Hamilton, 1994). On the other hand, a decrease in MDA can be attributed to a loss of secondary oxidation products by their volatility or by the ability of malondialdehyde to form covalent bonds with alkaline compounds from the degradation process (Monteiro *et al.*, 2012; Intarasirisawat *et al.*, 2014). In addition, oxidative rancidity can occur even in low-fat fishes depending on the lipid fraction (polyunsaturated fatty acids composition) (Sohn *et al.*, 2005), which may explain the results found for this species.

Conclusions

Our findings show that total lipid content differed between body regions, and that the highest lipid content was found in the ventral muscle. These results provide guidance to lipid researchers and sensorial food analysts in selecting representative fillet portions for their studies. Conventional storage methods such as refrigeration and freezing were not effective in

avoiding lipid oxidation. Furthermore, conservation methods in order to inactivate enzymes (lipoxygenase) should be studied.

Acknowledgments

The authors are thankful for the financial support from the Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), process numbers E-26/111.933/2011; E-26/103.003/2012, FAPERJ E-26/112.485/2012, E-26/111.673/2013; E-26/010.001954/2014; E-26/111.130/2014 and E-26/101.403/2014; and also from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) process numbers 311361/2013-7, 401922/2013-8, 313917/2013-2 and 441987/2014-1; the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), process numbers 23038.007363/2011-13; and CAPES/FAPERJ E-45 - PAPDRJ/2013 (E-26/101.403/2014).

Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interests.

References

Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Suzuki, H.I & Júlio Jr., H.F. (2003). Migratory fishes of the upper Paraná River basin, Brazil. In: Harvey B, Baer A, Carolsfeld J, Ross C, editors. *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*. Pp 19–98. Canada: IDRC.

- Allen, J.C. & Hamilton, R.J. (1994). *Rancidity in foods*. 3rd ed. Pp 290. New York: Chapman and Hall.
- Association of Official Analytical Chemists. (AOAC). (2012). 19th ed. Pp 3000. Gaithersburg: AOAC International.
- Boran, G. & Karaçam, H. (2011). Seasonal changes in proximate composition of some fish species from the black sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **11**, 01–05.
- Calder, P.C. & Yaqoob, P. (2009). Understanding omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Postgraduate Medicine*, **121**, 148–157.
- Chaijan, M. (2008). Review: Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, **30**, 47–53.
- Chaijan, M., Jongjareonrak, A., Phatcharat, S., Benjakul, S. & Rawdkuen, S. (2010). Chemical compositions and characteristics of farm raised giant catfish (*Pangasianodon gigas*) muscle. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie - Food Science and Technology*, **43**, 452–457.
- Chakwu, O. & Shaba, I.M. (2009). Effect of drying method on proximate composition of catfish (*Clarias gariepinus*). *World Journal of Agricultural Sciences*, **5**, 114–116.
- De Abreu, D.P., Losada, P.P., Maroto, J. & Cruz, J.M. (2010). Evaluation of the effectiveness of a new active packaging film containing natural antioxidants (from barley husks) that retard lipid damage in frozen Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Food Research International*, **43**, 1277–1282.
- De Abreu, D.P., Losada, P.P., Maroto, J. & Cruz, J.M. (2011). Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants. *Food Chemistry*, **126**, 315–320.

- Duan, Q., Mai, K., Shentu, J., Ai, Q., Zhong, H., Jiang & Y., Guo, S. (2014). Replacement of dietary fish oil with vegetable oils improves the growth and flesh quality of large yellow croaker (*Larmichthys crocea*). *Journal of Ocean University of China*, **13**, 445–452.
- Duthie, G., Campbell, F., Bestwick, C., Stephen, S. & Russell, W. (2013). Antioxidant effectiveness of vegetable powders on the lipid and protein oxidative stability of cooked turkey meat patties: Implications for health. *Nutrients*, **5**, 1241–1252.
- Ersoy, B. & Özeren, A. (2009). The effect of cooking methods on mineral and vitamin contents of African catfish. *Food Chemistry*, **115**, 419–422.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO). (2014). The state of world fisheries and aquaculture. Pp 223. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department.
- Fjellanger, K., Obach, A. & Rosenlund, G. (2001). Proximate analysis of fish with special emphasis on fat. In: Kestin, S.C. and Warriss, P.D., editors. *Farmed fish quality*. Pp 307–17. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Foline, O.F., Rachael, A.M., Iyabo, B.E. & Fidelis, A.E. (2011). Proximate composition of catfish (*Clarias gariepinus*) smoked in Nigerian stored products research institute (NSPRI): Developed kiln. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, **3**, 96–98.
- Ibhadon, S., Abdulsalam, M.S., Emere, M.C. & Yilwa, V. (2015). Comparative Study of Proximate, Fatty and Amino Acids Composition of Wild and Farm-Raised African Catfish *Clarias gariepinus* in Kaduna, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, **14**, 56–61.
- Indergard, E., Tolstorebrov, I., Larsen, H. & Eikevik, T.M. (2014). The influence of long-term storage, temperature and type of packaging materials on the quality characteristics of frozen farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *International Journal of Refrigeration*, **41**, 27–36.

- Intarasirisawat, R., Benjakul, S., Visessanguan, W. & Wu, J. (2014). Effects of skipjack roe protein hydrolysate on properties and oxidative stability of fish emulsion sausage. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie - Food Science and Technology*, **58**, 280–286.
- Karlsdottir, M.G., Sveinsdottir, K., Kristinsson, H.G., Villot, D., Craft, B.D. & Arason, S. (2014a). Effect of thermal treatment and frozen storage on lipid decomposition of light and dark muscles of saithe (*Pollachius virens*). *Food Chemistry*, **164**, 476–484.
- Karlsdottir, M.G., Sveinsdottir, K., Kristinsson, H.G., Villot, D., Craft, B.D. & Arason, S. (2014b). Effects of temperature during frozen storage on lipid deterioration of saithe (*Pollachius virens*) and hoki (*Macruronus novaezelandiae*) muscles. *Food Chemistry*, **156**, 234–242.
- Katikou, P., Hughes, S.I. & Robb, D.H.F. (2001). Lipid distribution within Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Aquaculture*, **202**, 89–99.
- Li, T., Hu, W., Li, J., Zhang, X., Zhu, J. & Li, X. (2012). Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Food Control*, **25**, 101–106.
- Mapiye, C., Aldai, N., Turner, T.D., Aalhus, J.L., Rolland, D.C., Kramer, J.K.G., & Dugan, M.E.R. (2012). The labile lipid fraction of meat: From perceived disease and waste to health and opportunity. *Meat Science*, **92**, 210–220.
- Merrill, A.L. & Watt, B.K. (1973). Energy value of foods: basis and derivation. Pp 105. Washington, DC ARS USDA: *Agriculture Handbook*, N°. 74.
- Monteiro, M.L.G., Mársico, E.T., Teixeira, C.E., Mano, S.B., Conte Júnior, C.A. & Vital, H.D.C. (2012). Validade comercial de filés de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) resfriados embalados em atmosfera modificada e irradiados. *Ciência Rural*, **42**, 737–743.

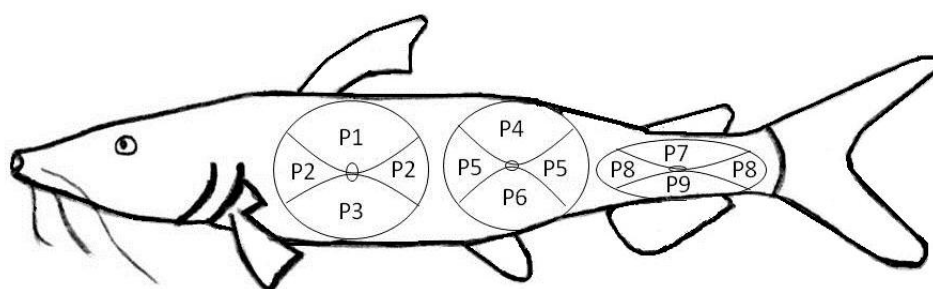
- Orban, E., Navigato, T., Di Lena, G., Masci, M., Casini, I., Gambelli, L. & Caproni, R. (2008). New trends in the seafood market. Sutchi catfish (*Pangasius hypophthalmus*) fillets from Vietnam: nutritional quality and safety aspects. *Food Chemistry*, **110**, 383–389.
- Perea, A., Gómez, E., Mayorga, Y. & Triana, C.Y. (2008). Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **58**, 91–95.
- Qiu, X., Chen, S., Liu, G. & Yang, Q. (2014). Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4 °C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract. *Food Chemistry*, **162**, 156–160.
- Sohn, J.H., Taki, Y., Ushio, H., Kohata, T., Shioya, I. & Ohshima, T. (2005). Lipid oxidations in ordinary and dark muscles of fish: influences on rancid off-odor development and color darkening of yellowtail flesh during ice storage. *Journal of Food Science*, **70**, S490–496.
- Tacon, A.G.J. & Metian, M. (2013). Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, **21**, 22–38.
- Taheri, S., Motallebi, A.A., Fazlara, A., Aghababayan, A. & Aftabsavar, Y. (2012). Changes of fatty acid profiles in fillets of Cobia (*Rachycentron canadum*) during frozen storage. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, **11**, 204–213.
- Testi, S., Bonaldo, A., Gatta, P.P. & Badiani, A. (2006). Nutritional traits of dorsal and ventral fillets from three farmed fish species. *Food Chemistry* **98**, 104–111.
- Thammapat, P., Raviyan, P. & Siriamornpun, S. (2010). Proximate and fatty acids composition of the muscles and viscera of Asian catfish (*Pangasius bocourti*). *Food Chemistry*, **122**, 223–227.

- Weber, J., Bochi, V.C., Ribeiro, C.P., Victório, A.D.M. & Emanuelli, T. (2008). Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets. *Food Chemistry*, **106**, 140–146.
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., Penjamras, P. & Kristinsson, H.G. (2014). Chemical compositions and muddy flavour/odour of protein hydrolysate from Nile tilapia and broadhead catfish mince and protein isolate. *Food Chemistry*, **142**, 210–216.
- Yeganeh, S., Shabanpour, B., Hosseini, H., Imanpour, M.R. & Shabani, A. (2012). Seasonal variation of chemical composition and fatty acid profile of fillet in Wild common carp (*Cyprinus carpio*) in Caspian Sea. *Journal of Food Technology*, **10**, 24–31.
- Zaki, M.E., El-Bassyouni, H., Kamal, S., El-Gammal, M. & Youness, E. (2014). Association of serum paraoxonase enzyme activity and oxidative stress markers with dyslipidemia in obese adolescents. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, **18**, 340–344.
- Zhong, Y., Madhujith, T., Mahfouz, N. & Shahidi, F. (2007). Compositional characteristics of muscle and visceral oil from steelhead trout and their oxidative stability. *Food Chemistry*, **104**, 602–608.

Table 1 Total lipid content of the 9 region points of jau catfish (*Zungaro jahu*).

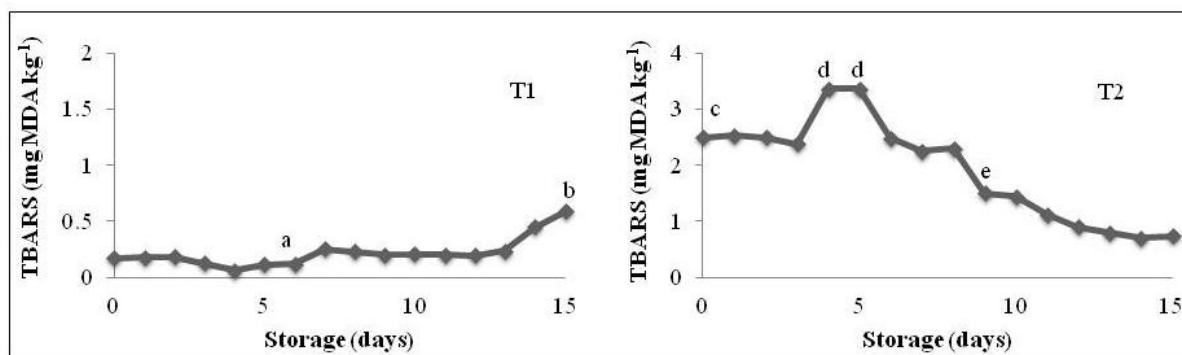
Region points	% Lipid content
P1	0.28 ^{ab} ± 0.13
P2	0.13 ^a ± 0.04
P3	0.57 ^c ± 0.14
P4	0.13 ^a ± 0.03
P5	0.44 ^{bc} ± 0.01
P6	1.91 ^e ± 0.01
P7	0.32 ^{abc} ± 0.09
P8	0.42 ^{bc} ± 0.15
P9	0.96 ^d ± 0.21

P1 (anterior-dorsal), P2 (anterior-medial), P3 (anterior-ventral), P4 (central-dorsal), P5 (central-medial), P6 (central-ventral), P7 (posterior-dorsal), P8 (posterior-medial) and P9 (posterior-ventral). Values are mean ± standard derivation (n=2). ^{a,b,c,d,e} means in a row without common superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

Figure 1 Different region points of Jau catfish (*Zungaro jahu*).

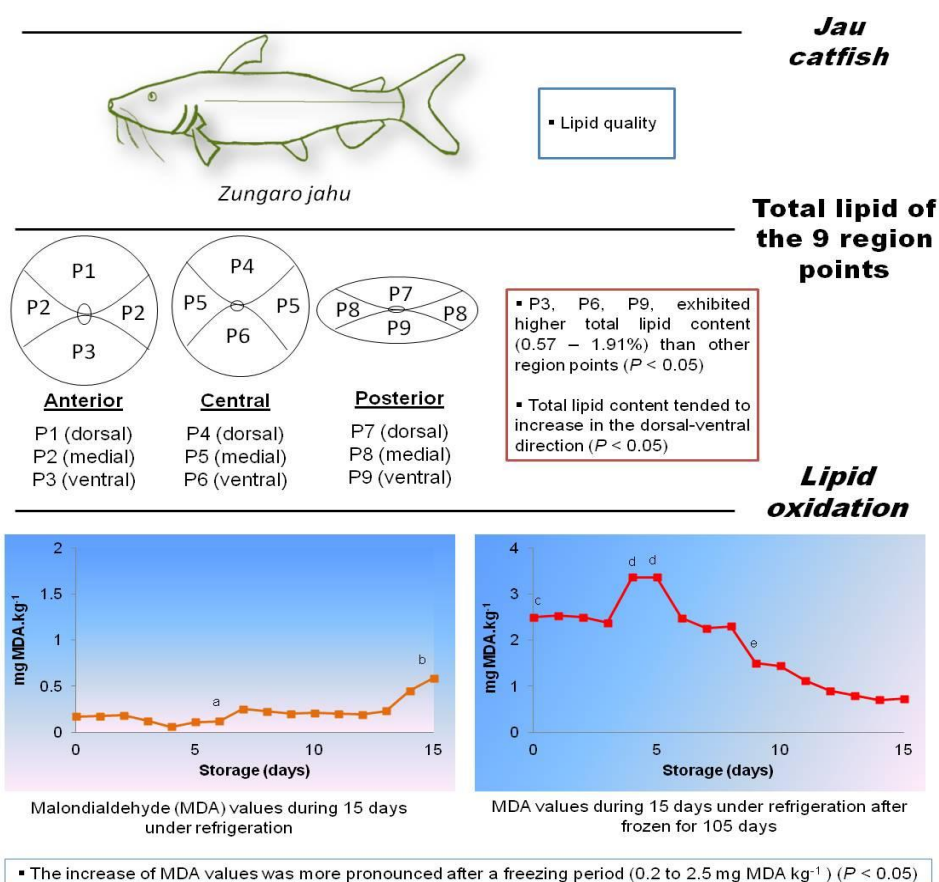
P1 (anterior-dorsal), P2 (anterior-medial), P3 (anterior-ventral), P4 (central-dorsal), P5 (central-medial), P6 (central-ventral), P7 (posterior-dorsal), P8 (posterior-medial), and P9 (posterior-ventral).

Figure 2 TBARS expressed in mg MDA kg⁻¹ sample of jau catfish stored for 15 days under refrigeration (T1) and 15 days under refrigeration after frozen for 105 days (T2).



Different symbols indicate significant differences ($P < 0.05$). ^cDifference between day 0 (T1) and day 0 (T2).

Graphical Abstract:



3.2 ARTIGO 2: FATTY ACIDS COMPOSITION AND INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE LIPID STABILITY OF *Arapaima gigas* MEAT. Submitted in LWT- Food Science and Technology (Paper II – Under review).

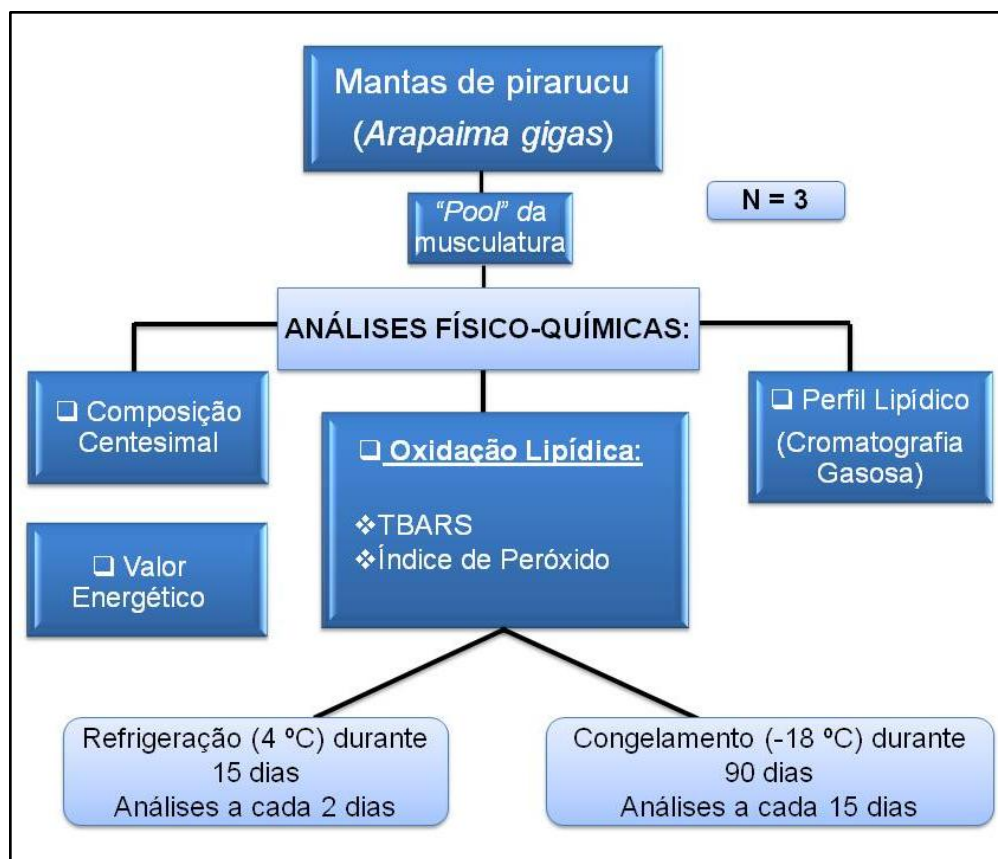


Figura 3. Desenho experimental delineado para desenvolvimento do artigo 2.

Fatty acids composition and influence of temperature on the lipid stability of *Arapaima gigas* meat

COUTINHO, N. M.^a; CANTO, A. C. V. C. S.^a; MÁRSICO E. T.^{a*}; CINQUINI, M. A.^b; SILVA, F. A.^c; KELLER, L. A. M.^d; CONTE-JUNIOR, C. A.^a; MONTEIRO, M. L. G.^a

^aDepartamento de Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense - UFF, Vital Brazil Filho 64, 24230-340, Niterói, RJ, Brasil.

^bPrograma de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, Campus Samambaia - Rodovia Goiânia / Nova Veneza, Km 0, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.

^cSetor de Engenharia de Alimentos, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás - UFG, Campus Samambaia - Rodovia Goiânia / Nova Veneza, Km 0, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.

^dDepartamento de Zootecnia e Desenvolvimento Agrossocioambiental Sustentável, Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense - UFF, Vital Brazil Filho 64, 24230-340, Niterói, RJ, Brasil.

*Corresponding author. Tel.: +55 21 2629 9545; Fax: +55 21 2629 9541.

E-mail address: elimarsico@gmail.com

Abstract: The objective of this study was to investigate the nutritional quality as well as the lipid stability in *Arapaima gigas* fillets. A total of 27.32 kg of *A. gigas* fillets were obtained and the proximate composition and fatty acid profile were immediately determined. In

addition, lipid oxidation parameters were analyzed during 15 and 90 days at 4 °C and –20 °C, respectively. *A. gigas* fillets exhibited high protein (>15%) and low lipid contents (<2%) with great polyunsaturated fatty acids (PUFAs) content (43.97%). Nutritional quality indices were atherogenicity index (0.35), thrombogenicity index (0.28) and hypocholesterolemic/hypercholesterolemic acid (2.37) ratios. In general, an increase followed by a decrease was observed on peroxide index (PI) and malondialdehyde (MDA) results in both storage temperatures ($P < 0.05$). The lipid profile exhibited a great nutritional quality, however new conservation methods should be investigated in this matrix due to increased lipid oxidation during refrigerated and frozen storage.

Keywords: pirarucu, freshwater fish, proximate composition, oxidative rancidity, gas chromatography.

1. Introduction

Fish is considered a cheap source of nutrients with high biological quality, mainly the long-chain polyunsaturated fatty acids (PUFAs) content (Buzzi, Henderson & Sargent, 1997), representing a great nutritional alternative compared to other type of meat matrices (Martínez-González, Fernández-Jarne, Serrano-Martínez, Marti, Martinez & Martín-Moreno, 2002). The freshwater fish are considered an important healthy product associated with the decrease of risk factors such as cardiovascular diseases, blood pressure, type 2 diabetes, and chronic obstructive pulmonary disease (Simopoulos, 2009).

In general, the PUFA composition can vary depending on different factors such as diet, age, gender, environmental conditions and method of capture or fish removal (Huynh & Kitts,

2009). Freshwater fishes are composed by lower levels of eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5 n -3) and docosahexaenoic acid (DHA, C22:6 n -3) compared to marine fishes. Moreover, overall freshwater fishes demonstrate great amount of n -6 PUFAs, mainly linoleic acid (LA, C18:2 n -6), and arachidonic acid (AA, C20:4 n -6) (Hunter & Roberts, 2000). LA is a potent antioxidant which inhibits the progression of atherosclerosis (Lee, Kritchevsky & Pariza, 1994) and is associated with a reduced serum cholesterol concentration (Troisi, Willent & Weiss, 1992). Furthermore, AA are bioprecursors of eicosanoids substances (prostaglandin, thromboxanes, leucotrienes) that acts on the modulation of specific risk factors such as reduction of platelet aggregation, decrease of blood pressure, and direct regulation in local inflammation (Simopoulos, 2009).

Nonetheless, the high concentration of PUFAs in this type of meat matrix leads to a high lipid oxidation susceptibility due to double bonds instability (Shichiri et al., 2014), resulting in PUFAs degradation, particularly EPA and DHA (Gomez-Estaca, Lopez-de-Dicastillo, Hernandez-Munoz, Catala & Gavara, 2014), and formation of detrimental compounds such as malondialdehyde (MDA) which increases cardiovascular risk factors (Zaki, El-Bassyouni, Kamal, El-Gammal & Youness, 2014).

The *Arapaima gigas* is native fish specie from Brazil. This specie presents potential farming characteristics representing an economically viable alternative for aquaculture (Carani et al., 2008) mainly due to weight gain and carcass yield (Fogaça, Oliveira, Eulles, Carvalho & Santos, 2011).

Previous studies already investigated production parameters (Imbiriba, 2001; Fogaça, Oliveira, Eulles, Carvalho & Santos, 2011), proximate composition (Fogaça, Oliveira, Carvalho & Santos, 2011; Oliveira, Jesus, Batista & Lessi, 2014; Martins, Martins & Pena, 2015), and protein deterioration compounds during storage. (Oliveira, Jesus, Batista & Lessi,

2014). However, very little research has focused on the nutritional quality of this specie, mostly on the lipid portion in which to the best of our knowledge, no study has been conducted until the present moment. Therefore, the aim of the present study was to determine the proximate composition, characterize the lipid profile as well as investigate lipid variation during refrigeration (4 °C) and frozen (-20 °C) storage time of *Arapaima gigas* fillets.

2. Materials and methods

2.1 Experimental design

Specimens of *Arapaima gigas* were obtained from fish farm, located in rural area of state of Goiás, Brazil (16° 3'59.823''S 50° 38' 4.114'' W) and processed in a fishery company, located near the urban area in the same state (16° 36' 52.890'' S 48° 59' 56.239'' W). The fishes were fasted for 2 days according to commercial practice, were sacrificed in an ice bath, headed, eviscerated, and filleted in the processing area. A total of 27.32 kg of *A. gigas* fillets were obtained with mean weight and length of 4.6 ± 0.6 kg and 85.9 ± 8.3 cm, respectively. Further, fish samples were packed, frozen (-20 °C) and transported in ice box (0 °C) to the laboratory, where they were randomly divided in two different storage temperatures. One group was thawed at 4 °C overnight and proximate composition and fatty acid profile was immediately evaluated. In addition, lipid oxidation was examined in fish samples at specific time points during refrigerated (4 °C) for 15 days. The other group was maintained frozen stored (-20 °C) and lipid oxidation was evaluated at specific time points during 90 days. The present experiment was repeated three times (n = 3).

2.2 Proximate analysis

The moisture, protein and ash contents were determined according to AOAC (2012). On moisture determination, the samples were dried at 105 °C until constant weight, whereas protein content was estimated using Kjeldahl method ($N \times 6.25$) and ash content was evaluated by muffle furnace incineration (550 °C). Moreover, the total lipid content was cold-extracted as described by Bligh and Dyer (1959) wherein total lipid content of fish samples (5 g) were extracted utilizing a chloroform/methanol (1:2 v/v) mixture. The carbohydrate level was calculated following the equation $\% \text{ carbohydrates} = 100\% - (\% \text{ moisture} + \% \text{ protein} + \% \text{ ash} + \% \text{ lipid})$ and energy value through energy value (kcal) = $(4 \times \% \text{ protein} + 9 \times \% \text{ lipid} + 4 \times \% \text{ carbohydrate})$ (Merrill & Watt, 1973). All analyses were performed in triplicate.

2.3 Lipid oxidation

In order to better understand lipid oxidation, during refrigerated storage (4 °C), fish samples were evaluated in time points two days apart until 15th day as well as during frozen storage (-20 °C) in time points two weeks apart until 90th day. Primary lipid oxidation products were determined using peroxide index (PI) by a colorimetric method through potassium iodide oxidation (AOAC, 2012) with slight modification (3:1 acetic acid:chloroform solution, v/v) Results are expressed in milliequivalents of peroxide per kilogram of fish meat. In addition, secondary lipid oxidation products were analyzed utilizing thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) method according to Tarladgis, Watts, Younathan and Dugan (1960), modified by Monteiro et al (2012). Malondialdehyde (MDA) values were calculated and results were expressed as mg of MDA/kg fish sample. All analyses were performed in duplicate.

2.4 Fatty acid profile

The total lipids in fish samples were cold-extracted according to Bligh and Dyer (1959). Briefly, 5 g of fish samples were extracted using a mixture of methanol: chloroform (2:1 v/v). The fatty acids were acidic methylated (Chin, Liu, Storkson, Ha & Pariza, 1992; Kishino, Ogawa, Ando, Omura & Shimizu, 2002; Conte-Junior, Soncin, Hierro & Fernandez, 2007). The fatty acid methyl esters (FAME) were analyzed through a gas chromatography coupled with a flame ionization detector (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). A column Omegawax-320 (polyethylene glycol of 30 m long, 0.32 mm internal diameter and 0.25 mm in film thickness) (Sulpeco, USA) and helium as a carrier gas (10 psi) were utilized in FAMEs separation. Injector (split of 1:20) and detector were set in 260 °C and 280 °C, respectively. The initial column temperature was set for 110 °C, increased at a rate of 40 °C/min until reach 233 °C, and held this temperature for 2 min. Further, the temperature increased at 1 °C/min until 240 °C, held for 21 min. FAMEs present in fish samples were identified through retention time comparison with commercial standard containing 37 fatty acid methyl esters (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). All analyses were performed in triplicate.

2.5 Lipid Nutritional Quality Indexes (IQN)

Nutritional quality of *A. gigas* filets was determined through three nutritional indexes: index of atherogenicity (AI) and index of thrombogenicity (TI) according to Ulbricht and Southgate (1991) with slight modifications described by Canto et al. (2015), and hypocholesterolemic to hypercholesterolemic ratio (H/H) according to Santos-Silva, Bessa, and Santos-Silva (2002), using the following calculations:

1. $AI = (C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / (\sum MUFA + \sum n-6 + \sum n-3)$
2. $TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum n-6 + 3 \times \sum n-3 + 100 \times \sum n-3 / \sum n-6)$
3. $H/H = (C18:1cis9 + C18:2n-6 + C20:4 n-6 + C18:3n-3 + C20:5n-3 + C22:5n-3 + C22:6 n-3) / (C14:0 + 16:0)$

2.6 Statistical analysis

One-way ANOVA was performed in order to evaluate proximate composition, fatty acid profile and lipid oxidation (during storage time) in *Arapaima gigas* samples using XLSTAT version 2012.6.08 (Addinsoft, Paris, France). Significant differences among mean values were determined using Tukey's test at 95% of confidence level ($P < 0.05$).

3. Results and Discussion

3.1 Proximate composition

The proximate composition results are presented in Table 1. In agreement with Haard (1992), fish are commonly classified into groups according to their total lipid content: lean (<2%), low-fat (2–4%), medium-fat (4–8%) and high-fat (>8%). In addition, 15% of protein content can be considered a great level (Memon, Talpur, Bhanger & Balouch, 2011). Thus, our findings indicates that *A. gigas* fillets can be considered a lean meat with great protein content which leads to low energy value (99.44 kcal/100g), similarly with previous studies in *A. gigas* fillets (Fogaça, Oliveira, Carvalho & Santos, 2011; Oliveira, Jesus, Batista & Lessi, 2014).

Regarding to proximate composition of farmed *A. gigas*, similar total lipid (Oliveira, Jesus, Batista & Lessi, 2014), protein (Fogaça, Oliveira, Carvalho & Santos, 2011; Martins, Martins & Pena, 2015), moisture (Martins, Martins & Pena, 2015) and ash (Oliveira, Jesus, Batista & Lessi, 2014 and Martins, Martins & Pena, 2015) contents were previously reported in literature. Nonetheless, Martins, Martins and Pena (2015) reported high total lipid content (2.60%) whereas Oliveira, Jesus, Batista, and Lessi (2014) observed low protein content (16.83%) in *A. gigas* meat. The variation on proximate data observed on aforementioned studies can be explained due to high variability of fish composition depending on species, season conditions, environment, diet, age, and sex (Martins, Martins & Pena, 2015). In general, lipid and protein contents are the most variable components in farmed fish which depends on the feeding and fish muscle activity (Thammapat, Raviyan & Siriamornpun, 2010).

3.2 Lipid oxidation in different temperatures of storage

For the best of our knowledge, there are no data regarding lipid stability of *A. gigas* meat during refrigerated (4 °C) and frozen (-20 °C) storage. The lipid oxidation was evaluated through PI and MDA determination during 15 days under refrigeration and 90 days under freezing conditions (Table 2 and 3, respectively). PI increased on day 9 ($P < 0.05$) whereas decreased on day 15 ($P < 0.05$) during refrigerated storage (4 °C). Moreover, in frozen storage (-20 °C), PI increased on day 30 and decreased on day 45 ($P < 0.05$). Similar pattern in PI was observed in *Lates calcarifer* during 12 days at 4 °C (Arfat, Benjakul, Vongkamjan, Sumpavapol & Yarnpakdee, 2015) as well as in *Atlantic halibut* during 12 months in frozen storage (De Abreu, Losada, Maroto & Cruz, 2011).

Regarding the MDA values, in general, *A. gigas* fillets demonstrated a decrease ($P < 0.05$) in refrigerated storage on day 12. According to Rezaei, Hosseini, Langrudi, Safari and Hosseini (2008) a similar trend was observed in MDA formation in *Onchorynchus mykiss* at 3 °C. Regarding frozen samples, overall *A. gigas* fillets exhibited greater MDA values on day 45 than days 15 and 30 ($P < 0.05$). Nonetheless, a decrease in MDA values were observed on day 60 ($P < 0.05$). Similar trend was observed by De Abreu, Losada, Maroto and Cruz (2011) in *Atlantic halibut* stored at -20 °C storage.

Peroxides are the primary products of lipid oxidation whereas aldehydes, carbonyls, hydrocarbons, furans and other products are secondary compounds of lipid oxidation (Yanishlieva & Marinova, 2001). The decrease of PI might be attributed to their decomposition resulting in secondary compounds production (Boselli et al., 2005). Moreover, a decrease observed in MDA values can be attributed to volatilization of these compounds as well as the interaction through covalent bonds of malondialdehyde with alkaline compounds originated on degradation process (Intarasirisawat, Benjakul, Visessanguan & Wu, 2014) conforming the results of the present study in which when the PI values were low, the MDA were high.

In addition, the increase in MDA values decreases the paraoxonase (PON1) level, leading to greater cardiovascular risk factors, such as atherosclerosis, coronary heart disease, hyperlipidemia, diabetes, and hypertension (Zaki, El-Bassyouni, Kamal, El-Gammal & Youness, 2014). Furthermore, an increase of PI and MDA values were also observed during frozen storage, potentially due to endogenous enzymes activity such as lipoxygenase, which in turn can be active at low temperatures and can be considered a limiting factor for storage period and fish commercialization (De Abreu, Losada, Maroto & Cruz, 2011).

3.3 Fatty acid profile

A total of twenty one fatty acids were detected in *A. gigas* fillets (Table 4). This specie exhibited 26.7% for saturated fatty acids (SFA), 29.19% for monounsaturated fatty acids (MUFA) and 43.97% for polyunsaturated fatty acids (PUFA). In general, freshwater fish presents low SFA values (< 30%) (Ackman, 1989) indicating high nutrition quality of lipid fraction in accordance with our findings.

Furthermore, a PUFA > MUFA > SFA pattern was observed. These trend are in accordance with other freshwater fishes studies in *Mastacembelus simack* (Harlioglu & Yilmaz, 2011), *Labeo rohita*, *Cirrhinus mrigala*, *Catla catla* (Memon, Talpur, Bhangar, & Balouch, 2011) and *Onchorynchus mykiss* (Volpe et al., 2015).

Among the SFAs, the most abundant fatty acid was palmitic (C16:0), which is a important energetic source during fish growth (Henderson, Sargent & Hopkins, 1984). Among the MUFAs, the main fatty acid observed in *A. gigas* was the oleic acid (C18:1*n*-9). This fatty acid is related to the type of fish diet (Ackman, 1989). Similar findings were reported in *Labeo rohita*, *Cirrhinus mrigala*, *Catla catla* (Memon, Talpur, Bhangar & Balouch, 2011) and *Salmo trutta macrostigma* (Ateş et al., 2013) species, in which C16:0 and C18:1*n*-9 were the major fatty acids present on SFA and MUFAs content, respectively. In addition, erucic acid (22:1*n*-9) was determined in this fish specie. In accordance with our findings, Jankowska, Zakeş', Zmijewski and Szczepkowski (2003) studied *Sander lucioperca* raised in farm and wild life, and only detected 22:1*n*-9 in lipid fraction of farmed species suggesting that this MUFA is from farmed fishes diet feed.

Regarding PUFAs amount, the major fatty acids detected were C18:2*n*-6 (LA), C20:4*n*-6 (AA) and C22:6*n*-3 (DHA). In general, freshwater fishes contain more *n*-6 PUFAs (Çelik, Diler & Kçukgulmez, 2005) reflecting in lower *n*-3/*n*-6 PUFA ratio than marine fishes

(Hunter & Roberts, 2000). The high level of C18:2 n -6 exhibited in *A. gigas* can be due to presence of this fatty acid in plant oil, usually added in farmed fish feed (Grigorakis, Alexis, Taylor & Hole, 2002). Furthermore, the aforementioned specie also demonstrated great amount of AA (20:4 n -6), which is precursor of eicosanoid metabolic products specifically prostaglandin and thromboxane and exerts important role in brain as well as in the retina (Simopoulos, 2009). In agreement with our results, Jabeen and Chaudhry (2011) also reported high levels of n -6 PUFA, mainly linoleic (18:2) and arachidonic (22:4) acids in *Cyprinus carpio*, *Labeo rohita*, *Oreochromis mossambicus*. Moreover, Volpe et al (2015) also observed dominant n -6 PUFA percentage in *Onchorynchus mykiss* freshwater fish specie.

Regarding the n -3 family, *A. gigas* exhibited great source of DHA (22:6 n -3) whereas low content of EPA (20:5 n -3). These long-chain fatty acids are considered important in the prevention of coronary heart disease and inflammatory processes (Simopoulos, 2009). In accordance with our results, Navarro et al. (2012) reported small amount of EPA (20:5 n -3) in *Oreochromis niloticus*. In addition, other researchers also demonstrated high content of DHA (22:6 n -3) in freshwater fishes such as *S. trutta macrostigma* (Ateş et al., 2013) and *Onchorynchus mykiss* (Volpe et al., 2015).

PUFA/SFA, n -6/ n -3 and n -3/ n -6 ratios are exhibited in Table 5. For a healthy human diet, the values recommended for PUFA/SFA, n -6/ n -3 and n -3/ n -6 ratios are minimum value of 0.45, maximum value of 4.0 (Department of Health and Social Security, 1994) and range from 1/1 to 1/5 (Zuraini et al., 2006), respectively. Based on the aforementioned limits, *A. gigas* can be considered a food matrix with a balanced fatty acid profile. Similar PUFA/SFA results were observed in *Mastacembelus simack* (Harlioglu & Yilmaz, 2011), *Labeo rohita* and *Cirrhinus mrigala* (Memon, Talpur, Bhangar & Balouch, 2011) ranging from 1.35 to 1.40. In accordance, Volpe et al (2015) demonstrated n -6/ n -3 and n -3/ n -6 ratios values within

the limits in *Onchorhynchus mykiss*. Afkhami et al (2011), studied different freshwater fish species (*Cyprinus carpio* and *Ctenopharyngodon idella*) and demonstrated values of $n-3/n-6$ ratio similar with our result. Furthermore, another important index of cardiovascular health calculated in *A. gigas* was EPA+DHA (Table 5). In agreement, another freshwater species also obtained low values of the aforementioned sum (Afkhami et al., 2011).

3.4 Indices of lipid quality

The fatty acid composition permits to evaluate the nutritional quality of the lipid content through atherogenicity index (AI), thrombogenicity (IT) and hypocholesterolemic to hypercholesterolemic (H/H) ratio calculation (Table 5). A lipid fraction with high quality must contain low AI and IT whereas high H/H ratio (Bentes, Souza, Mendonça & Simões, 2009). In this research, IA and IT values were 0.35 and 0.28, respectively. Nieminen, Westenius, Halonen and Mustonen (2014) also reported IA and IT less than 1 in *Acipenser baerii*. According to Ulbricht and Southgate (1991) low values of IA and IT can inhibit the aggregation of platelets, preventing the appearance of coronary diseases, considered beneficial for human health. The H/H ratio is related to cholesterol metabolism wherein greater values of H/H are most desirable representing a positive effect on human health (Fernandes et al., 2014). *A. gigas* fillets exhibited H/H ratio of 2.37. Similar value of H/H was demonstrated by Testi, Bonaldo, Gatta and Badiani (2006) in *Oncorhynchus mykiss* (2.43).

4. Conclusions

Arapaima gigas can be classified as great protein source and lean fish with high lipid quality containing high long-chain PUFAs levels and great nutritional indices within

freshwater fish group, emphasizing the importance of this specie on human health mainly in cardiovascular diseases prevention. Nevertheless, refrigerated and frozen temperatures were not capable to hinder the lipid oxidation during storage in *A. gigas*, potentially due to high PUFAs amount in this specie. Further studies could focus on new conservation methods for this type food matrix.

Acknowledgments

The authors are thankful for the financial support from the Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), process numbers E-26/111.673/2013; E-26/010.001954/2014; E-26/201.185/2014; E-26/111.130/2014; E-26/110.094/2014; E-26/010.001961/2014; E-26/010.001911/2014 and E-26/101.403/2014; and also from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) process numbers 311361/2013-7, 401922/2013-8, 313917/2013-2, 442102/2014-3, 441987/2014-1, 400136/2014-7 and 151460/2014-0; the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), process numbers CAPES/FAPERJ E-45 - PAPDRJ/2013 (E-26/101.403/2014).

References

- Ackman, R. G. (1989). Nutritional composition of fats in seafoods. *Progress in Food and Nutrition Science*, 13, 161–241.
- Afkhami, M., Mokhlesi, A., Darvish Bastami, K., Khoshnood, R., Eshaghi, N., & Ehsanpour, M. (2011). Survey of some chemical compositions and fatty acids in cultured common carp (*Cyprinus carpio*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), Noshahr, Iran. *World Journal of Fish and Marine Science*, 3(6), 533-538.

- AOAC. (2012). Official methods of analysis of AOAC. Association of Official Analytical Chemists International (19th ed.). Arlington: AOAC International.
- Arfat, Y. A., Benjakul, S., Vongkamjan, K., Sumpavapol, P., & Yarnpakdee, S. (2015). Shelf-life extension of refrigerated sea bass slices wrapped with fish protein isolate/fish skin gelatin-ZnO nanocomposite film incorporated with basil leaf essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 1–12.
- Ateş, M., Çakıroğulları, G. Ç., Kocabaş, M., Kayım, M., Can, E., & Kızak, V. (2013). Seasonal variations of proximate and total fatty acid composition of wild *Brown Trout* in Munzur River, Tunceli-Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(4), 613–619.
- Bentes, A. S., Souza, H. A. L., Mendonça, X. M. F., & Simões, M. G. (2009). Caracterização física e química e perfil lipídico de três espécies de peixes amazônicos. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 3 (2), 97–108.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911–917.
- Boselli, E., Caboni, M. F., Rodriguez-Estrada, M. T., Toschi, T. G., Daniel, M., & Lercker, G. (2005). Photooxidation of cholesterol and lipids of turkey meat during storage under commercial retail conditions. *Food Chemistry*, 91(4), 705–713.
- Buzzi, M., Henderson, R. J., & Sargent, J. R. (1997). Biosynthesis of docosahexaenoic acid in trout hepatocytes proceeds via 24-carbon intermediates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 116(2), 263–267.
- Canto, A. C., Costa-Lima, B. R., Suman, S. P., Monteiro, M. L. G., Marsico, E. T., Conte-Junior, C. A., Franco, R. M., Salim, A. P. A. A., Torrezan, R., & Silva, T. J. P. (2015).

- Fatty acid profile and bacteriological quality of caiman meat subjected to high hydrostatic pressure. *LWT-Food Science and Technology*. 63, 872–877.
- Carani, F. R., Aguiar, D. H., de Almeida, F. L. A., Gonçalves, H. S., Padovani, C. R., & Silva, M. D. P. (2008). Morfologia e crescimento do músculo estriado esquelético no pirarucu *Arapaima gigas* Cuvier, 1817 (Teleostei, Arapaimidae). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 30(2), 205–211.
- Çelik, M., Diler, A., & Küçükgülmez, A. (2005). A comparison of the proximate compositions and fatty acid profiles of zander (*Sander lucioperca*) from two different regions and climatic conditions. *Food Chemistry*, 92 (4), 637–641.
- Chin, S. F., Liu, W., Storkson, J. M., Ha, Y. L., & Pariza, M. W. (1992). Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(3), 185–197.
- Conte-Junior, C. A., Soncin, S., Hierro, E., & Fernandez, M. (2007). Estudio de la producción de ácido linoleico conjugado por cepas de lactobacillus y enterococcus de distintos orígenes. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 1, 482–489.
- De Abreu, D. P., Losada, P. P., Maroto, J., & Cruz, J. M. (2011). Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants. *Food Chemistry*, 126(1), 315–320.
- Department of Health and Social Security. Diet and cardiovascular disease. (1984). Vol. 28. Report on health and social subjects (pp. 443–456). HMSO, London.
- Fogaça, F. H. S, de Oliveira, E. G., Carvalho, S. E. Q., & Santos, J. F. S (2011). Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 33, 95–99.

- Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 35(1), 42–51.
- Grigorakis, K., Alexis, M. N., Taylor, K. D., & Hole, M. (2002). Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(5), 477–484.
- Haard, N. F. (1992). Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International*, 25(4), 289–307.
- Harlioglu, A. G., & Yilmaz, Ö. (2011). Fatty acid composition, cholesterol and fat-soluble vitamins of wild-caught freshwater spiny eel, *Mastacembelus simack* (Walbaum, 1792). *Journal of Applied Ichthyology*, 27(4), 1123–1127.
- Henderson, R. J., Sargent, J. R., Hopkins, C. E. 1984. Changes in the content and fatty acid composition of lipid in an isolated population of the capelin, *Mallotus villosus*, during sexual maturation and spawning. *Marine Biology*, 78(3), 255–263.
- Hunter, B. J., & Roberts, D. C. (2000). Potential impact of the fat composition of farmed fish on human health. *Nutrition Research*, 20(7), 1047–1058.
- Huynh, M. D., & Kitts, D. D. (2009). Evaluating nutritional quality of pacific fish species from fatty acid signatures. *Food Chemistry*, 114(3), 912–918.
- Imbiriba, E. P. (2001). Potencial de criação de pirarucu, *Arapima gigas*, em cativeiro. *Acta Amazonica*, 31(2), 299–316.
- Intarasirisawat, R., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Wu, J. (2014). Effects of skipjack roe protein hydrolysate on properties and oxidative stability of fish emulsion sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 58(1), 280–286.

- Jabeen, F., & Chaudhry, A. S. (2011). Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. *Food Chemistry*, 125(3), 991–996.
- Jankowska, B., Zakęś, Z., Żmijewski, T., & Szczepkowski, M. (2003). A comparison of selected quality features of the tissue and slaughter yield of wild and cultivate pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *European Food Research and Technology*, 217(5), 401–405.
- Kishino, S., Ogawa, J., Ando, A., Omura, Y., & Shimizu, S. (2002). Ricinoleic acid and castor oil as substrates for conjugated linoleic acid production by washed cells of *Lactobacillus plantarum*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 66(10), 2283–2286.
- Lee, K. N., Kritchevsky, D., & Pariza, M. W. (1994). Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis*, 108(1), 19–25.
- Martínez-González, M. A., Fernández-Jarne, E., Serrano-Martínez, M., Martí, A., Martínez, J. A., & Martín-Moreno, J. M. (2002). Mediterranean diet and reduction in the risk of a first acute myocardial infarction: an operational healthy dietary score. *European Journal of Nutrition*, 41(4), 153–160.
- Martins, M. G., Martins, D. E. G., & da Silva Pena, R. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT-Food Science and Technology*. 62(1), 144–151.
- Memon, N. N., Talpur, F. N., Bhangar, M. I., & Balouch, A. (2011). Changes in fatty acid composition in muscle of three farmed carp fish species (*Labeo rohita*, *Cirrhinus mrigala*, *Catla catla*) raised under the same conditions. *Food Chemistry*, 126(2), 405–410.
- Merrill, A.L. & Watt, B.K. (1973). Energy value of foods: basis and derivation. Washington, DC ARS USDA: *Agriculture Handbook*, N°. 74. 105 p.

- Monteiro, M.L.G., Mársico, E.T., Teixeira, C.E., Mano, S.B., Conte Júnior, C.A., & Vital, H.D.C. (2012). Validade comercial de filés de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) resfriados embalados em atmosfera modificada e irradiados. *Ciência Rural*, 42(4), 737–743.
- Navarro, R. D., Navarro, F. K. S. P., Ribeiro Filho, O. P., Ferreira, W. M., Pereira, M. M., & Seixas Filho, J. T. (2012). Quality of polyunsaturated fatty acids in Nile tilapias (*Oreochromis niloticus*) fed with vitamin E supplementation. *Food Chemistry*, 134(1), 215–218.
- Núñez, J., Chu-Koo, F., Berland, M., Arévalo, L., Ribeyro, O., Duponchelle, F., & Renno, J. F. (2011). Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. *Aquaculture Research*, 42(6), 815–822.
- Oliveira, P. R., de Jesus, R. S., Batista, G. M., & Lessi, E. (2014). Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17(1), 67–74.
- Rezaei, M., Hosseini, S. F., Langrudi, H. E., Safari, R., & Hosseini, S. V. (2008). Effect of delayed icing on quality changes of iced rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*). *Food Chemistry*, 106(3), 1161–1165.
- Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., & Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: II. Fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77(2), 187–194.
- Shichiri, M., Adkins, Y., Ishida, N., Umeno, A., Shigeri, Y., Yoshida, Y., Fedor, D. M., Mackey, B. E., & Kelley, D. S. (2014). DHA concentration of red blood cells is inversely associated with markers of lipid peroxidation in men taking DHA supplement. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 55(3), 196.

- Simopoulos, A. P. (2009). Evolutionary aspects of the dietary omega-6:omega-3 fatty acid ratio: medical implications. *World Review of Nutrition Dietetics*, 100, pp 1–21.
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan Jr, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 37(1), 44–48.
- Thammapat, P., Raviyan, P., & Siriamornpun, S. (2010). Proximate and fatty acids composition of the muscles and viscera of Asian catfish (*Pangasius bocourti*). *Food Chemistry*, 122(1), 223–227.
- Troisi, R., Willett, W. C., & Weiss, S. T. (1992). Trans-fatty acid intake in relation to serum lipid concentrations in adult men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 56(6), 1019–1024.
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992.
- Volpe, M. G., Siano, F., Paolucci, M., Sacco, A., Sorrentino, A., Malinconico, M., & Varricchio, E. (2015). Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 615–622.
- Yanishlieva, N. V., & Marinova, E. M. (2001). Stabilisation of edible oils with natural antioxidants. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103(11), 752–767.
- Zaki, M. E., El-Bassyouni, H., Kamal, S., El-Gammal, M., & Youness, E. (2014). Association of serum paraoxonase enzyme activity and oxidative stress markers with dyslipidemia in obese adolescents. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 18(3), 340.
- Zuraini, A., Somchit, M. N., Solihah, M. H., Goh, Y. M., Arifah, A. K., Zakaria, M. S., Somchit, N., Rajion, M. A., Zakaria, Z. A., & Mat Jais, A. M. (2006). Fatty acid and amino

acid composition of three local Malaysian *Channa* spp. fish. *Food Chemistry*, 97(4), 674–678.

Highlights

- *Arapaima gigas* fillets can be considered a lean fish with great protein amount.
- *A. gigas* fillets exhibited high long-chain PUFAs levels.
- This fish specie presented great nutritional quality indices.
- PI and MDA increased in refrigerated and frozen storage.
- Alternative methods should be investigated for preservation of this food matrix.

Table 1

Proximate composition of *Arapaima gigas* fillets.

Parameters (%)	Mean \pm SD*
Moisture	75.84 \pm 0.82
Protein	20.97 \pm 0.73
Ash	1.15 \pm 0.03
Lipid	1.48 \pm 0.18
Carbohydrates	0.56 \pm 0.10

*Values are expressed as mean \pm standard derivation; (n=3).

Table 2Lipid oxidation of *Arapaima gigas* fillets stored at 4 °C during 15 days.

Refrigerated storage time (days)	PI (meq/kg)	MDA (mg/kg)
0	1.62 ± 0.09 ^b	0.09 ± 0.01 ^{ab}
3	1.30 ± 0.18 ^b	0.10 ± 0.01 ^a
6	1.67 ± 0.09 ^b	0.07 ± 0.00 ^{bc}
9	2.30 ± 0.08 ^a	0.05 ± 0.01 ^{cd}
12	2.55 ± 0.17 ^a	0.04 ± 0.01 ^d
15	1.34 ± 0.07 ^b	0.06 ± 0.01 ^{cd}

Values are expressed as mean ± standard derivation; (n=3). PI: peroxide index; MDA: malondialdehyde.

^{a,b,c,d} Different letters in the same column represents significant difference ($P < 0.05$).

Table 3Lipid oxidation of *Arapaima gigas* fillets stored at -20 °C during 90 days.

Frozen storage time (days)	PI (meq/kg)	MDA (mg/kg)
0	1.62 ± 0.09 ^b	0.09 ± 0.01 ^{ab}
15	2.70 ± 0.19 ^b	0.08 ± 0.01 ^b
30	4.55 ± 0.40 ^a	0.08 ± 0.02 ^{bc}
45	2.32 ± 0.09 ^b	0.11 ± 0.01 ^a
60	1.19 ± 0.11 ^b	0.05 ± 0.01 ^c
75	1.45 ± 0.01 ^b	0.07 ± 0.03 ^{bc}
90	1.06 ± 0.15 ^b	0.09 ± 0.01 ^{bc}

Values are expressed as mean ± standard derivation; (n=3). PI: peroxide index; MDA: malondialdehyde.

^{a,b,c} Different letters in the same column represents significant difference ($P < 0.05$).

Table 4

Fatty acid composition in muscle tissue of *Arapaima gigas* fillets expressed as percentages of fatty acids (%).

Fatty Acids	Mean \pm SD*
C12:0	0.15 \pm 0.01
C14:0	0.52 \pm 0.01
C16:0	22.32 \pm 1.74
C18:0	0.74 \pm 0.26
C22:0	1.96 \pm 0.57
ΣSFA	26.7 \pm 1.85
C16:1	1.25 \pm 0.09
C18:1 n -7	2.88 \pm 1.17
C18:1 n -9	17.82 \pm 0.48
C20:1	0.34 \pm 0.01
C22:1 n -9	1.07 \pm 0.53
C24:1	5.83 \pm 0.17
ΣMUFA	29.19 \pm 1.88
C18:2 n -6	25.74 \pm 2.53
C18:3 n -6	1.51 \pm 0.45
C18:3 n -3	0.31 \pm 0.19
C20:2	0.59 \pm 0.39
C20:3 n -6	2.77 \pm 0.66
C20:3 n -3	0.32 \pm 0.14
C20:4 n -6	3.68 \pm 0.32
C22:2	0.22 \pm 0.04
C20:5 n -3	0.23 \pm 0.05
C22:6 n -3	8.59 \pm 0.59
ΣPUFA	43.97 \pm 1.84
Σn -3	9.45 \pm 0.61
Σn -6	33.70 \pm 2.17

*Values are expressed as mean \pm standard derivation; (n=3). SFA: saturated fatty acid; MUFA: monounsaturated fatty acid; PUFA: polyunsaturated fatty acid.

Table 5

Nutritional quality indexes of the lipid fraction in fillets of *Arapaima gigas*.

Specie	PUFA/SFA	<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	<i>n</i> -3/ <i>n</i> -6	EPA+DHA	IA	IT	H/H
<i>A. gigas</i>	1.51 ± 0.15	3.59 ± 0.46	0.28 ± 0.04	8.82 ± 0.63	0.35 ± 0.03	0.28 ± 0.01	2.37 ± 0.23

Values are expressed as mean ± standard derivation; (n=3). IA: Index of atherogenicity; IT: Index of thrombogenicity; H/H: Fatty acids hypocholesterolemic/hypercholesterolemic ratios.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto descreve e analisa as reações de oxidação lipídica em duas espécies de peixes dulcícolas e suas implicações sobre a qualidade nutricional e, conseqüentemente, nutrição e saúde. A partir dos estudos propostos no presente projeto, foi possível contribuir com dados fiáveis relacionados à composição nutricional e alterações degradativas da porção lipídica de exemplares de jaú (*Zungaro jahu*) e pirarucu de cultivo (*Arapaima gigas*), que servirão de base para estudos na área de produção, e beneficiamento de produtos e na cadeia de comercialização desses produtos. Tendo conhecimento sobre as questões que fundamentam a tecnologia de pescado, tanto na manipulação, quanto no armazenamento e conservação, pude rever conceitos e transformar conhecimentos teóricos em prática e aplicabilidade na química de lipídios com aquisição de subsídios teórico-práticos para aplicação de conceitos de controle de qualidade e segurança de alimentos.

Tendo em vista o conhecimento do perfil de ácidos graxos, pretende-se estimular o aumento do consumo do pescado, principalmente do pirarucu, pois observamos uma matriz com uma quantidade expressiva de ácidos graxos essenciais, os quais desempenham papel importante na prevenção de doenças, fator primordial para o aumento do consumo desta espécie, contribuindo de forma geral para a saúde pública. O aproveitamento das gorduras dos peixes de água doce propõe uma alternativa a ser considerada, uma vez que apresentam, como observado neste estudo, excelente composição de ácidos graxos.

Além do conhecimento básico sobre composição, valor nutritivo e calórico das espécies estudadas, a questão cultural e educação nutricional são de extrema relevância no contexto do presente estudo, abrindo espaço para discutir formas apropriadas de escolha de alimentos adequados a uma dieta saudável. Como a população contemporânea já adotou na sua rotina formas de preparo, que podem estar relacionados como catalisadores da oxidação lipídica em alimentos, há necessidade de um critério maior de qualidade dos alimentos *in natura* assim como conhecimento da natureza das reações envolvidas e suas formas de controle.

A oxidação lipídica e a relação com aspectos nutricionais apresentam fundamental importância não só pela qualidade sensorial e nutricional dos alimentos, mas pela presença de substâncias tóxicas ligadas a uma infinidade de processos patológicos que vão desde a aterosclerose até a possível relação com neoplasia, fatores que justificam estudos detalhados sobre o tema, melhorando como profissional da saúde, as condições de vida da população e demonstrando, no caso do presente estudo, a importância dos lipídios presentes nos peixes para a evolução da nutrição humana.

Desta forma, com base nos resultados esperados em relação à degradação da fração lipídica, propõem-se alertar o consumidor e autoridades oficiais, incentivando o monitoramento e a fiscalização, quanto aos compostos nocivos que podem ser formados durante a refrigeração e congelamento, métodos que representam a principal forma de conservação do pescado, tanto no ambiente doméstico quanto a nível comercial.

Assim sendo, a presente linha de pesquisa pretende ampliar pesquisas visando buscar as melhores formas para a embalagem, uso de antioxidantes e métodos de conservação que inibam a oxidação e garantam a qualidade dessa matriz alimentar melhorando a qualidade dos produtos disponíveis ao público e alertando para o risco toxicológico da ingestão de alimentos oxidados. Finalizando, considero que a busca da eficiência, aborda fatores fundamentais para formação profissional, como saber trabalhar em equipe, adotar atitudes éticas no trabalho e no convívio social, ter iniciativa e criatividade com responsabilidade e aprendizados relacionados a posicionamento ético frente as inovações tecnológicas assim como o conhecimento pleno do papel do Médico Veterinário no desenvolvimento da qualidade científica brasileira.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ackman, R.G., 1989. Nutritional composition of fats in sea foods. *Progress in Food Nutrition Science*, 13, 161–289.

Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Suzuki, H. I., & Júlio Jr, H. F. 2003. Migratory fishes of the upper Paraná River basin, Brazil. *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*, 19.

Amaral, E., De Sousa, I. S., Gonçalves, A. C. T., Braga, R., Ferraz, P., & Carvalho, G. 2011. Manejo de Pirarucus (*Arapaima gigas*) em Lagos de Várzea de Uso Exclusivo de Pescadores Urbanos. Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá – RDSM. Tefé: IDSM.

Araújo, J. 2008. Química de alimentos: teoria e prática. In Química de alimentos: teoria e prática – 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 596p.

Arbeláez-Rojas, G. A., Fracalossi, D. M., & Fim, J. D. I. 2002. Body composition of tambaqui, *Colossoma macropomum*, and Matrinxã, *Brycon cephalus*, when raised in intensive (Igarapé Channel) and semi-intensive (Pond) culture systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(3), 1059–1069.

Arfat, Y. A., Benjakul, S., Vongkamjan, K., Sumpavapol, P., & Yarnpakdee, S. 2015. Shelf-life extension of refrigerated sea bass slices wrapped with fish protein isolate/fish skin gelatin-ZnO nanocomposite film incorporated with basil leaf essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 1–12.

Aubourg, S., Lago, H., Sayar, N., & González, R. 2007. Lipid damage during frozen storage of Gadiform species captured in different seasons. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109, 608–616.

Averina, E. S., & Kutyrev, I. A. 2011. Perspectives on the use of marine and freshwater hydrobiont oils for development of drug delivery systems. *Biotechnology advances*, 29(5), 548–557.

Beirão, L. H., Teixeira, E., Meinert, E. M., & Santo, M. 2000. Processamento e industrialização de moluscos. In Seminário e workshop tecnologias para aproveitamento integral do pescado. Campinas: ITAL/CTC. 38–84 p.

Bentes, A. S., Souza, H. A. L., Mendonça, X. M. F., & Simões, M. G. 2009. Caracterização física e química e perfil lipídico de três espécies de peixes amazônicos. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 3 (2), 97–108.

Boni, T. A., Padial, A. A., Prioli, S. M. A. P., Lucio, L. C., Maniglia, T. C., Bignotto, T. S., Panarari-Antunes, R. S., Prioli, R. A., & Prioli, A. J. 2011. Molecular differentiation of species of the genus *Zungaro* (Siluriformes, Pimelodidae) from the Amazon and Paraná-Paraguay River basins in Brazil. *Genetics and Molecular Research*, 10(4), 2795–2805.

Boran, G., & Karaçam, H. 2011. Seasonal changes in proximate composition of some fish species from the black sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11, 01–05.

Brandão, F. R., Gomes, L. D. C., Crescêncio, R., & Carvalho, E. D. S. 2008. Uso de sal durante o transporte de juvenis (1kg) de pirarucu (*Arapaima gigas*). *Acta Amaz*, 38, 767–772.

BRASIL. 1998. Apoio ao crescimento da aquicultura no Brasil. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. CNPq – Notícias. Ministério da Educação. Brasília. Boletim Informativo 4(4), 6–7 p.

_____. 2011. Manejo do Pirarucu: sustentabilidade nos lagos do Acre. Projeto WWF – Brasil BR. Brasília. 67 p.

_____. 2013. Balanço 2013. Pesca e Aquicultura. Ministério da Pesca e Aquicultura. Brasília. 14 p.

_____. 2014. Ministério da Pesca e Aquicultura. 1º Anuário Brasileiro da Pesca e Aquicultura. Brasília. 136 p.

Carrillo-Avila, M., Resende, E. K., Marques, D. K., & Galetti Jr, P. M. 2009. Isolation and characterization of polymorphic microsatellites in the threatened catfish Jaú, *Zungaro jahu* (Siluriformes, Pimelodidae). *Conservation genetics*, 10(5), 1597–1599.

Covington, M. B. 2004. Omega-3 Fatty acids. *American Academy of Family Physicians*. 70(1), 133–140.

De Abreu, D. P., Losada, P. P., Maroto, J., & Cruz, J. M. 2011. Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants. *Food Chemistry*, 126(1), 315–320.

EMBRAPA. 2003. A aquicultura e a atividade pesqueira. Brasília. Disponível em: <www.cnpma.embrapa.br>. Acesso em: 20 jan. 2015.

FAO. 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*. Rome. 223 pp.

Feltre, R. 1996. Fundamentos da química. 2ª Ed. São Paulo: Editora Moderna. 646p.

Ferrari, C. K. B. 1998. Oxidação lipídica em alimentos e sistemas biológicos: mecanismos gerais e implicações nutricionais e patológicas. *Revista de Nutrição*, 11(1), 3–14.

Fogaça, F., & Sant'ana, L. S. 2009. Oxidação lipídica em peixes: mecanismo de ação e prevenção. *Archives of Veterinary Science*, 14(2), 117–127.

Gomez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. 2014. Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 35(1), 42–51.

Gonçalves, A. A. 2011. *Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação*. São Paulo: Atheneu. 608p.

Graça, W. J., & Pavanelli, C. S. 2007. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes. Maringá: EDUEM, 241p.

Haard, N. F. 1992. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International*, 25(4), 289–307.

Hwang, K. T., & Regenstein, J. M. 1989. Protection of menhaden mince lipids from rancidity during frozen storage. *Journal of Food Science*, 54, 1120–1124.

IBAMA. 2007. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Estatística da pesca 2007 - Grandes regiões e unidades da federação. Brasília. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros>>. Acesso em 20 jan. de 2015.

Lambertson, G. 1978. Fatty acid composition of fish fats. Comparison based on eight fatty acids. *Fiskeridirektoratets Skrifter*, 1(4), 105.

Lottenberg, A. M. P. 2009. Importância da gordura alimentar na prevenção e no controle de distúrbios metabólicos e da doença cardiovascular. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, 53(5), 595–607.

Lundberg, J. G., & Littmann, M. W. 2003. Família Pimelodidae. In: Reis, R.E., Kullander S.O., Ferraris, S.J. (Eds.), *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre, pp 432–446.

Martin, C. A., Almeida, V. V. D., Ruiz, M. R., Visentainer, J. E. L., Matsushita, M., Souza, N. E. D., & Visentainer, J. V. 2006. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: importance and occurrence in foods. *Revista de Nutrição*, 19(6), 761–770.

Mariutti, L. R. B., & Bragagnolo, N. 2009. A oxidação lipídica em carne de frango e o impacto da adição de sálvia (*Salvia officinalis*, L.) e de alho (*Allium sativum*, L.) como antioxidantes naturais. *Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)*, 68(1), 1–11.

OLIVEIRA, F. L. C. 2004. Imunomodulação. In: Temas de Nutrição em Pediatria. *Departamento de Nutrição da Sociedade Brasileira de Pediatria*, 3, 24–27.

Ono, E., & Kehdi, J. 2013. Manual de Boas Práticas de Produção do Pirarucu em Cativeiro. Sebrae, Brasília. 46 p.

Pereda, J. A. O., Rodriguez, M. I. C., Alvarez, L. F., Sanz, M. L. G., Miguillon, G. D. G. F., Perales, L. L. H., & Cortecero, M. D. S. 2005. Tecnologia de Alimentos: Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2, 279 p.

Rebaza, M., Alcántara, F., & Valdivieso, M. 1999. Manual de Piscicultura del paiche *Arapaima gigas* Cuvier. SPT–TCA. IIAP. Caracas, Venezuela, 7–37 p.

Santos, L. E. S., & BORTO-LOZO, E. A. F. Q. 2008. Ingestão de ômega 3: considerações sobre potenciais benefícios no metabolismo lipídico. *Publicatio UEPG-Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*, 14(2), 161–170.

Sartori, A. G. O, & Amancio, R. D. 2012. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 19(2), 83–93.

Shichiri, M., Adkins, Y., Ishida, N., Umeno, A., Shigeri, Y., Yoshida, Y., Fedor, D. M., Mackey, B. E., & Kelley, D. S. 2014. DHA concentration of red blood cells is inversely

associated with markers of lipid peroxidation in men taking DHA supplement. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 55(3), 196.

Silfvergrip, A. M. C. 1992. *Zungaro*, a senior synonym of *Paulicea* (Teleostei: Pimelodidae). *Ichthyol. Explor Freshwaters*, 3, 305–310.

Simopoulos, A. P. 2009. Evolutionary aspects of the dietary omega–6:omega–3 fatty acid ratio: medical implications. *World Review of Nutrition Dietetics*, 100, 1–21.

Simopoulos, A. P. 2011. Evolutionary aspects of diet: the omega-6/omega-3 ratio and the brain. *Molecular neurobiology*, 44(2), 203–215.

Souza, S. M. G., Anido, R. J. V., & Tognon, F. C. 2007. Fatty acids omega-3 and omega-6 in fish nutrition: sources and relations. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 6(1), 63–71.

Taheri, S., Motallebi, A. A., Fazlara, A., Aghababayan, A., & Aftabsavar, Y. 2012. Changes of fatty acid profiles in fillets of Cobia (*Rachycentron canadum*) during frozen storage. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(1), 204–213.

Turan, H., Sönmez, G., & Kaya, Y. 2007. Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L. 1758) from the Sinop coast in the Black Sea. *Journal of Fisheries Sciences*, 1(2), 97–103.

Usberco, J., & Salvador, E. 2006. *Química Geral*. 12^a.ed. São Paulo: Saraiva. 480 p.

Wang, Y. L., Miller, L. A., Perren, M., & Addis, P. B. 1990. Ômega-3 fatty acids in lake superior fish. *Journal of Food Science*, 55(1),71–73.

Zaki, M. E., El-Bassyouni, H., Kamal, S., El-Gammal, M., & Youness, E. 2014. Association of serum paraoxonase enzyme activity and oxidative stress markers with dyslipidemia in obese adolescents. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 18(3), 340.

6 APÊNDICES

6.1 PISCICULTURA DE PIRARUCU



Figura 4. Piscicultura de pirarucu localizada na Fazenda da Baixa, município de São Luís de Montes Belos, Goiás/GO.

6.2 FRIGORÍFICO BOA CRIA



Figura 5. Frigorífico Boa Cria localizado em Bonfinópolis, Goiás/GO.

6.3 CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO – ARTIGO 1

18-Jun-2015

Dear Miss Coutinho:

Manuscript ID IJFST-2015-18149 entitled "Lipid distribution in the meat of jau (Zungaro jahu) and the influence of storage temperature on its fat stability,"

I am pleased to inform you that your manuscript has been approved for submission the the Peer Review process at the International Journal of Food Science and Technology. Referees are now being invited to review your manuscript and the editors will await their comments before making a decision on your manuscript. This stage of Peer review can take up to two months.

Sincerely,
Debbie Menzies
International Journal of Food Science and Technology Editorial Office
d.menzies@chester.ac.uk

6.4 CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO – ARTIGO 2

De: "LWT - Food Science & Technology" <lwt@elsevier.com>
Data: 1 de julho de 2015 18:19:37 BRT
Para: elimarsico@gmail.com
Assunto: Thank you for your submission to LWT - Food Science and Technology

Dear Prof. Marsico,

Thank you for sending your manuscript Fatty acids composition and influence of temperature on the lipid stability of Arapaima gigas meat for consideration to LWT - Food Science and Technology. Please accept this message as confirmation of your submission.

Many thanks again for your interest in LWT - Food Science and Technology.

Kind regards,

LWT - Food Science and Technology