

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS
ALIMENTOS

Krishna Rodrigues de Rosa

**EFEITO DA IDADE E DO PERÍODO DE DESPESCA DO PIRARUCU
(*Arapaima gigas*) NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA
CARNE E DESENVOLVIMENTO DE MANTAS SALGADAS E SECAS**

Krishna Rodrigues de Rosa

**EFEITO DA IDADE E DO PERÍODO DE DESPESCA DO PIRARUCU (*Arapaima
gigas*) NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CARNE E
DESENVOLVIMENTO DE MANTAS SALGADAS E SECAS**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutora em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**.

Orientador: Dr. Ernesto Hashime Kubota
Coorientador: Dr. Nelcindo Nascimento Terra (*in memoriam*)
Dr. Wander Miguel de Barros

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

ROSA, KRISHNA RODRIGUES DE
EFEITO DA IDADE E DO PERÍODO DE DESPESCA DO PIRARUCU
(Arapaima gigas) NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA
CARNE E DESENVOLVIMENTO DE MANTAS SALGADAS E SECAS /
KRISHNA RODRIGUES DE ROSA.- 2021.
182 p.; 30 cm

Orientador: Ernesto Hashime Kubota
Coorientadores: Nelcindo Nascimento Terra, Wander
Miguel de Barros
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2021

1. Pirarucu 2. Biometria 3. Qualidade 4. Composição
centesimal 5. Concentração de sal I. Kubota, Ernesto
Hashime II. Terra, Nelcindo Nascimento III. Barros,
Wander Miguel de IV. Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFPA. dados fornecidos pelo autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca central. bibliotecária responsável: paula schoenfeldt. data: 10/17/20.

Declaro, KRISHNA RODRIGUES DE ROSA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Krishna Rodrigues de Rosa

**EFEITO DA IDADE E DO PERÍODO DE DESPESCA DO PIRARUCU (*Arapaima gigas*)
NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CARNE E DESENVOLVIMENTO DE
MANTAS SALGADAS E SECAS**

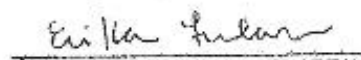
Trabalho de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia dos Alimentos.

Aprovado em 13 de agosto de 2021:


Erneste Hashime Kubota, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Alexandre José Cichoski, Dr. (UFSM)


Roger Wagner, Dr. (UFSM)


Erika Fabiane Farlen, Dra. (IP-APTA)


Adriano Garcia Rosado Júnior, Dr. (IFFAR)

Santa Maria, RS
2021

Aos meus pais José Augusto e Dalva Maria, dedico este doutorado que um dia lhes disse que faria e lhes daria orgulho. Obrigada por todo amor, dedicação e confiança para que este sonho pudesse se realizar.

Ao meu esposo Pedro Henrique, por todo companheirismo, amor, força e positivismo sem o qual eu não teria conseguido concretizar este sonho.

Aos meus irmãos Joseph e Petrus e minha sogra Elizabeth, pelo carinho e fé em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, que sempre me deu forças e me guiou durante toda minha vida, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais Dalva Maria e José Augusto, meus espelhos de vida, luta e perspicácia sem os quais a minha vida não teria sentido algum, por todo o apoio que me deram desde o início da minha vida acadêmica até aqui através dos mínimos detalhes e sinais de amor, conforto e incentivo.

Ao meu esposo Pedro Henrique, por ter sonhado este sonho comigo abdicando de tudo para me acompanhar e fazer este doutorado acontecer. Não tenho palavras para agradecer por todo carinho e amor que recebi e como sou grata por tê-lo em minha vida. Amo-te!

Aos meus irmãos Joseph e Petrus, por sempre confiarem em mim e no meu potencial até mesmo quando eu não acreditava, trazendo palavras de carinho e me fazendo rir.

À minha irmã que Deus me deu, Patrícia Testa, agradeço do fundo da minha alma e coração por sempre estar presente mesmo com a distância física entre nós, sem seu apoio, puxões de orelha, incentivo, carinho, sorrisos e choros eu não teria conseguido. Adoro-te!

À minha avó querida Arlete e meu avô Herondino, *in memoriam*, à minha tia Gercina, minha sogra Elizabeth e tia Elyeth, por sempre me motivarem e me trazerem conforto e carinho.

Às minhas amigas Gleice, Alynne, Deusinete, Thaís, Cleonir, Aline Borré e Kamilla, por me incentivarem, apoiarem e serem meus ombros amigos a todo momento. E aos meus amigos Diogo e Kowaleski que sempre me acompanharam de perto e fizeram parte desse processo.

Ao querido prof. PhD. Nelcindo Nascimento Terra, *in memoriam*, por ter sido a minha inspiração para ingressar no doutorado na UFSM e, que mesmo em meio ao pouco tempo que tivemos juntos, sempre me apoiou, ensinou e se preocupou comigo. Serei eternamente grata por todo carinho e tempo a mim dedicados.

A todos os amigos e colegas envolvidos desde a parte experimental até a finalização dos artigos, vocês foram essenciais para que esta tese pudesse acontecer. Em especial à minha ex-aluna que se tornou uma grande amiga, Alessandra, sem seu apoio no desenvolvimento das análises não sei o que seria de mim, muito obrigada!

Ao meu orientador prof. Dr. Ernesto, agradeço por me assumir integralmente, além de sempre me apoiar, ensinar e direcionar.

Ao meu coorientador prof. Dr. Wander, se não fosse pelo seu apoio e orientação em meio ao âmbito do IFMT eu não teria conseguido finalizar este sonho, muito obrigada!

Aos professores Dra. Lúcia, Dr. Renius, Dr. Alexandre e Dr. Roger e sua aluna Marianne, por me auxiliarem e trabalharem comigo durante o desenvolvimento do experimento e dos artigos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos e ao Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos da UFSM, bem como os professores, funcionários e colegas, pela sensibilidade e apoio durante todo o doutorado tanto por eu ser uma pessoa vinda de outro Estado e não estar familiarizada com a instituição como por todo o processo que passei para assumir e permanecer no IFMT campus avançado Guarantã do Norte, além dos conhecimentos adquiridos.

À minha amiga Luciana Kimie e toda a sua equipe do Laboratório de Carnes e Pescado (LabCarPesc) da Faculdade de Nutrição e Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) campus Cuiabá/MT e à minha querida amiga Márcia Scabora juntamente com a FATEC Senai Cuiabá pela parceria no desenvolvimento das análises, auxílio nos resultados e artigos desta tese e por disporem do seu tempo tão corrido, cuidado e carinho que foram essenciais para mim, meu muito obrigada!

À Piscicultura Longo por acreditar no meu projeto e ser um parceiro tão importante no desenvolvimento do mesmo, tenho certeza que os nossos esforços em demonstrar e elevar o pirarucu frente à sociedade civil e acadêmica será recompensada.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao IFMT, pela concessão de auxílio financeiro e de alunos bolsistas para o desenvolvimento do meu experimento.

A todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste sonho, meu muito obrigada, tenham certeza que nunca serão esquecidos.

Um sonho sonhado sozinho é um sonho. Um sonho sonhado junto é realidade. (Yoko Ono)

RESUMO

EFEITO DA IDADE E DO PERÍODO DE DESPESCA DO PIRARUCU (*Arapaima gigas*) NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CARNE E DESENVOLVIMENTO DE MANTAS SALGADAS E SECAS

AUTOR: Krishna Rodrigues de Rosa
ORIENTADOR: Ernesto Hashime Kubota
COORIENTADOR: Nelcindo Nascimento Terra (*in memoriam*)
Wander Miguel de Barros

Descrito como pirarucu no Brasil e paiche no Peru, o *Arapaima gigas* é relatado como um dos maiores peixes dulcícolas de escama do mundo tendo ótimo rendimento industrial, além de carne com sabor suave, cor clara, textura macia, filé ausente de espinhas, tradicionalmente comercializado no mercado interno como produto salgado seco e normalmente retratado como “bacalhau brasileiro”. Diversos fatores influenciam direta e indiretamente na composição química do pescado, dentre estes tem-se os intrínsecos tais como genética, morfologia, fisiologia, idade, peso corporal do peixe; e os extrínsecos como fatores climáticos, alimentação, qualidade da água de produção, dentre outros. Por isso, objetivou-se neste trabalho caracterizar a matéria-prima manta de pirarucu com animais de diferentes idades frente à variação climática (chuva e seca) e desenvolver tecnologia de salga visando sugerir um protocolo que atendesse à legislação vigente. Para tal, realizou-se quatro despescas em 2 tanques, obtendo 5 espécimes por despesca por tanque, estando os animais com 18, 24, 25 e 30 meses de idade. Os animais foram abatidos e processados em frigorífico local, e as mantas caracterizadas quanto aos seus índices biométricos, composição centesimal, valor calórico, cor instrumental, perfil de ácidos graxos, índices de qualidade nutricional lipídica, frescor via bases voláteis nitrogenadas totais, pH em 24h, atividade de água, capacidade de retenção de água, perda por gotejamento, perda por cozimento e força de cisalhamento. Determinou-se quantitativamente colágeno em pele, músculo e escama de pirarucu. Desenvolveu-se mantas salgadas secas uma única vez e sob refrigeração utilizando espécimes com 24 meses de idade em delineamento composto rotacional com duas variáveis independentes (concentração de sal e tempo de salga) em quatorze ensaios cujas variáveis dependentes foram umidade, cinzas, atividade de água e cloreto de sódio. Houve diferença estatística significativa para peso da cabeça, ganho médio diário, índice de compactidade da manta, composição centesimal, valor calórico, bases voláteis nitrogenadas totais, força de cisalhamento, pH em 24 h, atividade de água e colágeno em pele de pirarucu. Verificou-se que quanto menor a idade, melhor o índice de Kleiber e pior o comprimento total e sua correlação com os demais índices; tanto a idade quanto o peso do animal influenciaram na composição centesimal e caracterização físico-química, ao passo que no perfil de ácidos graxos obteve-se correlação apenas com a idade. Conclui-se, assim, que a particularidade da região estudada onde não há variação significativa de temperatura e somente existe modificação em regime pluviométrico que interfere diretamente na qualidade da água de criação, tal como a diferença na idade e peso dos animais avaliados, todos influenciaram, mesmo que em graus variados, as análises e índices realizados demonstrando ser possível determinar uma matéria-prima que exprime o melhor que uma espécie pode produzir. Neste sentido, foi possível determinar qual melhor protocolo de criação e processamento do pirarucu visando tanto um incremento na piscicultura desta espécie como também em atender um mercado consumidor cada vez mais exigente e globalizado. Portanto, sugere-se realizar a salga seca em um período de 24h com 21,6% de sal grosso, atendendo ao preconizado na legislação brasileira.

Palavras-chave: Pirarucu. Chuva. Biometria. Qualidade. Composição centesimal. Perfil de ácidos graxos. Colágeno. Concentração de sal.

ABSTRACT

EFFECT OF THE AGE AND PERIOD OF HARVESTING OF PIRARUCU (*Arapaima gigas*) ON THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF MEAT AND DEVELOPMENT OF SALTED AND DRIED BLANKETS

AUTHOR: Krishna Rodrigues de Rosa
ADVISOR: Ernesto Hashime Kubota
CO-ADVISOR: Nelcindo Nascimento Terra (*in memoriam*)
Wander Miguel de Barros

Known as the pirarucu in Brazil and paiche in Peru, *Arapaima gigas* is one of the world's largest freshwater fish. This species provides excellent industrial yields and has mild-flavored meat, light coloring, soft textures, a boneless fillet, traditionally sold in the domestic market as a dry salted product, and usually portrayed as the "Brazilian cod." Several factors, directly and indirectly, influence the chemical composition of fish, including intrinsic determinants such as genetics, morphology, physiology, age, body weight, and extrinsic factors including climatic factors, food, production water quality, among others. Given the above, this study aimed to characterize the raw materials of the pirarucu blanket in different-aged animals given climatic variation (rainy and dry periods) and develop salting technology to suggest a protocol that complies with Brazilian legislation. For this, four harvests were carried out in two excavated tanks, obtaining five specimens per harvest per tank, with the animals being 18-, 24-, 25-, and 30-months old. The animals were slaughtered and processed in a local slaughterhouse, and the blankets were characterized according to their biometric indices, proximate composition, caloric value, instrumental color, fatty acid profile, lipid nutritional quality indices, freshness via total volatile nitrogen bases, pH in 24 h, water activity, water retention capacity, drip loss, cooking loss, and shear force. Collagen was quantitatively determined in the pirarucu skin, muscles, and scales, and dry salt blankets were developed only once and under refrigeration using 24-month-old specimens in a composite rotational design with two independent variables (salt concentration and salting time) in fourteen trials whose dependent variables were moisture, ash, water activity, and sodium chloride. There was a statistically significant difference in head weight, average daily gain, blanket compactness index, proximate composition, caloric value, total volatile nitrogen bases, shear force, pH in 24 h, water activity, and collagen in the pirarucu skin. It was found that the younger the fish, the better the Kleiber index and the worse the total length and its correlation with the other indices; both the age and weight of the animal influenced the proximate composition and physicochemical characterization, while the fatty acid profile only correlated with age. It is concluded, therefore, that the particularity of the studied region, where there is no significant variation in temperature and there is only a change in rainfall that directly interferes in the quality of the breeding water, such as the difference in age and weight of the evaluated animals, all influenced, even if in varying degrees, the analyzes and indices carried out showing that it is possible to determine a raw material that expresses the best that a species can produce. In this sense, it was possible to determine the best protocol for the creation and processing of pirarucu aiming both an increase in fish farming of this species and also to meet an increasingly demanding and globalized consumer market. Therefore, it is suggested to carry out the dry salting in a period of 24 h with 21.6% of coarse salt, which complies with Brazilian legislation.

Keywords: Pirarucu. Rain. Biometry. Quality. Proximate composition. Fatty acid profile. Collagen. Salt concentration.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 2

- Figure 1** – Difference in TL between ages and seasons; white bar = rain; gray bar = dry; vertical lines = 95% confidence interval 53
- Figure 2** – Effects of age on the biometric indices of the pirarucu in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months) 56

ARTIGO 3

- Figure 1** – *Arapaima gigas* processing into blankets. (A) pirarucu after harvesting; (B) pirarucu blankets and spinal cord; (C1 and C2) pirarucu blanket to be analyzed. 69
- Figure 2** – Effects of the age of the animals and weight on the fatty acid profile and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket bred in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months). 83
- Figure 3** – Effects of the age of the animals and weight on the proximate composition and color analysis of the pirarucu blanket bred in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months)..... 85

ARTIGO 4

- Figure 1** – *Arapaima gigas* processing into blankets. (A) pirarucu after harvesting; (B) pirarucu blankets and spinal cord; (C1 and C2) pirarucu blanket to be analyzed.....115

ARTIGO 5

- Figure 1** – *Arapaima gigas* processing into blankets. (A) pirarucu after harvesting; (B) pirarucu blankets and spinal cord; (C1 and C2) pirarucu blanket to be analyzed.....126
- Figure 1S** – Análise de Variância efeito da idade dos animais e período climático sobre a quantidade de colágeno em pirarucu: a) Descrição da influência pelo período climático (chuva e seca); b) Descrição da influência pela diferença de idade dos animais (18, 24, 25 e 30 meses) 178

ARTIGO 6

- Figure 1** – Arrangement of salted pirarucu blankets inside the freezer. 181

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2

Table 1 – Climatic data from the Guarantã do Norte monitoring station obtained via INMET during the experimental period.....	51
Table 2 – Results of biometric indices of pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) produced in captivity. Results are expressed as mean \pm standard deviation	52
Table 3 – The correlation coefficient for total length and other biometric indices of pirarucu produced in captivity	55
Table 4 – Correlations between axis 1 and axis 2 of PCoA for biometric indices of pirarucu in captivity	57

ARTIGO 3

Table 1 – Analysis of proximate composition (mean values \pm standard deviations) of the diet provided to the pirarucu (<i>A. gigas</i>) during the experiment.....	73
Table 2 – Results of the proximate composition for a pirarucu blanket from (<i>A. gigas</i>) produced in captivity. Results expressed as mean \pm standard deviation.	74
Table 3 – Results for color analysis of the cranial, medial and caudal portions of the pirarucu blanket (<i>A. gigas</i>) produced in captivity. Results expressed as mean \pm standard deviation.....	76
Table 4 – Results for the fatty acid profile and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket (<i>A. gigas</i>) produced in captivity. Results expressed as mean \pm standard deviation.....	79
Table 5 – Correlations between PCoA axes 1 and 2 for the fatty acid profile and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket bred in captivity.	82
Table 6 – Correlations between PCoA axes 1 and 2 for the proximate composition and color analysis of the pirarucu blanket bred in captivity.....	85
Table 7 – The correlation between age and weight with the analyses of proximate composition, color, fatty acid profile, and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket bred in an excavated tank.	85

ARTIGO 4

Table 1 – Climatic data from the Guarantã do Norte automatic weather station during the experimental period.....	113
Table 2 – Physicochemical analysis of the blanket of pirarucu (<i>A. gigas</i>) bred in captivity. Results are expressed as mean \pm standard deviation.	113
Table 3 – Correlations between axis 1 and axis 2 of the PCoA for freshness and physicochemical analysis of blanket of pirarucu bred in captivity	114

ARTIGO 5

Tabela 1 – Resultados da composição centesimal e colágeno total em pele e músculo de pirarucu (<i>A. gigas</i>) cultivado em cativeiro com diferentes idades e frente à variação climática	121
Tabela 2 – Resultados da composição centesimal e colágeno total em escama de pirarucu (<i>A. gigas</i>) cultivado em cativeiro no período da chuva.....	123
Tabela 3 – Correlação entre a quantidade de colágeno com as porcentagens de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos da pele e músculo de pirarucu	125
Tabela 4 – Análise de Variância efeito do tipo de amostra (tipo), idade dos animais e período climático sobre a quantidade de colágeno	125

Tabela 1S – Dados climáticos da estação automática de Guarantã do Norte obtidos via INMET durante o período do experimento	128
---	-----

ARTIGO 6

Table 1 – Central rotational composite design used to optimize the salting process of pirarucu.....	179
Table 2 - Yield, water activity (A_w), sodium chloride, moisture and ashes obtained from the formulations in the study of optimization of salting of the pirarucu blanket. Results expressed as mean \pm standard deviation.....	180
Table 1S – Values of temperature and relative humidity measured by the thermohygrometer during the salting process of the pirarucu blanket created in captivity.	181

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM - Amazonas

ANOVA - One-Way Analysis of Variance

Aw – Water activity

BR – Brasil

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CITES - Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora

IARA - Projeto do Instituto Amazônico de Manejo Sustentável dos Recursos Ambientais

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFMT – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IUCN - International Union for Conservation of Nature

LabCarPesc - Laboratório de Carnes e Pescado

MT – Mato Grosso

PA – Pará

PCoA - Principal Coordinate Analysis

PERMANOVA - Permutational Multivariate Analysis of Variance

PPGCTA – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos

PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal

RDSM - Mamirauá Sustainable Development Reserve

SIM – Serviço de Inspeção Municipal

SUASA - Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TVB-N - Total Volatile Basic Nitrogen

UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

WLC - Weight Loss by Cook

WLD - Weight Loss by Drip

WRC - Water Retention Capacity

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	DESENVOLVIMENTO	24
3.1	PIRARUCU: FROM ITS ORIGINS TO COMMERCIAL BREEDING	25
3.2	PIRARUCU: INFLUENCE OF CLIMATE AND AGE ON BIOMETRIC INDICES OF ANIMALS RAISED IN CAPTIVITY	45
3.3	CHARACTERIZATION OF THE INFLUENCE OF PIRARUCU AGE AND WEIGHT ON THEIR PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION	65
3.4	EVALUATION OF THE FRESHNESS AND QUALITY OF PIRARUCU RAISED IN CAPTIVITY AT DIFFERENT AGES IN RELATION TO THE SEASONS	97
3.5	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E TEOR DE COLÁGENO NA PELE, MÚSCULO E ESCAMA DE PIRARUCU COM DIFERENTES IDADES EM FACE ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS	116
3.6	OTIMIZAÇÃO DA SALGA DE MANTA DE PIRARUCU CRIADO EM CATIVEIRO	136
4	DISCUSSÃO	155
5	CONCLUSÃO	159
6	REFERÊNCIAS	161
7	APÊNDICES	173
7.1	ARTIGO 2	173
7.1.1	APPENDICES	173
7.2	ARTIGO 3	176
7.2.1	HIGHLIGHTS	176
7.3	ARTIGO 4	177
7.3.1	HIGHLIGHTS	177
7.3.2	SUPPLEMENTARY MATERIAL	177
7.4	ARTIGO 6	179
7.4.1	TABELAS	179
7.4.2	APÊNDICE	180

APRESENTAÇÃO

A presente tese segue as normas estabelecidas no Manual de Dissertações e Teses: Estrutura e Apresentação – MDT da UFSM (UFSM, 2015). As seções Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussões estão apresentados na forma de 6 artigos científicos, constando no item 2 Desenvolvimento. Ao final da tese encontram-se os itens Discussão e Conclusão, que apresentam uma compilação de interpretações e comentários a respeito dos resultados e discussões encontradas e que estão contidos nos artigos científicos. As Referências encontradas no último item desse documento, referem-se somente às citações que aparecem no item Introdução e Discussão.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a FAO (2020), haverá um aumento do consumo de pescado na América Latina e Caribe na exportação e importação, respectivamente, de 10,7% e 20,0% até 2030, condição esta decorrente do crescimento da estimativa de produção em a aquicultura nas regiões (32,8%) passando de 3,14 milhões de toneladas em 2018 para 4,17 milhões de toneladas em 2030 o que vai gerar um consumo mundial per capita de 21,5 kg (FAO, 2018).

O Brasil classifica-se em 13º lugar dentre os maiores produtores mundiais de pescado por aquicultura com 605.000 toneladas e 8º por aquicultura marinha com 528.100 toneladas, sendo que em ambos aspectos os três maiores produtores são China, Índia e Indonésia, contudo, o Brasil possui consumo médio per capita inferior à média mundial (20,3 kg.hab.ano⁻¹) com apenas 10,5 kg.hab.ano⁻¹ (FAO, 2020).

A piscicultura brasileira persistiu crescendo no ano de 2019, obtendo incremento de 4,9% na produção que totalizaram 758.006 toneladas (MEDEIROS, 2020), contudo a região Centro-Oeste demonstrou redução de produção de -2% em relação a 2018 (totalizando em 110.200 t produzidos em 2019 em comparação com 112.490 t produzidos em 2018). Mesmo assim, o estado do Mato Grosso (MT) figura entre os dez maiores produtores de peixes de cultivo no país (5º lugar com 49.400 t), sendo que é o 2º maior produtor de peixe nativo no Brasil (46.280 t).

Já ao se tratar da produção em cativeiro da espécie pirarucu, o país possui 3.246 estabelecimentos agropecuários que realizam tal função onde a região Norte lidera com a maior quantidade (2.051), seguido da região Nordeste (397), região Centro-Oeste (381), região Sudeste (342) e, por último, a região Sul com 75 pisciculturas (CARVALHO et al., 2020). Tal produção faz-se importante para o Brasil, uma vez que em 2018 a quantidade produzida de pirarucu via aquicultura foi de 1.838.569 kg gerando R\$ 23.639.000,00 (IBGE, 2018).

Descrito como pirarucu no Brasil e paiche no Peru, o *Arapaima gigas* é relatado como um dos maiores peixes dulcícolas do mundo, sendo comum encontrar espécimes com peso médio de 125 kg, com relatos que o mesmo pode alcançar, na natureza, cerca de 200 kg e comprimento de 2 a 3 m (IMBIRIBA et al., 1996). É um animal que habita os rios Amazônicos (água quente entre 24 °C a 31 °C) caracterizado por estar no topo da cadeia alimentar, possuindo uma cabeça achatada que se assemelha aos dos bagres como o pintado, corpo longo e cilíndrico com escamas em tamanho acima do comumente encontrado em peixes de água doce, sendo estas habitualmente utilizadas como matéria-prima para a produção de artesanato e língua óssea que é reaproveitada como lixa (NELSON, 1994; LI; WILSON, 1996; VENTURIERI;

BERNARDINO, 1999; GAVIS et al., 2006; ARARIPE et al., 2013), contudo, normalmente são pescados comercialmente na Amazônia com peso entre 30 a 40 kg gerando um rendimento de médio de carcaça em torno de 57% (IMBIRIBA, 2001).

Denominado de bodeco na região Amazônica e piroasca no estado do Tocantins (SOUSA et al., 2017), o nome pirarucu tem origem do Tupi, onde pira significa peixe e urucu, vem do urucuzeiro - *Bixa orellana*, sendo que tal descrição advém da cor avermelhada de suas escamas na porção do conjunto da nadadeira caudal, dorsal e anal, principalmente nos machos (AYALA, 1999) ao passo que a intensidade da coloração, tal como a quantidade destas, modifica-se chegando ao seu auge durante o período reprodutivo do animal (VENTURIERI; BERNARDINO, 1999).

Nos últimos anos, o pirarucu, peixe vermelho descrito na família Arapaimatidae e na ordem dos Osteoglossiformes, foi a espécie amazônica que mais despertou o interesse dos piscicultores brasileiros. E, mesmo não sendo uma espécie amplamente caracterizada e estudada do ponto de vista científico, faz parte da base alimentar das populações nativas antes mesmo do descobrimento do país (PEREIRA-FILHO; ROUBACH, 2013).

Neste sentido, o pirarucu é normalmente criado de forma extensiva em grandes tanques escavados de dimensão variada gerando ganho em produtividade de 1,7 a 11 toneladas/hectare/ano, principalmente quando se usa peixes de baixo valor comercial como base alimentar tal como piaba, matupiri, tamuatá, etc., que são facilmente reproduzidos em piscicultura (IMBIRIBA et al., 1985; BARD; IMBIRIBA, 1986) ou via consorciação dos mesmos com outras criações animais como bubalinos e suínos (CARVALHO; NASCIMENTO, 1992), entretanto, o mesmo também tem sido criado de forma semi-intensiva e intensiva pela sua ótima propriedade de resistência em ambiente com alta densidade, tolerância a baixa concentração de oxigênio (respiração aérea) e alta de amônia, bem como por possuir rápido crescimento, fácil aceitação da alimentação artificial e boa conversão alimentar (BRAUNER; VAL, 1996; CAVERO et al., 2003; CAVERO et al., 2004).

A espécie é referida como um peixe carnívoro de grande porte - tradicionalmente intitulado como o gigante das águas amazônicas, com rendimento de carcaça em cerca de 60% e do filé acima de 45% (ONO; HALVERSON; KUBITZA, 2004). Este é tradicionalmente comercializado no mercado interno como produto salgado seco – retratado como “bacalhau

brasileiro”, tendo grande importância econômica e histórica, especialmente na região Norte e no extremo norte da região Centro-oeste (NUNES et al., 2012a).

Sua manta, corte que consiste de toda massa muscular oriunda da carcaça do animal retirando-se o espinhaço central obtendo, assim, duas partes iguais ou bandas, é considerada um produto de alto valor comercial tendo grande consumo na região norte do país e sendo bem querido pelos exportadores, o que levou a um incremento na sobrepesca dos pirarucus na fase juvenil levando à redução do estoque natural a tal ponto que ele é o único peixe descrito pela Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e da Flora Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES) como animal em risco de extinção (IBAMA (1991); IBAMA/IARA (1995; BRASIL, 2014).

Visando reverter tal circunstância e conhecer mais sobre essa espécie visto que sua revelação como excelente matéria-prima tem ganhado cada dia mais adeptos no mundo inteiro, diversos Estados brasileiros prevendo um incremento no mercado de peixes nativos reuniram-se com entidades de proteção animal e instituições de pesquisa e ensino para fortalecer a criação comercial do pirarucu em cativeiro, assim como repor o que foi retirado da natureza (BRANDÃO et al., 2008).

Quando se fala de piscicultura, tem-se que diversos fatores influenciam direta e indiretamente na composição química do pescado, dentre estes tem-se os intrínsecos tais como genética, morfologia, fisiologia, idade, peso corporal do peixe; e os extrínsecos como fatores climáticos, alimentação, qualidade da água de produção, sanidade, dentre outros (GUNTHER et al., 2005; ZHU et al., 2005).

Porém, poucos são os estudos que se atêm às características biométricas (tamanho e peso), rendimento (carcaça e cortes) e índice de compactidade (relação entre as massas muscular e adiposa e o comprimento) de pescados tanto de água doce quanto salgada, entretanto, tais dados são importantes visto que auxiliam os piscicultores estimando sua produtividade e às indústrias em padronização e atendimento de demanda de mercado (CUNHA et al., 2001; MACEDO-VIÉGAS; SOUZA, 2004).

Neste sentido, como os fatores climáticos afetam diretamente na produtividade da piscicultura, principalmente no que concerne à manutenção dos ecossistemas aquáticos primários, além disso quando se trata dos ciclos sazonais tem-se descrito que os mesmos

impactam várias atividades biológicas tais como comportamento, nutrição, metabolismo, imunidade e reprodução (BEZERRA et al., 2013).

Faz-se necessário conhecer o clima da região em que se almeja implementar uma piscicultura, sendo assim, o Mato Grosso localiza-se na região Centro-Oeste do Brasil, sendo o terceiro maior Estado do país com área total de 903.378 km² (IBGE, 2015), possuindo uma confluência de três biomas: Pantanal (10% área), Cerrado (40% área) e Amazônia (50%) (IBGE, 2012). A classificação climática de Köppen denomina como Clima tropical úmido ou sub-úmido (Am) na sua região norte e Clima tropical com inverno seco (Aw) na região central do Estado, assim como o Pantanal Mato-Grossense (ALVARES et al., 2013). Tais características faz do mesmo um local com abundantes fontes naturais de água doce, todavia, sua variação climática gera um impacto sobre a piscicultura devendo ser levada em consideração pelo produtor para que minimize os riscos na atividade (SILVA; INOUE; FIETZ, 2016; TRES et al., 2016).

O pescado é um alimento de elevado valor nutricional por possuir proteína altamente digerível, sendo fonte de aminoácidos essenciais como lisina, metionina e cisteína, além de ser fonte de gorduras poli-insaturadas (ômega 3) que auxiliam no sistema cardiovascular, vitaminas lipossolúveis A e D e, de minerais, tais como: fósforo, ferro, cálcio, cobre e selênio e, se o mesmo for proveniente de água salgada, também o iodo (STANSBY, 1973; ABABOUC, 2005; RUXTON, 2011; SARTORI; AMANCIO, 2012).

Adicionalmente, considerado fonte de colágeno através da sua pele, escamas, ossos e barbatanas (DESHMUKH; NIMNI, 1971; SADOWSKA; KOLODZIEJSKA; NIECIKOWSKA, 2003; LEE et al., 2009; JIN-FENG; XIU-RONG; CHUN-DAN, 2010; MARTÍNEZ et al., 2011; SHANMUGAM et al., 2012; HOYER et al., 2014), sendo este uma proteína constituída principalmente de glicina (cerca de 30% do total), prolina e hidroxiprolina (BHATTACHARJEE; BANSAL, 2005) que proporciona resistência, elasticidade, estrutura, além de participar da morfogênese e do metabolismo celular de novos tecidos (MAKAREEVA; LEIKIN, 2014; SKOPINSKA-WISNIEWSKA et al., 2016).

Logo, torna-se importante ressaltar que o pescado é um alimento altamente perecível, com elevada atividade de água, umidade e fonte de nutrientes, no qual após o abate ocorrem inúmeras alterações bioquímicas que após o rigor mortis, desencadeiam a perda de frescor (GASPAR et al., 1997; LEITÃO et al., 1997). De acordo com Jesus, Lessi, Tenuta Filho (2001),

um dos fatores associados a acelerada deterioração são as contaminações cruzadas que ocorrem advindas da contaminação interna do pescado pela exposição do conteúdo gastrointestinal à musculatura do mesmo.

Neste sentido, a salga que é um dos processos de conservação de alimentos mais antigos utilizados até os dias de hoje, é convencionalmente utilizada em pescado conferindo não apenas maior vida de prateleira ao produto, mas também características físico-químicas e organolépticas únicas (SABADINI et al., 2001; PEREZ et al., 2007).

Assim, diversos trabalhos buscaram verificar a qualidade do pirarucu salgado à venda no país e, em sua grande maioria os mesmos encontram contaminações microbiológicas e degradações físico-químicas sérias que podem vir a prejudicar a saúde do consumidor tais como: Mesófilos, Halofílicos, *Bacillus* spp., Fungos, *Staphylococcus* coagulase positiva, Enterobacteriaceae viáveis, *Enterococcus* spp., Coliformes totais (CT), Coliformes a 45 °C, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., Clostridium Sulfito Redutor, *Clostridium perfringens*, assim como, bases voláteis totais acima do permitido pela legislação, coloração amarelo-escuro, rancidez oxidativa aparente, textura fraca, umidade elevada e presença de aminas biogênicas (GUIMARÃES et al., 1991; SANTOS; FALCÃO; CARVALHO, 1997; NORONHA; VIEIRA; FREITAS, 2000; NUNES et al., 2012a; NUNES et al., 2012b; NUNES et al., 2018; VASCONCELOS; VIANA; OLIVEIRA, 2014).

Tal condição acontece visto que a manta de pirarucu salgado seco é um produto fabricado sem nenhum critério tecnológico, higiênico e sanitário visto que não possui legislação específica nem padrão de identidade e qualidade (PIQ) aprovados no Brasil, dispondo ao mercado consumidor, um produto irregular, com risco inerente às alterações de base microbiológica e físico-química, comprometendo a produção de um alimento seguro e barrando sua ascensão no mercado exportador (NUNES, 2011).

Sabe-se que o pirarucu é um pescado de escamas, porém o mesmo não possui espinha em y, além de ter uma carne muito saborosa e magra de coloração clara e consistência firme (IMBIRIBA et al., 1996; ONO; HALVERSON; KUBITZA, 2004; ONO; KEHDI, 2013), todavia, dados científicos sobre o pirarucu *in natura* são muito escassos visto que a pesca ainda é controlada pelo IBAMA e existem poucos criatórios registrados e licenciados no país em pleno exercício desde o início da pandemia pelo COVID19.

Entretanto, pode-se dizer que o filé do pirarucu contém, em média, 16,52% de proteína, 2,56% de lipídeos, 1,11% de cinzas, 78,26% de umidade, 1,55% de carboidrato, valor calórico de 95,32 kcal (SANTOS et al., 2018), 26,7% de ácidos graxos saturados, 29,19% de ácidos graxos monoinsaturados, 43,97% de ácidos graxos poli-insaturados (COUTINHO et al., 2019) e pH de 6,27 (HONORATO et al., 2014); ao passo que sua pele possui 25,18% de proteína, 19,34% de lipídeos, 0,18% de cinzas, 53,61% de umidade, 1,68% de carboidrato e rendimento em extração de colágeno ácido solúvel de 27,4% (CARPIO, 2018). Demonstrando que o pirarucu possui excelente qualidade nutricional e, como já relatado anteriormente, um bom rendimento industrial devendo ser mais explorado como matéria-prima alimentar para desenvolvimento de novos produtos, usando-se de tecnologias adequadas, garantindo, assim, a segurança alimentar do consumidor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar como matéria-prima alimentar o pirarucu (*Arapaima gigas*) proveniente de cativeiro em diferentes períodos de despesca e desenvolver mantas salgadas e secas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um artigo de revisão destacando a origem do pirarucu até o desenvolvimento de sua criação comercial visando conhecer mais sobre a espécie;
- Avaliar a composição centesimal da ração administrada para os animais;
- Acompanhar e conhecer as variações climáticas da área de piscicultura durante o experimento;
- Realizar medição dos índices biométricos dos espécimes estudados e gerar novos marcadores através do uso do Índice de Kleiber e do Índice de Compacidade da carcaça e da manta;
- Verificar a influência do período climático e da idade nos índices biométricos do pirarucu (*Arapaima gigas*) criado em cativeiro;
- Realizar a caracterização físico-química do pirarucu (*Arapaima gigas*) em diferentes períodos de cultivo em tanques escavados através de sua composição centesimal, cor instrumental, perfil de ácidos graxos e índice de qualidade nutricional;
- Avaliar o frescor via bases nitrogenadas voláteis totais e caracterizar físico e quimicamente a manta de pirarucu (*Arapaima gigas*) criado em cativeiro frente às estações do ano;
- Verificar a composição centesimal e quantificar o teor de hidroxiprolina na pele, músculo e escama de pirarucu com diferentes idades em face das variações climáticas;
- Avaliar a qualidade físico-química da água dos tanques escavados utilizados na criação do pirarucu;
- Realizar um estudo de otimização da salga seca de manta de pirarucu (*Arapaima gigas*) criado em cativeiro usando diferentes concentrações de sal grosso e tempos de salga sob refrigeração visando desenvolver um protocolo que atenda à legislação brasileira.

3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do estudo está apresentado na forma de 6 artigos científicos, sendo o Artigo 1 um artigo de revisão publicado na revista *Brazilian Journal of Development* de ISSN 2525-8761 (B2 na Capes Qualis quadriênio 2017-2020) e os demais como artigo científico original tal como se segue:

- Artigo 2 a ser submetido na revista PAB – Pesquisa Agropecuária Brasileira de ISSN 1678-3921 (B1 na Capes Qualis quadriênio 2013-2016);
- Artigo 3 aceito para publicação em dezembro/2021 na revista JFCA - Journal of Food Composition and Analysis de ISSN 0889-1575 (A1 na Capes Qualis quadriênio 2013-2016);
- Artigo 4 a ser submetido na revista JFCA - Journal of Food Composition and Analysis de ISSN 0889-1575 (A1 na Capes Qualis quadriênio 2013-2016);
- Artigo 5 a ser submetido na revista Química Nova de ISSN 0100-4042 (B1 na Capes Qualis quadriênio 2013/2016);
- E o Artigo 6 a ser submetido na revista LWT – Food Science and Technology de ISSN 0023-6438 (A1 na Capes Qualis quadriênio 2013-2016).

3.1 PIRARUCU: FROM ITS ORIGINS TO COMMERCIAL BREEDING

Brazilian Journal of Development

Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 2, p. 6586-6598, feb. 2020. ISSN 2525-8761

Pirarucu: from its origins to commercial breeding

Pirarucu: das origens ao melhoramento comercial

DOI:10.34117/bjdv6n2-091

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 10/02/2020

Krishna Rodrigues de Rosa

Doutoranda em Ciência e Tecnologia dos Alimentos pela Universidade de Santa Maria
Instituição: Universidade de Santa Maria (discente); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (docente)

Endereço: Rua Morro da Urca, 391, caixa postal 163 – Bairro Jardim Rio de Janeiro, Guarantã do Norte – MT, Brasil

E-mail: krrhare@gmail.com

José Laerte Nornberg

Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Avenida Roraima, 1.000, CCR, Prédio 42, Sala 3135 – Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil

E-mail: jlnornberg@gmail.com

Luciana Kimie Savay da Silva

Doutora em Química na Agricultura e no Ambiente, pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Endereço: Avenida Fernando Correa da Costa, 2367 - Bairro Boa Esperança, Cuiabá – MT, Brasil

E-mail: lukimie@gmail.com

Ernesto Hashime Kubota

Doutor em Ciências dos Alimentos pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Avenida Roraima, 1.000, CCR, Prédio 42, Sala 3135 – Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil

E-mail: ernehk2008@yahoo.com.br

RESUMO

Por se tratar de um mercado com forte potencial e em expansão, alguns Estados brasileiros em parceria com entidades de proteção animal e instituições de ensino e pesquisa tem incentivado a criação de pirarucu em cativeiro, possibilitando assim, um monitoramento e preservação dos estoques naturais, conseqüentemente evitando-se assim a extinção da espécie. Descrito como pirarucu no Brasil e paiche no Peru, o *Arapaima gigas* é relatado como um dos maiores peixes dulcícolas de escama do mundo possuindo rendimento de carcaça em cerca de 60% e do filé acima de 45%, sendo este tradicionalmente comercializado no mercado interno como produto salgado seco normalmente retratado como “bacalhau brasileiro”. Muito ainda deve ser feito para que se tenha o domínio total da criação em cativeiro do pirarucu, principalmente no que concerne à alimentação e reprodução do mesmo, contudo, trabalhos vêm sendo realizados visando alcançar tal intuito. Neste sentido, objetivou-se realizar uma revisão bibliográfica sobre o pirarucu visando elucidar o máximo sobre a respectiva espécie desde sua classificação, aspectos biológicos, método de obtenção e criação no Brasil.

Palavras-chave: *Arapaima gigas*; piscicultura; tanque escavado.

ABSTRACT

Because the captive breeding of pirarucu is a growing market segment with great potential, some Brazilian states in partnership with animal protection organizations and educational/research institutions have encouraged the activity, making it possible to monitor and preserve natural stocks and consequently prevent the extinction of the species. Commonly known as “pirarucu” in Brazil and “paiche” in Peru, *Arapaima gigas* is reported as one of the largest scaled freshwater fish in the world, with a carcass yield of around 60% and a filet yield of over 45%. The species is traditionally marketed in Brazil as a dry-salted food called

“Brazilian cod”. Although much remains to be done for the captive breeding of pirarucu to be fully controlled, especially in terms of feeding and reproduction, research has been carried out with this purpose. In this scenario, the present literature review has been undertaken to elucidate the most information possible about the classification, biological aspects, production methods and breeding of pirarucu in Brazil.

Key words: *Arapaima gigas*; earthen pond; fish farming.

1. INTRODUCTION

Known as “pirarucu” in Brazil and “paiche” in Peru, *Arapaima gigas* is considered one of the largest freshwater fish in the world, with common descriptions of the fish weighing an average of 125 kg. The species has been reported to reach up to around 200 kg in weight and 2 to 3 m in length, in nature (Imbiriba et al., 1996). Having received the title of “The giant of Amazonian waters” due to its importance, pirarucu has been known for several years abroad for its product, the salted filet, which is part of the European daily life (Ono et al., 2004).

In recent years, pirarucu, a red fish of the family Arapaimatidae and order Osteoglossiformes, has been the Amazonian species that most aroused the interest of Brazilian fish farmers. Apart from being widely characterized and studied in the scientific field, the species has also been a staple food for native populations since even before the country was discovered (Pereira-Filho and Roubach, 2013).

The species is described as a large-sized carnivorous and the largest scaled fish ever catalogued in the world, with a carcass yield of around 60% and a filet yield of over 45% (Ono et al., 2004). Pirarucu is usually marketed in Brazil as a dry-salted product popularly known as “Brazilian cod”, which has great economic and historic importance, mainly in the North region and in the northernmost area of the Central-West region (Nunes et al., 2012).

Formerly produced in extensive regimes due to ease of reproduction, the species is now farmed in intensive systems, for which it presents a number advantages, e.g., resistance to high stocking densities; easy adaptation to balanced feedstuffs and commercial feeds; rapid growth (around 7-10 kg) in the first year of farming, with a feed conversion of approximately 2:1 when only feed is used and up to 1.5:1 when supplemented with live fish (being a moderate carnivore); dual breathing (aerial and aquatic), which allows it to adapt and develop in water with low dissolved oxygen contents such as still water with the presence of sediments and algae and no current; and high filet yield, which surpasses those achieved by most fish species cultured in Brazil (Brandão et al., 2008; Ono and Kehdi, 2013).

In this scenario, the present literature review has been undertaken to elucidate the most information possible about the classification, biological aspects, production methods and breeding of pirarucu in Brazil.

2. DEVELOPMENT

2.1 CLASSIFICATION AND BIOLOGICAL ASPECTS

Pirarucu is one of the earliest described fish species of the family Arapaimidae, whose line originated in the Jurassic period, even before the continental drift of Africa and South America. Because of its phylogenetic traits, skeleton and external morphology that are distinct from those of other species of fish from that time and even from its closest African relative, *Heterotis niloticus* (Lundberg and Chermoff, 1992), pirarucu is described as a live fossil of great importance for underpinning research contrasting it with the evolution of teleosts (Silva and Duncan, 2016).

Because it is a rather primitive species, pirarucu is often described as the freshwater dinosaur. It belongs to the class Actinopterygii, order Osteoglossiformes and family

Arapaimidae, of which few species have been catalogued thus far. In the Amazon, the osteoglossids are formed by two genera and three species, namely, *Arapaima gigas*, *Osteoglossum bicirrhosum* and *O. ferreirai* (Imbiriba, 1996).

Studies conducted over more than 150 years have described pirarucu as a species of monotypic genus (Ferraris, 2003), *Arapaima gigas* (Schinz, in Cuvier, 1822). However, Cuvier and Valenciennes (1847) reported the presence of three species—*Arapaima agassizii*, *A. mapae* and *A. arapaima*—in a catalogue published by Günther (1868) as a synonym for *A. gigas*. On the other hand, recent studies confirm the existence of the species *A. agassizii* (Stewart, 2013a) as well as a new species from Central Amazon, thus totaling five species of pirarucu rather than one, as once thought (Stewart, 2013b).

Nevertheless, in Brazil, only the species *Arapaima gigas* had its geographic distribution determined, with the first occurrence reported in exploratory fishing operations near Santarém - PA, in the year 1787 (Stewart, 2013a).

The species is called “bodecos” in the Amazon region when young, “pirosca” in the state of Tocantins and “paiche” in Peru (Sousa et al., 2017). The name “pirarucu” originates from the Tupi language, where *pira* means fish and *urucu* comes from the “urucu” (annatto) tree (*Bixa orellana*). This description refers to the reddish color of its scales in the caudal-dorsal-anal fin portion, especially in males (Ayala, 1999). Both the color intensity and the number of scales change over time, reaching their peak during the reproductive stage (Venturieri and Bernardino, 1999).

Pirarucu is a large species that inhabits the Amazonian rivers (warm water, between 24 and 31 °C). It is characterized by being at the top of the food chain and by having a flattened head similar to that of catfish such as spotted sorubim; a long, cylindrical body; scales larger than those normally found in freshwater fish, which are commonly used as raw material in

craftwork; and a bony tongue that is reused as sandpaper. Despite reaching up to 3 m in length and 200 kg in live weight (Nelson, 1994; Li and Wilson, 1996; Venturini and Bernardino, 1999; Gavis et al., 2006; Araripe et al., 2013), the typical pirarucu fished commercially in the Amazon weighs between 30 and 40 kg, generating an average carcass yield of approximately 57% (Imbiriba, 2001).

The respiratory system of the species consists of gills for aquatic breathing—performed only during the fingerling stage—and a modified swim bladder, which works as a lung during aerial breathing. This fact makes it impossible to transport the animal alive after it is fished or harvested, since it eventually suffocates on the way (Sousa and Val, 1990; Goulding et al., 2003).

Furthermore, its reproductive apparatus in both females and males has a particularity that renders it anatomically unique: in females, only the left ovary is developed, whereas the male has a functional left testicle and an atrophied right testicle (Bard and Imbiriba, 1986).

2.2 ZOOTECHNICAL CHARACTERISTICS

Pirarucu is notably a species with a high growth rate. It is described as one of the earliest developing large-sized fish, which arouses the interest of producers in farming it on a large scale even though its weight gain does not accompany its longitudinal growth at the same rate. However, after reaching 75.0 cm, pirarucu starts to gain large amounts of mass, exhibiting good musculature upon attaining 150 cm in length (Fontenele, 1948; Bard and Imbiriba, 1986).

There is controversy regarding the distribution of pirarucu, with some authors reporting it as present from the Amazon river in Brazil to the Orinoco river, Guyana, up to Ucayali river, in Peru, warranting more in-depth investigations about the area between Guyana and the French Guiana (Lüling, 1964). However, Bard and Imbiriba (1986) had already reported that there are no likely records of the presence of *A. gigas* in the Orinoco basin, but rather in the lower part

of the Amazon river, where the fish reached the affluents, floodplain and *igapó* (blackwater-flooded) areas. Soares and Noronha (2007), in turn, stated that pirarucu is found in Brazil, Colombia, Guyana and Peru, but it remains to be determined whether it has reached Ecuador, since there are reports of native species that resemble it.

In Brazil, pirarucu is unanimously known to inhabit floodplain areas in the Amazon and Essequibo river basins as well as flooded forests, rivers, lakes and some coastal deltas. Its presence is delimited by geographic barriers such as waterfalls and strong-current areas, as they impede its transit, making this species an excellent colonizer of environments with low or no current such as lakes (Queiroz and Sardinha, 1999; Castello, 2008a).

Described as a non-aggressive carnivorous species, pirarucu is normally characterized for attacking small detritivorous and omnivorous fish in nature, especially those of the family Loricaridae, among which are *Hypostomus plecostomus* (“cascudo”) and *Hoplosternum littorale* (“tamuatá” or “tamoatá”), as well as other items such as mollusks, crustaceans and insects. However, because pirarucu is mostly piscivorous, it is considered a top-end predator that helps to regulate the ecosystem in which it inhabits (Romero, 1961; Ono et al., 2004). Watson et al. (2013) conducted a study with pirarucu from Guyana and found the presence of nitrogen isotopes, demonstrating that it can be classified as omnivorous. Nonetheless, further studies must be developed to ascertain the extent of importance of pirarucu in its habitat and how positive or negative its influence can be.

Pirarucu is an ovuliparous monogamous fish (Monteiro, 2005) whose sexual maturation occurs from the 4th to the 5th year of life, when it reaches 1.60-1.85 m in length and 40-45 kg in weight (Lüling, 1964; Flores, 1980). During the dry season, the fish forms couples that last throughout their lifetime. Pirarucu is easily found in lakes, river beaches and some waterways during its reproduction period (Fontenele, 1948; Queiroz and Sardinha, 1999; Castello, 2008b).

At the beginning of the flood, when the water is around 1-m deep in regions on the margin of seedbank forests surrounded by lake, undertow and “paraná” (shallow branch with little water flow that rises only when the river floods) environments, males dig holes in the soil with an average diameter of 57 cm and an average depth of 16 cm. These will be the nest where the female gradually deposits the ovules, which are covered with the male’s sperm. Once fertilized, they are hatched by the female (Castello, 2008a; Castello, 2008b).

According to some researchers, the same couple can spawn several times in one year, depending solely on the weather, body conditions and feed availability (Lüling, 1964; Neves, 1995), and a pirarucu female is able to generate around 11,000 juveniles per spawn, which is below the average when compared to other productive species. However, these data are yet to be confirmed, especially in terms of fecundity (Bard and Imbiriba, 1986).

As soon as the eggs hatch, the male—whose color changes to black as a mechanism to hide and protect the offspring—migrates to flooded forests, where more food is available, e.g., fish seeking fruits and insects, which serve as food for the father; and insects and shrimps, for the offspring (Romero, 1961). Additionally, it is the father who teaches the pirarucu juvenile to perform aerial breathing, making itself present throughout the first three months of life of the offspring in flooded forests; following them when they have reached 30-50 cm in length towards “paraná” waterways; and lastly migrating into lakes, where each follows their own path. Accordingly, if the pirarucu couple dies due to fishing or recurring fights, their entire offspring have high odds of also not surviving, which makes them highly vulnerable (Castello et al., 2013).

As previously mentioned, contrary to what it looks, as it is a large-sized animal of primitive origin, pirarucu grows fast and reproduces early as long as feed is available. Thus, under normal conditions in nature, it can reach 88 cm in length in its first year of life, 123 cm

in the second year, 154 cm in the third year, 174 cm in the fourth year, and 188 cm in the fifth year of life (Isaac et al., 1993; Arantes et al., 2010).

According to the first historical records of pirarucu fishing in the Amazon region found in the literature, the activity began in the XVIII century, with *Arapaima gigas* having great importance among the fish landed at the ports of the region and being marketed mostly in the form of dry-salted filets (Veríssimo, 1895). However, in the 1960s, its intensified fishing without any weight or size criteria culminated in pressure upon the pirarucu population in the rivers of the region, resulting in a drastic reduction of their number and in the appearance of clear signs of overexploitation (Veríssimo, 1895; Goulding, 1980; Val and Honczaryk, 1995; Isaac et al., 1996; Queiroz and Sardinha, 1999; Viana et al., 2007; Sousa et al., 2017).

In this scenario, governmental measures had to be established to regulate the fishing of pirarucu, thereby preventing its extinction. Some of the measures adopted at the time were: I - inclusion of the species in appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) as an endangered species whose sale was also restricted in both exports and imports; II - inclusion in the list of the International Union for Conservation of Nature (IUCN), in the category of species with insufficient data; and III - establishment of a minimum size for capture (150 cm) and a closed season for reproduction (December 1st to May 21st) (Ibama, 1991; Ibama, 1996; Sousa et al., 2017).

Additionally, since the end of the 1990s, riverside communities in the Amazon have put great effort into achieving a better management of pirarucu fishing and thus conserve it for future generations. This is the case of the Mamirauá Sustainable Development Reserve (RDSM), which conducts community monitoring of the species, establishing capture quotas for each fisherman; processing the salted filet to reduce waste; and executing planned sales and

control of natural stocks by counting the fish via observation at the time they perform aerial breathing (Viana et al., 2007; Sousa et al., 2017).

Despite the good results generated with projects like RDSM, which in 2011 achieved the production of 305 t of pirarucu in all areas managed by the Mamirauá Institute, which reported an increase in both production and number of fishermen registered in the period of 1999 to 2011 (production of 3 t of pirarucu in 1999 and 42 to 961 fishermen), the current availability of pirarucu per extractive fishing operation does not meet the market demand, which grows daily (Amaral et al., 2011). Therefore, in addition to the maintenance of conservation-management strategies in nature, much research has been done on the captive breeding of pirarucu, which can be a viable alternative to meet the domestic and external market demands without compromising the native population (Monteiro, 2005).

2.3 CAPTIVE PRODUCTION

Considered a product of high commercial value, the filet is largely consumed in the northern region of the country and highly appreciated by exporters, which has raised the overfishing of pirarucu juveniles. This phenomenon has resulted in a reduction of its natural stock such that pirarucu is the only fish described as endangered by the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) (Ibama, 1991; Ibama/Iara, 1995).

Because the captive breeding of pirarucu is a growing market segment with great potential, some Brazilian states in partnership with animal protection organizations and educational/research institutions have encouraged the activity, making it possible to monitor and preserve natural stocks and consequently prevent the extinction of the species (Brandão et al., 2008).

In this context, pirarucu has been strongly implied as one of the native species with enormous potential for commercial fish farming due to its particular production characteristics such as high market value; light-colored meat; mild taste and firm texture; excellent meat quality, without bones; low fat content; great acceptance by the population; hardiness for handling; adaptation to aerial breathing, which generates optimum tolerance to high ammonia levels in the water; and high growth rate, reaching up to around 10 kg in the first year of farming (Imbiriba et al., 1985; Bard and Imbiriba, 1986; Imbiriba, 1991; Carvalho and Nascimento, 1992; Imbiriba, 2001; Cavero et al., 2003; Cavero, 2011; Sousa et al., 2017; Lima et al., 2017).

Oliveira (1944) worked with pirarucu fingerlings from nature by exhaustively studying breeding methods, aiming to initiate and establish its commercial production in Brazil. In 1939, in the Emílio Goeldi Museum, located in Belém - PA, the researcher managed to produce adult specimens in captivity, 19 of which were introduced by Fontenele (1948) at the Fish Farming Station of Lima Campos in Icó - CE, in 1942. These fish were 1.20-m long and 3 years old, at the time. In 1944, they were first able to reproduce in captivity, thereby allowing, from that date, the effective commercial breeding of pirarucu in a closed-cycle farming system.

Today, the most common breeding approach for pirarucu in Brazil is the extensive system, whereby nurseries have different sizes, reaching yields of 1.7 to 11 t/ha/yr when the feed source used are low-cost fish described as foragers, e.g., piaba, matupiri, tamuatá, which reproduce naturally in captivity (Imbiriba et al., 1985; Bard and Imbiriba, 1986); or by stocking them with forage fish in consortia with buffaloes and swine (Carvalho and Nascimento, 1992). However, pirarucu can also be farmed in semi-intensive and intensive systems.

The intensive farming of pirarucu is subdivided into its life stages, namely, reproduction, with the choice of couples made by the fish themselves, which later proceed towards the so-called “pirarucu motels”, where each couple has their own nursery with a depth

that enables the formation of nests; juvenile, which starts with the removal of the father's protection until the feed-training phase and ends when the fish reaches around 10 to 20 cm in length; growth, the moment when most of the pirarucu are acquired by farmers, who work for the fish to adapt to our medium and develop, gaining up to around 0.5 to 1.0 kg in weight; and fattening, when the pirarucu is treated with a high-protein diet aiming at greater weight gain and feed conversion, ending at around 12 to 18 months of age, with a live weight between 10 and 13 kg (Lima et al., 2017).

Sousa et al. (2017) reported that the pirarucu farmed in Brazil is cultured in four main systems: net cages with dimensions between 18 and 32 m³; collapsible circular commercial-grade canvas tanks with varying dimensions, up to 10 m³ (in pirarucu breeding, farmers typically use those measuring 30 to 50 m³); earthen ponds, which are preferably rectangular, with dimensions ranging from 500 to 10,000 m², with a water depth of 1.0 to 1.5 m; and canvas-lined earthen ponds with dimensions between 300 and 500 m² and water depth of 1.00 to 1.20 m.

Lima et al. (2017) stressed that the captive breeding of pirarucu is based on three main segments: juvenile producers who master assisted reproduction; farmers with fish marketing goals who produce the fish from the growth to the fattening stages, representing the largest share in Brazil; and the fish processing industries, which are under expansion in the country. In 2017, the total industrial yield of pirarucu was 4,189,748 kg (BRL 46,422,000.00), with the North region producing the largest volume, 3,935,178 kg (BRL 42,395,000.00), followed by the Central-West region, which produced 100,840 kg, corresponding to BRL 1,706,000.00. The state of Rondônia was the biggest individual producer of the fish (3,471,264 kg), followed by Amazonas (108,733 kg) and then Mato Grosso (57,285 kg) (Ibge/Ppm, 2018).

Scientific data about fresh pirarucu are still sparse, considering that its fishing is still controlled by IBAMA (Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources) and there are few registered and licensed farms in the country. The existing results are typically from research done with the product dried and salted clandestinely. However, Oliveira et al. (2014) investigated 17 specimens of pirarucu from a commercial farm in the city of Manaus - AM, and found the following contents in the back and belly cuts, respectively: moisture - 79.51 and 77.88%, ash - 0.87 and 0.84%, lipids - 0.62 and 2.49%, protein - 17.56 and 16.10% and carbohydrate - 1.44 and 2.69%; as well as a pH value of 6.79 and freshness of 6.65 mg N 100 g⁻¹ total volatile basic nitrogen (TVB-N).

3. CONCLUSION

Much remains to be done before the captive breeding of pirarucu can be fully controlled, especially in terms of feeding and reproduction. Research has, however, been undertaken with this purpose. This review has demonstrated the importance of pirarucu for the Brazilian fauna and society, where it has been part of the population's diet since even before the country was discovered. Therefore, making information accessible about the said species and seeking partnerships to further promote research, increasing breeding efficiency, is of paramount importance so that *Arapaima gigas* can be appreciated by all without harming its existence in nature.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERENCES

- Amaral, E., Sousa, I.S., Gonçalves, A.C.T., Carvalho, G., Braga, R., Ronan, P., Vilena, J., 2011. Manejo de pirarucus (*Arapaima gigas*) em lagos de várzea de uso compartilhado entre pescadores urbanos e ribeirinhos. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Tefé/Amazonas 50p. (Série: protocolos de manejo dos recursos naturais).
- Arantes, C.C., Castello, L., Stewart, D.J., Cetra, M., Queiroz, H.L., 2010. Population density, growth and reproduction of *Arapaima* in an Amazonian river-floodplain. Ecol. Freshw. Fish. 19: 455-465. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00431.x>.
- Araripe, J., Rêgo, P.S., Queiroz, H., Sampaio, I., Schneider, H., 2013. Dispersal capacity and genetic structure of *Arapaima gigas* on different geographic scales using microsatellite markers. PLoS ONE. 8(1): 54470. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054470>.
- Ayala, C.L., 1999. Manual de piscicultura del paiche (*Arapaima gigas* Cuvier). Tratado de Cooperacion Amazonica, Secretaria pro Tempore, Caracas/Venezuela. 72p.
- Bard, J., Imbiriba, E.P., 1986. Piscicultura do pirarucu, *Arapaima gigas*. EMBRAPA, Brasília. p.1-17. (Circular Técnica, 52).
- Brandão, F.R., Gomes, L.C., Crescêncio, R., Carvalho, E.S., 2008. Uso de sal durante o transporte de juvenis (1kg) de pirarucu (*Arapaima gigas*). Acta Amaz. 38(4): 767-772. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400022>.
- Carvalho, L.O.D.M., Nascimento, C.N.B., 1992. Engorda de pirarucus (*Arapaima gigas*) em associação com búfalos e suínos. EMBRAPA - CPATU, Belém. 21p. (Circular técnica, 65).
- Castello, L., 2008a. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. Ecol. Freshw. Fish. 17: 38-46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00255.x>.
- Castello, L., 2008b. Nesting habitat of *Arapaima gigas* (Schinz) in Amazonian floodplains. J. Fish Biol. 72: 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01778.x>.

Castello, L., Stewart, D.J., Arantes, C., 2013. O que sabemos e precisamos fazer a respeito da conservação de pirarucu (*Arapaima* spp.) na Amazônia. In: Figueiredo, E.S.A. (Org.). *Biologia, conservação e manejo participativo de pirarucus na pan-Amazônia*. IDSM, Tefé. p.17-31.

Cavero, B.A.S., Pereira Filho, M., Roubach, R., Ituassú, D.R., Granda, A.L., Crescêncio, R., 2003. Efeito da densidade de estocagem na homogeneidade do crescimento de juvenis de pirarucu em ambiente confinado. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 38(1): 103-107. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000100014>.

Cavero, B.A.S., 2011. Dispositivos do curso: *Técnicas de Manejo em Piscicultura Intensiva – Cultivo de pirarucu: cuidados da alevinagem à engorda*. Universidade Federal do Amazonas, Macapá/AM.

Cuvier, G., 1822. *Das Thierreich eingetheilt nach dem Bau der Thiere als Grundlage ihrer Naturgeschichte und der vergleichenden Anatomie. Mit vielen Zusätzen versehen von H. R. Schinz*. Stuttgart: J.S. Cotta. 2: 1821-1825. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.120173>.

Cuvier, G., Valenciennes, A., 1847. *Histoire naturelle des poissons. Tome dix-neuvième. Suite du livre dix-neuvième. Brochets ou Lucioïdes. Livre vingtième. De quelques familles de Malacoptérygiens, intermédiaires entre les Brochets et les Clupes. Histoire naturelle des poissons. 19 : i–xix + 1–544 + 6, pls.554–590*.

Ferraris Junior, C.J., 2003. Family Arapaimatidae (Bonytongues). In: Reis, R.E., Kullander, S.O., Ferraris Junior, C.J. (Eds.). *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre/Brazil. p.31.

Flores, H.G., 1980. Desarrollo sexual del paiche (*Arapaima gigas*) en las zonas reservadas del estado (rios pacaya y samiria) 1971-1975. n.67. Instituto del Mar del Peru, Callao/Peru. 20p.

Fontenele, O., 1948. Contribuição para o conhecimento da biologia do pirarucu, "*Arapaima gigas*" (Cuvier), em cativo (Actinopterygii, Osteoglossidae). *Rev. bras. biol.* 8(4): 445-459.

- Gavis, G., Mojica, J.I., Duque, S., Castellanos, C., 2006. Peces del médio Amazonas. Región de Letícia. Panamericana, Bogotá/Colômbia. 548p. (Serie de Guias Tropicales de Campo, 5. Consevación International).
- Goulding, M., 1980. The Fishes and the Forest; Exploration in Amazonian Natural History. University of California, Berkeley. 80p.
- Goulding, M., Barthem, R., Ferreira, E.J.G., 2003. The Smithsonian atlas of the Amazon. Smithsonian Institution Press, Washington/DC. 256p.
- Günther, A., 1868. Catalogue of the fishes of the British Museum. Catalogue of the Physostomi, containing the families Heteropygii, Cyprinidae, Gonorhynchidae, Hydrontidae, Osteoglossidae, Clupeidae, Chirocentridae, Alepocephalidae, Notopteridae, Halosauridae, in the collection of the British Museum. 7: i-xx + 1-512.
- IBAMA. 1991. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria nº 480, de 3 de março de 1991. Proibição do exercício da pesca do pirarucu no período de 1º de dezembro a 31 de maio. D.O.U., 03/03/1991.
- IBAMA. 1996. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria nº 8, de 02 de fevereiro de 1996. Estabelece normas gerais para o exercício da pesca na bacia hidrográfica do Rio Amazonas. D.O.U., 05/02/1996. Seção I.
- IBAMA/IARA. 1995. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Projeto do Instituto Amazônico de Manejo Sustentável dos Recursos Ambientais – IARA, Brasília: IBAMA, 1995.
- IBGE/PPM. 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agropecuária Municipal – PPM, 2018. Tabelas 2017 – produção da aquicultura. (<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>). Acesso em 26/08/2019.

- Imbiriba, E.P., Bard, J., Carvalho, L.O.D.M., Nascimento, C.N.B., Souza, J.C.M., 1985. Resultados preliminares de criação do pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier) em cativeiro. EMBRAPA-CPATU, Belém. 4p. (Circular técnica, 144 – Pesquisa em andamento).
- Imbiriba, E.P., 1991. Produção e manejo de alevinos de pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier). EMBRAPA-CPATU Belém. 19p. (Circular técnica, 57).
- Imbiriba, E.P., Lourenço Júnior, J. B., Moura Carvalho, L.O.D., Goes, L.B., Uliana, D., Brito Filho, L., 1996. Criação de pirarucu. EMBRAPA-SPI, Brasília. 93p. (Coleção CRIAR, 2).
- Imbiriba, E.P., 2001. Potencial de criação de pirarucu (*Arapaima gigas*) em cativeiro. Acta Amaz. 3(2): 299-316. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43922001312316>.
- Isaac, V.J., Milstein, A., Ruffino, M.L., 1996. A pesca artesanal no baixo Amazonas: Uma análise multivariada da captura por espécie. Acta Amaz. 26(3): 185-208. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921996263208>.
- Isaac, V.J., Rocha, V.L.C., Mota, S., 1993. Considerações sobre a legislação da "piracema" e outras restrições da pesca da região do Médio Amazonas. In: Furtado, L.G., Mello, A.F., Leitão, W. (Eds.). Povos das águas: realidade e perspectiva na Amazônia. MPEG/UFPA, Belém. p.187-211.
- Li, G.Q, Wilson, M.V.H., 1996. Phylogeny of Osteoglossomorpha. In: Melanie, L.S., Lynne, R.P., David, G.J. (Eds). Interrelations of Fishes. Academic Press, Inc. San Diego, California/USA. p.163-174.
- Lima, A.F., Rodrigues, A.P.O., Lima, L.K.F., Maciel, P.O., Rezende, F.P., Freitas, L.E.L., Tavares-Dias, M., Bezerra, T.A., 2017. Alevinagem, recria e engorda de pirarucu. EMBRAPA Pesca e Aquicultura, Brasília/DF. 157p.
- Lüling, K.H., 1964. Zur Biologie und Ökologie von *Arapaima gigas* (Pisces, Osteoglossidae). Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere. 54 : 436–530.








- Lundberg, J.G., Chermoff, B., 1992. A Miocene fossil of the Amazonian fish *Arapaima* (Teleostei, Arapaimidae) from the Magdalena River Region of Colombia – Biogeography and evolutionary implications. *Biotropica*. 24(1): 2-14. <http://dx.doi.org/10.2307/2388468>.
- Monteiro, L.B.B., 2005. Caracterização do Crescimento, Reprodução e Perfil hormonal dos esteróides sexuais do pirarucu *Arapaima gigas* (SCHINZ, 1822) em condições de cativeiro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. 84p.
- Nelson, J.S., 1994. *Fishes of the World*. 3rd Ed. John Wiley e Sons, New Jersey. 600p.
- Neves, A.M.B., 1995. Conhecimento atual sobre o pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier 1817). *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Zoologia*. 11(1): 33-56.
- Oliveira, C.E., 1944. Piscicultura amazônica. *A voz do Mar*. 23(188): 104-106.
- Oliveira, P.R., 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. *Braz. j. food technol.* 17(1): 67-74. <http://dx.doi.org/10.1590/bjft.2014.01>.
- Ono, E.A., Halverson, M.N., Kubitz, F., 2004. Pirarucu - O gigante esquecido. *Revista Panorama da Aqüicultura*. 14(81): 14-25.
- Ono, E., Kehdi, J., 2013. *Manual de Boas Práticas de Produção do Pirarucu em Cativeiro*. SEBRAE, Brasília. 46 p.
- Pereira-Filho, M., Roubach, R., 2013. Pirarucu (*Arapaima gigas*). In: Baldisserotto, B., Gomes, L.C. (Org.). *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. Editora UFSM, Santa Maria. p.27-32.
- Queiroz, H.L., Sardinha, A.D., 1999. A preservação e uso sustentado dos pirarucus (*Arapaima gigas*, Osteoglossidae) em Mamirauá. In: Queiroz, H.L., Crampton, W.G.R. *Estratégias para manejo de recursos pesqueiros em Mamirauá*. MCT-CNPq, Sociedade Civil Mamirauá. p.108-145.

- Romero, J.S., 1961. El “paiche”: aspectos de su historia natural y aprovechamiento. Servicio de Pesquería, Ministerio de Agricultura, Peru. 48p.
- Silva, A.M., Duncan, W.L.P., 2016. Aspectos biológicos, ecologia e fisiologia do pirarucu (*Arapaima gigas*): uma revisão da literatura. *Sci. Amazon.* 5(3): 31-46.
- Soares, M.C.F., Noronha, E.A.P., 2007. Pirarucu, *Arapaima gigas*: uma revisão bibliográfica visando à aqüicultura sustentável. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE PEIXES NATIVOS DE ÁGUA DOCE E I ENCONTRO DE PISCICULTORES DE MATO GROSSO DO SUL, 2007, Dourados, MS. *Anais...* EMBRAPA Agropecuária Oeste Pantanal, Dourados, Mato Grosso do Sul.
- Sousa, R.H.S., Val, A.L., 1990. O gigante das águas doces. *Ciênc. Hoje.* 11(64): 9-13.
- Sousa, A.R.B., Corrêa, R.O., Faria, M.T., Maciel, P.O., Lima, L.K.F., Teixeira, R.N.G., 2017. Piscicultura de Pirarucu. EMBRAPA, Brasília/DF. 169p. (Coleção CRIAR, 7).
- Stewart, D.J., 2013a. Re-description of *Arapaima agassizii* (Valenciennes), a rare fish from Brazil (Osteoglossomorpha, Osteoglossidae). *Copeia.* 2013(1): 38-51. <http://dx.doi.org/10.1643/CI-12-013>.
- Stewart, D.J., 2013b. A new species of *Arapaima* (Osteoglossomorpha, Osteoglossidae) from the Solimões River, Amazonas State, Brazil. *Copeia.* 2013(3): 470-476. <http://dx.doi.org/10.1643/CI-12-017>.
- Val, A.L., Honczaryk, A., 1995. Criando Peixes na Amazônia. MCT/INPA, Manaus. 160p.
- Venturieri, R., Bernardino, G., 1999. Pirarucu, Espécie ameaçada pode ser salva através do cultivo. *Revista Panorama da Aqüicultura.* 9(53): 13-21.
- Veríssimo, J., 1985. A pesca na Amazônia. Livraria Clássica Alves, Rio de Janeiro. 206p.
- Viana, J.P., Castello, L., Damasceno, J.M.B., Amaral, E., 2007. Manejo Comunitário do Pirarucu *Arapaima gigas* na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - Amazonas,

Brasil. In: Áreas Aquáticas Protegidas como Instrumento de Gestão Pesqueira. Ministério do Meio Ambiente e IBAMA, Brasília. 4v. p.239-261.

Watson, L.C., Stewart, D.J., Teece, M.A., 2013. Trophic ecology of *Arapaima* in Guyana: giant omnivores in Neotropical floodplains. *Neotrop. ichthyol.* 11(2): 341-349. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252013000200012>.

3.2 PIRARUCU: INFLUENCE OF CLIMATE AND AGE ON BIOMETRIC INDICES OF ANIMALS RAISED IN CAPTIVITY

Krishna Rodrigues de Rosa ^(1,*) , Ivania Lucia de Costa Ferla ⁽²⁾ , Vanessa Maciel Arnhold ⁽²⁾ , Aline de Paula Borré ⁽²⁾ , Lucia Aparecida de Fatima Mateus ⁽³⁾ , Wander Miguel de Barros ⁽⁴⁾ , and Ernesto Hashime Kubota ⁽¹⁾ 

⁽¹⁾ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Avenida Roraima, nº 1000, Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil. E-mail: krrhare@gmail.com; ernehk2008@yahoo.com.br

⁽²⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus avançado Guarantã do Norte, Linha Páscoa, Km 04, Lote 471, Zona Rural, CEP 78520-000 Guarantã do Norte, MT, Brazil. E-mail: ivaniaferla@gmail.com; arnhold.vanessam@gmail.com; aline.paula.borre@hotmail.com

⁽³⁾ Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Botânica e Ecologia, Avenida Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, CEP 78068-600 Cuiabá, MT, Brazil. E-mail: lafmateus@gmail.com

⁽⁴⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Bela Vista, Departamento de Ensino, Avenida Juliano Costa Marques, s/nº, Bela Vista, CEP 78.050-560 Cuiabá, MT, Brazil. E-mail: wander.barros@ifmt.edu.br

Abstract - This study aimed to assess the biometric data of pirarucu of different ages from production tanks during the rainy and dry periods. For this, four harvests were carried out in two tanks, and five specimens were obtained per harvest/tank, with the animals being 18, 24,

25, and 30 months old. The animals were slaughtered and processed in a local slaughterhouse and the following biometric indices obtained: whole weight, total length, abdomen diameter, head length, head diameter, clean weight, head weight, headless clean weight, spinal weight, weight of the blankets and their yields, compactness index of the carcass and blanket, and Kleiber index. There was an interaction between age and climatic period, although only the clean fish yield was affected by both factors, especially in the rainy period. While total length, whole weight, and blanket yield compared to the clean fish presented the highest dry season values. All biometric indices positively correlated with the total length except for the Kleiber index. It is concluded that the advancing age of the animals influenced the biometric indices, and the lower the age, the better the Kleiber index and the worse the total length and its correlation with the other indices, while the climate had little influence.

Index terms: *Arapaima gigas*, age, total length, Kleiber Index, rain.

Introduction

Brazilian aquaculture production increased by 4.9% in 2019, totaling 758,006 t (Medeiros, 2020), although production in midwestern Brazil decreased by 2% compared to 2018 (110,200 t compared to 112,490 t). Nevertheless, Mato Grosso State is among the ten largest fish producers in the country (5th place with 49,400 t), being the 2nd largest native fish producer in Brazil (46,280 t). As for the production of captive pirarucu (*Arapaima gigas*), there are 3,246 fish farms, with northern Brazil leading by 2,051, followed by the northeast (397), midwest (381), southeast (342), and the south with 75 fish farms (Carvalho et al., 2020). Furthermore, pirarucu production is quite notable in Brazil, given that roughly 1,838,569 kg were produced via aquaculture in 2018 alone, generating R\$ 23,639,000.00 (US\$ 4,501,723.45) (Ibge, 2018).

The pirarucu, also called paiche in Peru, is one of the largest freshwater fish in the world and has an average weight of 125 kg, although several studies have reported it can weigh up to 200 kg and reach 2 to 3 m in length (Nunes, 2011). Moreover, the pirarucu is often described as a sizeable carnivorous fish found in standing waters and presenting high carcass (~ 60%) and fillet yields (> 45%) (Imbiriba et al., 1996).

According to the Köppen classification, the climate is classified as humid or sub-humid tropical (Am) in northern MT and tropical with dry winter (Aw) in central MT (Alvares et al., 2013). Hence, these traits lead to the region having abundant freshwater sources; however, its climatic variations affect fish farming and must be taken into account by the producer to minimize risks (Tres et al., 2016). Furthermore, climatic factors directly shape aquaculture productivity, especially concerning the maintenance of primary aquatic ecosystems, and seasonal cycles have also been described to influence various biological activities, including behavior, nutrition, metabolism, immunity, and reproduction (Bezerra et al., 2013).

However, few studies have described the biometric characteristics (size and weight), yield (carcass and cuts), and compactness index (relationship between muscle and fat mass and length) of freshwater and saltwater fish. Such data is pivotal and can help fish farmers estimate their productivity and food facilities improve standardization and meet market demand (Luxinger et al., 2018). Therefore, the present study aimed to evaluate the biometric data, blanket yield, and feed efficiency of pirarucu produced in excavated tanks during the rainy and dry periods and the influence of different pirarucu ages.

Materials and Methods

The raw material was obtained from an aquaculture farm and slaughterhouse in Peixoto de Azevedo (MT), in the Brazilian Amazon. Four harvests were carried out in two culture tanks

(A and B) in the rainy (Nov/2017 and Jan/2018, respectively for tanks A and B) and dry (June/2018 and July/2018, respectively for tanks A and B) periods. Throughout the experiment, five specimens/tank/harvests were collected ($N = 20$ animals). All fish were male. In the first harvest of tank A, the animals were 18 months old with a stocking density of $2298 \text{ fish ha}^{-1}$, while the fish were 24 months old with a stocking density of 766 fish ha^{-1} in tank B. Production was the same for all fish from spawning to slaughter, and the fish were fed in the morning with $85,0 \text{ g kg}^{-1}$ live weight with dry artificial feed for carnivorous fish. All fish were kept in similar-sized excavated tanks: $6,525 \text{ m}^2$ ($45 \text{ m width} \times 145 \text{ m length} \times 2 \text{ m depth}$ in the inlet area of the renewal water and 3.5 m deep in the deepest area) and $17,980 \text{ m}^3$ of water.

This study is part of a doctoral study (CAAE 09071018.4.0000.5346, CEP 3.210.927) and all experiments were performed following the guidelines of the ethics committee of animal experimentation of the Federal University of Santa Maria (UFSM). The animals were obtained with no interference during production, harvesting, and slaughter.

The meteorological indices of Peixoto de Azevedo (tropical climate) were provided by the National Institute of Meteorology (INMET) and the Guarantã do Norte monitoring station in Viveiro Municipal ($09^{\circ}57'S$ and $54^{\circ}53'W$, altitude 320 m) given its proximity to the fish farm: tank A (47.4 km distance , $10^{\circ}17'57.76''S$ and longitude $54^{\circ}56'29.34''W$, altitude 342 m) and tank B (38.1 km distance , $10^{\circ}14'17''S$ and $54^{\circ}56'1''W$, altitude 261 m). The mean temperature (instantaneous, maximum, and minimum), average humidity (instantaneous, maximum, and minimum), and accumulated rainfall were analyzed.

In each harvest, the fish were collected using a trawl and a tractor on both sides of the tank. The fish were immediately taken to the slaughterhouse with Municipal Inspection Service (MIS) located in the fish farm, stunned by ice/water, weighed on a digital scale with a hook (C200, WeiHeng, Guangzhou, CHN), and measured with a fiberglass tape (Multilit, Paraná, BR) to

obtain the whole weight (WW), total length (TL), abdomen diameter (AD), head length (HL), and head diameter (HD).

Bleeding was performed by cutting the gills, mechanical descaling using a high-pressure water jet (Stihl, RE 230, Waiblingen, GER), evisceration, internal and external cleaning using the water jet, and subsequent weighing to determine the clean weight with the head (CW). Then, the fish were beheaded and the heads weighed (HW), followed by the headless fish (CWY), and finally the fins and spinal cord (SC) for subsequent weighing and determination of the weight of the blankets (BW). Yield calculations were performed according to the equations: clean fish yield (CFY) = $(CW \times 100) / WW$; headless clean fish yield (HCY) = $(CWY \times 100) / WW$; blanket yield compared to the whole fish (BWY) = $(BY \times 100) / WW$; blanket yield compared to the clean fish (BCY) = $(BW \times 100) / CW$; and blanket yield compared to headless and spineless clean fish (BSCY) = $(BW \times 100) / (CWY + SC)$. With these data in hand, the carcass compactness index (CCI) was calculated using the $CWY / (TL-HL)$ ratio and blanket compactness index (BCI), $BCI = AD / (TL-HL)$ according to an adapted method of Osório et al. (1998).

To determine feed efficiency, the Kleiber index (KI) was calculated by dividing the average daily weight gain (DWG) by the average live weight (ALW) (Kleiber, 1936). The DWG was calculated using the formula: $DWG = (WW - WET) / N$, being WW the weight at the time of harvest, WET the weight when the fish entered the fattening tank, and N the number of days in the tank calculated by the total of months multiplied by 30. The average live weight was calculated by $ALW = ((WW + WET) / 2)^{0.75}$ (Heady, 1975).

One-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post hoc analysis ($p < 0.05$) were used to analyze the biometric indices and KI data. Data normality was verified by the Shapiro-Wilk test. Trends were only considered significant when means were different. All statistical analyses

were performed using Statistica 7.1. A mixed variance analysis model (Quinn & Keough, 2002) was used to compare the TL between ages and periods. In this model, the age and period were considered fixed effects and tanks as random effects, considering that the measurements were performed in two different tanks. Age was used in the model because since it varied between periods and tanks, the difference in TL can be attributed to it, thus requiring it to be analyzed to separate the effects. For possible differences between ages pairwise, Tukey's post hoc test was used with the p values adjusted for multiple comparisons. As biometric measurements are expected to be correlated with TL, Person's correlation coefficient was used to estimate the correlation between each measurement and the TL. For measurements in cm, the values were log-transformed to meet the assumption of linearity. For the % metrics, the sine arc transformation of the root of the proportion was used, and for the other measurements, the data were not transformed.

As biometric measurements are correlated, individuals with similar measurements tend to present similar patterns. This pattern is multivariate and may or may not be affected by certain factors. Thus, to evaluate whether the set of measurements responds to age and period, a permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) was used (Anderson, 2001). The analysis answers whether the similarity matrix based on the measured variables presents a pattern and if it is associated with previously established factors (groups). To generate the similarity matrix, the biometric variables transformed by chi-square (Legendre & Gallagher, 2001) and the Euclidean distance measure as a similarity index were used. The transformation is necessary because the scale of variation of the measurements is different, and those that have more significant variation can determine the pattern if transformations are not applied. To graphically represent the generated pattern, principal coordinate analysis (PCoA) was used in two dimen-

sions (axes), and the correlation between the PCoA axes and biometric measurements was estimated. All analyses were performed in the R environment (R Core, 2019) using the vegan package (Oksanen et al., 2019). The significance level was set at 0.05.

Results and Discussion

Aiming at a satisfactory CT / IK correlation with better biometric indices, the age of 25 months in the rainy season was higher compared to the others, thus being the most suitable for slaughter, however, if not only age is taken into account, but rather the period, the age of 24 months in the dry season is largely equivalent to the biometric indices. Therefore, it becomes necessary a new study containing the same ages at different periods so that you can really have a conclusive result.

The climatic data of the Guarantã do Norte monitoring station (Table 1), whose region is known for its tropical climate, has average high temperatures throughout the year and varied accumulated rainfall (rainy and dry seasons).

Table 1. Climatic data from the Guarantã do Norte monitoring station obtained via INMET during the experimental period.

Climatic factor		A		B	
		C1	C2	C3	C4
Average	Instantaneous	25.7	24.7	25.0	24.8
Temperature (°C)	Maximum	26.4	25.5	25.7	25.7
	Minimum	25.1	23.9	24.5	23.9
Average	Instantaneous	83	73	85	64
Humidity (%)	Maximum	86	76	88	68
	Minimum	80	69	82	59
Accumulated Rainfall (mm)		294.6	0.6	431.8	78.4

A: tank A; B: tank B; C1: rainy season with 18-month-old animals. C2: dry season with 25-month-old animals. C3: rainy season with 24-month-old animals. C4: dry season with 30-month-old animals.

Mato Grosso State has high temperatures throughout the year with variations only between the rainy (November to January, 500-600 mm of rainfall) and dry seasons (June to August, 20-80

mm of rainfall). Moreover, the data in Table 1 demonstrates the accumulated rainfall and highlights an anormal period in July 2018 (tank B, C4) in which a subtropical jet stream from Patagonia caused out-of-season rain (Bittencourt Rosa et al., 2015).

Only HW, DWG, and BCI had no statistical differences (Table 2), whereas TL, WW, CW, ALW, and BCY presented the highest dry season values. In addition, the HCY increased as age progressed and KI decreased. Mixed Analysis of variance (ANOVA) showed a significant difference in TL between ages but not between periods (age: $p < 0.001$; period: $p = 0.95$; Figure 1). Tukey's test demonstrated that ages 25 and 30 differed from age 18 whereas the mean length of 25 months (25-18: diff = 15.6; padj = 0.021268) and 30 months (30-18: diff = 25.2; padj = 0.000359) were significantly higher than 18 months.

Table 2. Results of biometric indices of pirarucu (*Arapaima gigas*) produced in captivity. Results are expressed as mean \pm standard deviation.

Indices	A		B	
	C1	C2	C3	C4
TL (cm)	100.6 \pm 3.44 ^b	116.2 \pm 13.50 ^a	112.8 \pm 3.11 ^{ab}	125.8 \pm 4.49 ^a
AD (cm)	41.2 \pm 5.54 ^b	53.4 \pm 7.16 ^a	51.2 \pm 1.64 ^a	57.4 \pm 3.85 ^a
HL (cm)	19.6 \pm 1.14 ^b	21.4 \pm 1.82 ^{ab}	22.2 \pm 2.95 ^{ab}	23.8 \pm 2.17 ^a
HD (cm)	34.0 \pm 1.58 ^b	47.2 \pm 10.52 ^a	36.8 \pm 1.30 ^b	43.6 \pm 2.07 ^{ab}
WW (kg)	7.69 \pm 1.78 ^b	13.80 \pm 4.55 ^a	11.99 \pm 1.03 ^{ab}	15.67 \pm 2.00 ^a
HW (kg)	1.206 \pm 0.068 ^a	1.220 \pm 0.339 ^a	1.318 \pm 0.172 ^a	1.450 \pm 0.182 ^a
SC (kg)	1.255 \pm 0.161 ^b	2.350 \pm 0.702 ^a	2.534 \pm 0.222 ^a	2.030 \pm 0.261 ^a
CW (kg)	6.58 \pm 1.49 ^b	11.58 \pm 3.53 ^a	10.16 \pm 0.87 ^{ab}	13.90 \pm 1.74 ^a
CWY (kg)	5.37 \pm 1.44 ^c	10.36 \pm 3.23 ^{ab}	8.84 \pm 0.93 ^{bc}	12.45 \pm 1.58 ^a
BY (kg)	4.12 \pm 1.31 ^b	8.01 \pm 2.79 ^a	7.63 \pm 0.65 ^a	10.42 \pm 1.37 ^a
CFY (%)	85.61 \pm 0.80 ^b	80.27 \pm 1.40 ^c	84.74 \pm 0.11 ^b	88.73 \pm 0.60 ^a
HCY (%)	69.49 \pm 2.22 ^b	75.67 \pm 8.68 ^{ab}	73.66 \pm 1.98 ^{ab}	79.45 \pm 1.07 ^a
BWY (%)	52.87 \pm 3.93 ^c	57.81 \pm 2.97 ^b	63.60 \pm 0.38 ^a	66.47 \pm 1.75 ^a
BCY (%)	61.77 \pm 4.75 ^c	68.61 \pm 4.40 ^b	75.06 \pm 0.35 ^a	74.91 \pm 1.59 ^a
BSCY (%)	61.41 \pm 4.54 ^b	62.63 \pm 6.78 ^b	67.12 \pm 1.44 ^{ab}	71.92 \pm 1.74 ^a
CCI	0.066 \pm 0.016 ^b	0.108 \pm 0.024 ^a	0.097 \pm 0.006 ^a	0.122 \pm 0.016 ^a
BCI	0.508 \pm 0.058 ^a	0.564 \pm 0.030 ^a	0.566 \pm 0.024 ^a	0.563 \pm 0.044 ^a
DWG (g d ⁻¹)	15.98 \pm 3.94 ^a	20.15 \pm 6.90 ^a	18.24 \pm 1.63 ^a	18.73 \pm 2.47 ^a
ALW	2.87 \pm 0.46 ^b	4.34 \pm 1.04 ^a	3.95 \pm 0.24 ^{ab}	4.79 \pm 0.44 ^a
KI (g UTM ⁻¹)	5.51 \pm 0.43 ^a	4.55 \pm 0.49 ^b	4.61 \pm 0.13 ^b	3.90 \pm 0.15 ^c

Values in the same line followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$). A: tank A; B: tank B. C1: rainy season with 18-month-old animals. C2: dry period with 25-month-old animals. C3: rainy season with 24-month-old animals. C4: dry period with 30-month-old animals. TL: total length. AD: abdomen diameter. HL: head length. HD: head diameter. WW: whole weight. HW: heads weighed. SC: spinal cord. CW: clean weight with the head. CWY: headless fish. BY: blanket yield. CFY: clean fish yield. HCY: headless clean fish yield. BWY: blanket yield compared to the whole fish. BCY: blanket yield compared to the clean fish. BSCY: blanket yield compared to headless and spineless clean fish. CCI: carcass compactness index. BCI: blanket compactness index. DWG: average daily weight gain. ALW: average live weight. KI: Kleiber index.

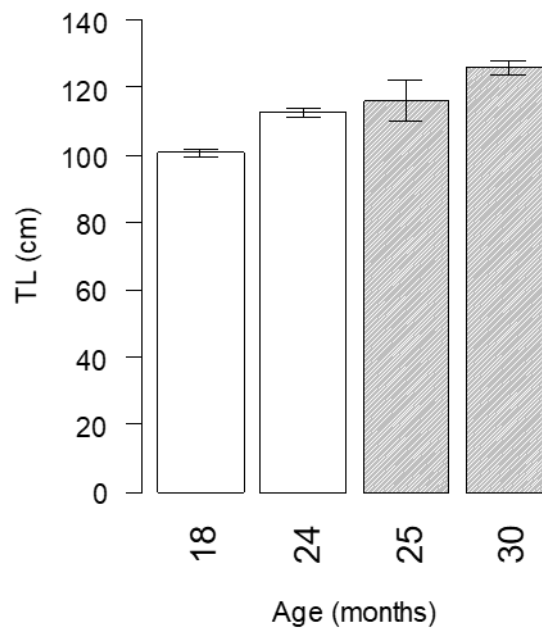


Fig. 1. Difference in total length between ages and seasons; white bar = rain; gray bar = dry; vertical lines = 95% confidence interval.

Regarding the biometric indices of the pirarucu, significant differences were noted primarily due to the different kinds of production (captive or extractive), age, weight, and region. Therefore, better comparisons can be made by matching the age and/or weight of the animals. In this sense, the specimens must be categorized by life cycle: the pirarucu is described as a juvenile when it is no longer than 165 cm, sexually immature, and not older than 4 years (Imbiriba et al., 1996), in addition to being the age most commonly used in aquaculture research (Martins et al., 2017).

However, not all studies describe the age of the evaluated specimens, and total length values may vary significantly. Moreover, this study was only similar to Fogaça et al. (2011) (TL 100.4-120.0 cm and 18 months of age) and Pinheiro (2014) (TL 108.11-162.42 cm and 13-25 months of age). Notwithstanding, Martins et al. (2017) also analyzed 18-month-old animals, although the authors noted much higher TL values (130.0 cm) for the same age reported herein. Adult pirarucu have long and cylindrical bodies with a flat head whose correlation with the body in total length is up to 10% (Bezerra et al., 2013), being the head/body ratio more expressive in juveniles. This was confirmed herein with values of 19.48, 19.68, 18.42, and 18.92% for the ages of 18, 24, 25, and 30 months, respectively, which were lower than Silva et al. (2012) with 23.02% and Pinheiro (2014) with 22.82, 22.74, 22.63, 22.17, 21.96, and 23.45%.

Regarding industrial yields, the smaller the size and weight of the head, the better, although such a condition is difficult to work with since the pirarucu is a fish of the order Osteoglossiformes and Arapaimidae family (Imbiriba et al., 1996), which causes its head to interfere negatively in efficiency indices. Nonetheless, despite obtaining percentages of 15.89, 8.47, 10.99, and 9.25% of WW and carcass yield of 69.49, 73.66, 75.67, and 79.45% for 18, 24, 25, and 30 months of age, respectively. The values found in this study were higher than Fogaça et al. (2011), Silva et al. (2012), and Pinheiro (2014), thus underlining the superior biometric performance and production described herein.

Seering (2014) reported head weight percentage of 10.4% and carcass yields of 78.0%, which are values above and below those presented here. Moreover, pirarucu have high fillet yields when produced in captivity that range from 50.8% (Seering, 2014), and 65.0% in larger specimens (Imbiriba et al., 1996). Notably, Jesus (2008) observed a variation between fish from extractive fishing (52.8%) and aquaculture farms (41.4%).

Measuring the total length proved to be important when aiming to evaluate and improve the biometric indices of the pirarucu, especially concerning its weight; thus, its correlation should be calculated. Luxinger et al. (2018) evaluated 96 pirarucu produced in captivity (average body weight of 9.18 ± 0.1 kg and 104 ± 0.3 cm in length) and reported that the TL had a high correlation and percentage of effect, measuring a direct effect of 72.63% and a correlation of 0.85 for the carcass weight. This correlation is well below what we described (0.92), demonstrating that it has not yet been elucidated and systematized, resulting in disproportionate lines of growth. This highlights the relevance of investigating the influence of the climate on *A. gigas* production, despite still being scarce.

All measurements have a high positive correlation with TL except for KI. Most of the biometric indices have a high correlation with TL (≥ 0.61) except for CFY and HCY (Table 3). PERMANOVA showed no interaction between age and climatic period in relation to the pirarucu biometric indices ($F_{1;19} = 2.2559$; $p = 0.156$). However, only age significantly affected the ordering pattern (age: $F_{1;19} = 27.8814$; $p = 0.006$; period: ($F_{1;19} = 0.706$; $p = 0.998$)), and 18 months is, in general terms, lower than the other ages (Figure 2).

Table 3. The correlation coefficient for total length and other biometric indices of pirarucu produced in captivity.

	Total length
Abdomen diameter	0.90
Head length	0.73
Head diameter	0.71
Whole weight	0.94
Heads weighed	0.71
Spinal cord	0.61
Clean weight with the head	0.93
Clean weight headless fish	0.92
Blanket yield	0.92
Clean fish yield	0.26
Headless clean fish yield	0.33
Blanket yield compared to the whole fish	0.65
Blanket yield compared to the clean fish	0.71

Blanket yield compared to headless and spineless clean fish	0.71
Carcass compactness index	0.86
Blanket compactness index	0.86
Daily weight gain	0.69
Average live weight	0.95
Kleiber index	-0.48

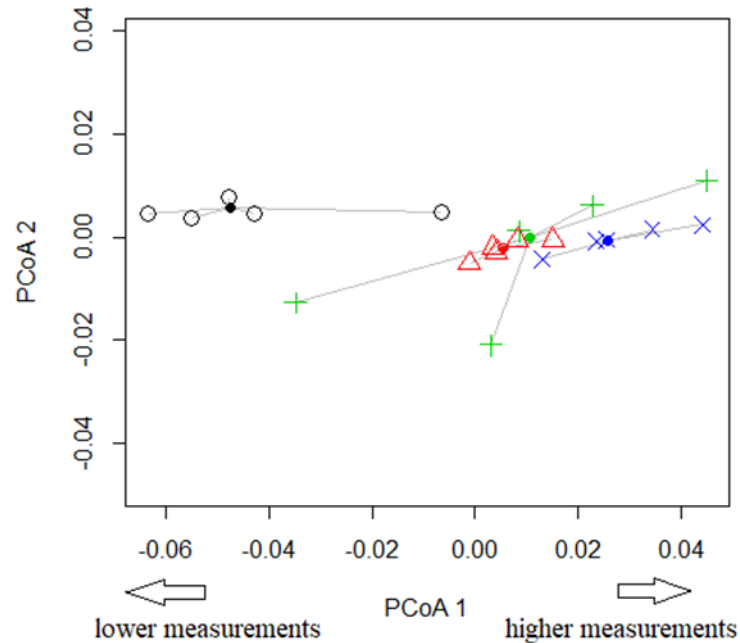


Fig. 2. Effects of age on the biometric indices of the pirarucu in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months).

The KI describes the feed efficiency of the animal without the need to measure the exact amount of food ingested, which is impossible in fish in an excavated tank. Additionally, KI helps to identify which specimens have the highest growth efficiency in relation to their body size (Kleiber, 1936), thus being an important index used in research with fish. As the KI is calculated from the average daily gain, which increases as a function of the increase in live weight (Archer et al., 1999), it is necessary to obtain all this data and correlate it. In this sense, the DWG had no statistical difference between the months evaluated, whereas ALW and KI reduced at older ages and KI was negatively correlated with TL. In addition, the high KI values suggest that pirarucu require low energy for body maintenance and therefore grow without additional energy

costs (Oliveira et al., 2014). This index also emphasizes that there is an ideal age limit to produce and harvest pirarucu in order not to have high production costs; however, as the HCY was inversely proportional to the KI, the industrial process proved to be effective at all ages.

There were no statistical differences in DWG between the tanks evaluated despite differences in stocking density (tank A: 2298 fish ha⁻¹ and tank B: 766 fish ha⁻¹). Nonetheless, tank B maintained close values (18.24 and 18.73 g day⁻¹) even with a difference of 5 months of age between the periods evaluated, while tank A showed the lowest and highest DWG values (15.98 and 20.15 g day⁻¹) at 6 months of age between the evaluated periods. This condition may have occurred since the animals in tank A were much younger when the study began (Oliveira et al., 2020).

With the exception of KI, all measures showed a high and positive correlation with axis 1 (the most important when separating ages because it explains 87.4% of the variability). The KI showed a more significant positive correlation with axis 2 and a negative one with axis 1 (Table 4).

Table 4. Correlations between axis 1 and axis 2 of PCoA for biometric indices of pirarucu in captivity.

Indices	Axis	
	PCoA1	PCoA2
Total length	0.916	0.209
Abdomen diameter	0.982	0.020
Head length	0.733	0.214
Head diameter	0.776	0.006
Whole weight	0.989	0.090
Heads weighed	0.621	0.607
Spinal cord	0.795	-0.306
Clean weight with the head	0.994	0.116
Clean weight headless fish	0.993	-0.031
Blanket yield	0.996	0.009
Clean fish yield	0.108	0.348
Headless clean fish yield	0.613	-0.580
Blanket yield compared to the whole fish	0.830	-0.263
Blanket yield compared to the clean fish	0.825	-0.019

Blanket yield compared to headless and spineless clean fish	0.647	0.364
Carcass compactness index	0.985	-0.063
Blanket compactness index	0.987	-0.052
Daily weight gain	0.784	0.459
Average live weight	0.989	0.094
Kleiber index	-0.476	0.556

As previously disclosed, the study region has high temperatures throughout the year with variations only in periods with higher and lower rainfall; therefore, only the clean yield of the pirarucu was affected by the climate, demonstrating higher values in the rainy season. Mairesse et al. (2005) studied the appearance and technological characteristics of wild and produced Eurasian perch fish (*Perca fluviatilis* (L.)) and reported that climatic variations directly influenced fillet yields and morphometric and color changes in wild specimens, which were higher at higher water temperatures, thus further corroborating the influence of climate on fish indices. Furthermore, Oliveira and Val (2017) compared the growth of tambaqui fish (*Colossoma macropomum*) and the effects of three climate scenarios predicted by the Intergovernmental Panel on Climate Change for 2100 and reported that such variations not only increased feed intake but negatively influenced fish growth, and a 30-day acclimatization period was necessary to recover blood parameters. Moreover, CCI and KI are widely used parameters in small ruminant production, although the present study is the first to report such facts in fish and, even more, in pirarucu. Measuring the compactness index of the carcass and blanket of *A. gigas* shows the amount of muscle and fat tissue per unit of length (kg cm^{-1}), demonstrating whether or not there was a better distribution at the evaluated site and helping separate matrices to improve carcass yield (Osório, 1998).

When assessing the CCI of lambs fed with different supplements, Moura et al. (2020) and Souza et al. (2020) found CCI values of 0.2 kg cm^{-1} and 0.20 , 0.25 , and 0.27 kg cm^{-1} , respectively. In

this context, given the extensive length of the pirarucu and the lack of research using CCI in fish, we decided to compare the CCI data of lambs aforementioned to pirarucu. For this, it was necessary to compare the CCI of 30-month-old pirarucu and adjust the denominator to be 58.24 and 57.63% less than Moura et al. (2020) and Souza et al. (2020), respectively, which equals 0.292 and 0.288 kg cm⁻¹, thus illustrating the promising CCI that this aquatic species has to offer.

Conclusions

1. Pirarucu has elevated industrial yield, especially at 24 and 25 months of age, revealing blanket yield values above 65.0%, as well as good carcass and blanket compactness indices and high Kleiber Index values demonstrating that it even needs low energy for body maintenance and, thus, to obtain its growth without an increase in energy cost.
2. Even though the pirarucu is a teleost fish whose morphological structure includes a protruding head that ends up influencing the biometric indices, this portion of the body showed less influence on the yield indices when compared to literature data.
3. The pirarucu raised in captivity in the Brazilian Amazon showed that the climate had little influence on biometric indices, however, the dry season containing 24-month-old animals had a slight improvement in its indices compared to carcass yield and compaction index of the blanket.
4. Biometric indices were influenced by the advancing age of the animals, and the lower the age, the better the Kleiber index and the worse the total length and its correlation with the other indices.

Acknowledgments

To the Longo Fish farming for the partnership and availability of raw material. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Finance Code 001 as well as the Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso by the notice 36/2017. Mariane Bittencourt Fagundes by the significant assistance in the statistical analysis of data and to PhD. Professor Renius de Oliveira Mello for directing and teaching us how to work with some biometric indices used in the article.

References

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ANDERSON, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, n. 1, p. 32-46, 2001. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x
- ARCHER, J.A.; RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 147-161, 1999. DOI: 10.1071/A98075
- BEZERRA, R.F.; SOARES, M.C.F.; SANTOS, A.J.G.; MACIEL CARVALHO, E.V.; COELHO, L.C.B.B. Secondary indicators of seasonal stress in the amazonian pirarucu fish (*Arapaima gigas*). In: Daniels, J.A. (Ed.). **Advances in Environmental Research**. New York: Science Publishers, 2013. Vol. 28. pp. 233–244.
- BITTENCOURT ROSA, D.; SOUSA, R.R.; NASCIMENTO, L.A.; TOLEDO, L.G.; QUEIROZ TOPANOTTI, D.; NASCIMENTO, J.A. A distribuição espacial das chuvas na porção

Centro-oeste do estado de Mato Grosso-Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, v. 1, n. 5, p. 127-150, 2015.

CARVALHO, A.; LOPES, A.L.; DELLOVA, D.; FRANÇA, D.; DIAS, I.; VILLA REAL, J.; LINO, J.; ALBUQUERQUE, L.; SANTOS, P.; IGLESIAS, R.; VIEIRA, R. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2020.

FOGAÇA, S.H.F.; OLIVEIRA, G.E.; CARVALHO, Q.E.S.; SANTOS, S.J.F. Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 95-99, 2011. DOI: 10.4025/actascianimsci.v33i1.10843

HEADY, H.F. **Rangeland management**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1975.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal – 2019**. Produção Pecuária Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Vol. 46.

IMBIRIBA, E.P.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B.; CARVALHO, L.O.D.M.; ULIANA, D.; BRITO FILHO, L. **Criação de pirarucu**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. (Coleção Criar 2).

JESUS, R. S. Progressos na tecnologia de utilização de produtos pesqueiros na Amazônia brasileira. In: II Enaq - Encontro de Negócios da Aquicultura da Amazônia, 2., Manaus, 2008.

Anais. Manaus: Associação Brasileira de Aquicultura, 2008. Available at: <http://www.suframa.gov.br/fiam/seminarios/5/2_enaq.pdf>. Accessed on: Apr. 24 2020.

KLEIBER, M. Problems involved in breeding for efficiency of food utilization. **American Society of Animal Production**, v. 29, p. 247-58, 1936. DOI:10.2527/JAS1936.1936B1247X

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E.D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, v. 129, p. 271-280, 2001. DOI: 10.1007/s004420100716

LUXINGER, A.O.; CAVALI, J.; PORTO, M.O.; SALES-NETO, H.M.; LAGO, A.A.; FREITAS, R.T.F. Morphometric measurements applied in the evaluation of *Arapaima gigas*

body components. **Aquaculture**, v. 489, n. 20, p. 80-84, 2018. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.01.044

MAIRESSE, G.; THOMAS, M.; GARDEUR, J-N.; BRUN-BELLUT, J. Appearance and technological characteristics in wild and reared Eurasian perch, *Perca fluviatilis* (L.). **Aquaculture**, v. 246, p. 295-311, 2005. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.09.023

MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 651-656, 2017. DOI: 10.1590/1678-457x.30116

MEDEIROS, F. Tilápia lidera e Brasil produziu 758 mil toneladas em 2019. In: CARVALHO, A.; LOPES, A. L.; DELLOVA, D.; FRANÇA, D.; DIAS, I.; VILLA REAL, J.; LINO, J.; ALBUQUERQUE, L.; SANTOS, P.; IGLESIAS, R.; VIEIRA, R. (Eds.). **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2020. pp. 4.

MOURA, M. S. C.; GUIM, A.; BATISTA, A. M. V.; MACIEL, M. V.; CARDOSO, D. B.; LIMA JÚNIOR, D. M.; CARVALHO, F. F. R. The inclusion of spineless cactus in the diet of lambs increases fattening of the carcass. **Meat Science**, v. 160, 107975, 2020. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.107975

NUNES, E. S. C. **Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas* Schinz, 1822) salgado seco comercializado na cidade de Belém, Pará**. 2011. 79p. Tese (Doutorado) -Universidade Federal Fluminense, Niterói.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; McGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. 2019. **Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-6**. Available at: <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>. Accessed on: Apr. 24 2020.

OLIVEIRA, P. R.; JESUS, R. S.; BATISTA, G. M.; LESSI, E. Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 1, p. 67-74, 2014. DOI: 10.1590/bjft.2014.010

OLIVEIRA, A. M.; VAL, A. L. Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiformes: Serrasalminidae). **Hydrobiologia**, v. 789, n. 1, p. 167-178, 2017. DOI: 10.1007/s10750-016-2926-0

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. S.; OLIVEIRA, V. Q.; MESQUITA, P. E. C.; MORAES, M. G.; SOUSA, R. R.; GOMES, I. G. R. F.; ALBUQUERQUE, L. F. G.; ROCHA, I. R. C. B.; COSTA, F. H. F. Influence of stocking density on water quality and growth performance in production of juvenile pirarucu, *Arapaima gigas*, in irrigation canals. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 8725-8743, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n2-255

OSÓRIO, J. C. S.; ASTIZ, C. S.; OSÓRIO, M. T. M. **Produção de carne ovina alternativa para o Rio Grande do Sul**. Pelotas: Editora da UFPel, 1998.

PINHEIRO, L. M. **Efeito do peso no rendimento do processamento do pirarucu (*Arapaima gigas*): viabilidade comercial para a indústria**. 2014. 54p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Rondônia, Presidente Médici.

QUINN, G.; KEOUGH, M. J. **Experimental design and data analysis for biologists**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna/Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Available at: <<https://www.R-project.org/>>. Accessed on: Apr. 24 2020.

SEERING, A. S. 2014. **Panorama da industrialização do pescado – Mar & Terra**. Available at: <<http://www.ptdocz.com/586772/pirarucu---sebrae>>. Accessed on: Jul. 10 2018.

- SILVA, L. G.; FERREIRA, L. A. S.; RIBEIRO, I. A.; RIBEIRO, C. F. A.; SILVA, J. T. M.; SANTOS, L. F. C. Caracterização do cultivo de pirarucu no município de conceição do Araguaia – estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 8, n. 15, p. 56-59, 202.
- SOUZA, A. F. N.; ARAÚJO, G. G. L.; SANTOS, E. M.; AZEVEDO, P. S.; OLIVEIRA, J. S.; PERAZZO, A. F.; PINHO, R. M. A.; ZANINE, A. M. Carcass traits and meat quality of lambs fed with cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) silage and subjected to an intermittent water supply. **PLOS ONE**, v. 15, n. 4, e0231191, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0231191
- TRES, A.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T.; MENGATTO, A. P. R. Classificação do estado de Mato Grosso segundo sistema de zonas de vida de Holdridge. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 329-343, 2016.

3.3 CHARACTERIZATION OF THE INFLUENCE OF PIRARUCU AGE AND WEIGHT ON THEIR PHYSICOCHEMICAL COMPOSITION

Journal of Food Composition and Analysis

Volume 104, December 2021, 104172

Original Research Article

Characterization of the influence of pirarucu age and weight on their physicochemical composition

Krishna Rodrigues de Rosa ^{a,*}, Alessandra Almeida da Silva ^b, Wander Miguel de Barros ^b, Anaqueli Lucia Pedroso ^c, Maria Fernanda Evelin Ferreira ^c, Luciana Kimie Savay-da-Silva ^c, Lucia Aparecida de Fátima Mateus ^c, Mariane Bittencourt Fagundes ^a, Roger Wagner ^a, Ernesto Hashime Kubota ^a

^a Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil

^b Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso Campus Bela Vista, Cuiabá, Brazil

^c Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, Brazil

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of age and weight on the physicochemical characteristics of captive-bred pirarucu blankets. Four harvest operations were conducted in two tanks; five specimens were obtained per harvest per tank, and the animals were 18, 24, 25, and 30 months old. The animals were slaughtered and processed in a local slaughterhouse, and the blankets cut were characterized in terms of proximate composition, instrumental color, fatty

acid profile, and lipid nutritional quality indices. The data analyzed for proximate composition were higher at younger ages, whereas the peak occurred at 25 months for lipid content (2.19 %). The major fatty acids were C18:1n-9cis (33.53–36.72 %), C16:0 (22.79–26.01 %), C18:2n-6cis (18.25–19.52 %), and C18:0 (10.65–14.62 %), and the fatty acid profile decreased the older the animals were except for C17:0, C18:0, C20:1n-9cis, saturated fatty acids, and thrombogenicity index. The physicochemical characteristics differed in the different ages and weights. Moreover, there was only a high correlation between fatty acid profile and age. It was possible to conclude that the age of 24 months with live weight of ~ 10 kg was the most suitable given this was the change threshold observed in this study.

KEYWORDS

Arapaima gigas; native fish; blanket; proximate composition; color; fatty acid profile; lipid nutritional quality indices

1. Introduction

Brazil is the 13th largest aquaculture producer (605,000 tons) and the 8th in marine aquaculture production (528,100 tons), being the leading producers China, India, and Indonesia, respectively. However, the average consumption per capita in Brazil is below the world average (20.3 kg/hab/year) at just 10.5 kg/hab/year (FAO, 2020).

Medeiros (2020) reported that native fish represented 38 % of the total production in Brazilian aquaculture in 2019 (758,006 tons), being Rondônia, Mato Grosso, Maranhão, Pará, and Amazonas the states that most produced this type of fish. Moreover, Mato Grosso produced 3100 tons of tilapia (*Oreochromis niloticus*), 46,280 tons of native fish, and 20 tons of other types of fish in 6668 fish farms, of which 249 were focused on pirarucu production (Carvalho et al., 2020). According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), 1,838 tons of

pirarucu were produced via aquaculture in 2018, generating over \$USD 4,481,157.00 (IBGE/PPM, 2018).

The pirarucu (*Arapaima gigas*) is a native Amazon species with significant aquaculture potential given its accelerated growth (10–12 kg per year of cultivation), surpassing the growth of the tilapia by 500 %, which is the most commonly produced species in Brazil. Furthermore, this ancient species is known for its high ammonia tolerance because of its pulmonary respiration and high carcass (60 %) and fillet yields (45 %) that are highly coveted in local cuisine given the quality, mild flavor, light color, meat texture, and bone-free fillet (Lima et al., 2017).

Several factors, directly and indirectly, influence the chemical composition of pirarucu, including intrinsic factors such as genetics, morphology, physiology, age, and bodyweight. Extrinsic factors include climatic factors, fish diet, production water quality, health, among others (Gunter et al., 2005; Zhu et al., 2005).

Therefore, given the need to provide a high-quality product that complies with food safety standards, *A. gigas* must be characterized according to its sensory attributes, proximate composition, and freshness to guarantee safe consumption (Chytiri et al., 2004).

This characterization is of paramount importance considering the lack of scientific data on fresh pirarucu, fishing being tightly regulated by public authorities, and scarcity of licensed aquaculture farms in Brazil. At the same time, environmental, sanitary, and water laws still hamper the growth of fish farming (Carvalho et al., 2020), in addition to most results being obtained from research based on clandestinely obtained dry-salted fish sold at local public markets and supermarkets (Nunes et al., 2012).

Studies developing products based on fish as raw material are widespread in the literature, and some authors have recently described pirarucu-based products, including canned and smoked goods (Bemvindo, 2017) and hamburgers and fresh sausage (Rosa et al., 2020). However, little

is known about the characteristics of these raw materials, which may lead to technological loss due to the lack of standardization and directly interfering with industrial processing activities at a large scale. Thus, this experiment aimed to evaluate the influence of age and weight on the physicochemical characteristics of captive-bred pirarucu blankets.

2. Materials and methods

2.1. Obtaining the raw material

The pirarucu (*Arapaima gigas*) were acquired from a commercial fish farm in Peixoto de Azevedo (Mato Grosso State, Brazil) (10°14'17" S, 54°56'1" W) and used as raw material. Four harvesting operations were carried out in two cultivation tanks in which five specimens/tank/harvest were collected (N = 5 animals per collection, totalling N = 20 animals). The collected animals were 18, 24, 25, and 30 months old.

Cultivation was carried out in excavated tanks: 6525 m² (45 m wide, 145 m long, and 2 m deep in the renewal water inlet area and 3.5 m in the deepest area) and 17,980 m³ of water, with renewal. Cultivation was identical for all fish from spawning to slaughter. Fish were fed in the morning with 85.0 g/kg of live weight with dry artificial feed specific for fattening carnivorous fish. Trawls were used for fishing and the fish were immediately taken to the local slaughterhouse with a municipal inspection seal (MIS). The animals were then stunned by hypothermia, bled by gill cutting, and processed to obtain the blankets (Fig. 1). The blankets were placed in transparent polyethylene packaging suitable for food packaging and vacuum-sealed in an industrial table top sealer (R. Baião, MG, BR). The packages were then packed in a polystyrene box with ice (± 4 °C) and sent to the Meat, Fish, and Derivatives Technology Laboratory (LabCarPesc) of the Faculty of Nutrition at the Federal University of Mato Grosso and stored in a cold chamber at 4 °C until laboratory tests.

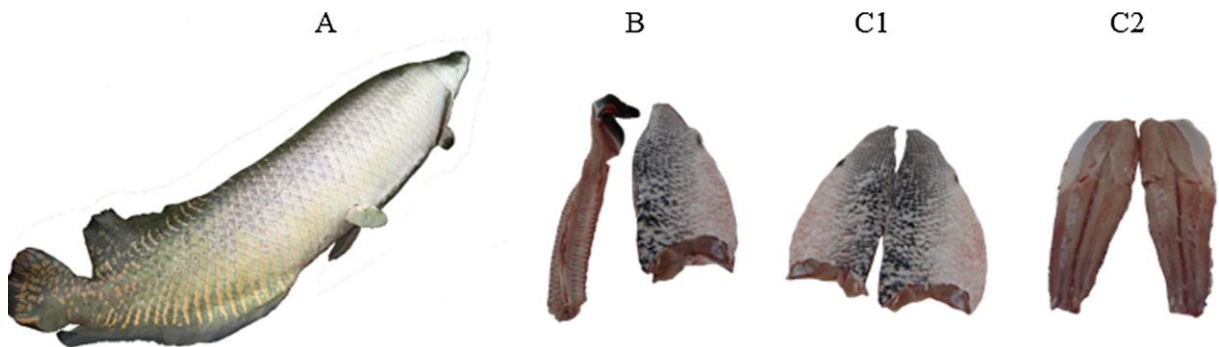


Fig. 1. *Arapaima gigas* processing into blankets. (A) pirarucu after harvesting; (B) pirarucu blankets and spinal cord; (C1 and C2) pirarucu blanket to be analyzed.

2.1.1. Instrumental color of the pirarucu blanket

The colorimetric analysis of the blankets was performed using a CR-400 colorimeter (Konica Minolta, Sensing Americas, BR) to measure the L^* , a^* , and b^* in accordance with the CIELab system. Measurements were performed in triplicate at three different spots per blanket: cranial, medial, and caudal ($N = 6/\text{blanket}$). Afterward, the blankets were cut and sent for physicochemical analysis.

2.1.2. Proximate composition and caloric value analysis of the pirarucu blanket and administered feed

The proximate composition was performed using the analytical procedures describe in (BRASIL, 2011). Protein analysis was performed by the micro-Kjeldahl method using a Toth digestion rack and distillation unit (models 2350.40 and 4250.2, respectively, Piracicaba, SP, BR) and had a conversion factor of 6.25. Moisture was assessed by placing the pirarucu blankets in a Solab oven at $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (model SL-120, Piracicaba, SP, BR). Ashes were obtained by incineration at $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ in an SP Labor muffle (model SP1200DM, Presidente Prudente, SP, BR), and total lipids were acquired in a Soxhlet apparatus (model 044/8/50, Piracicaba, SP, BR) using

petroleum ether as the extraction solvent. Data for the carbohydrate content were obtained by calculating the difference as described by Brasil (2003), where carbohydrate = 100 - (lipids + proteins + moisture + ashes). The caloric values were obtained by the conversion factors, as mentioned by Brasil (2001), and the samples were weighed on a semi-analytical scale (Edutec model JKI, Curitiba, PR, BR). Experiments were performed in triplicate for the blankets, while three fattening feed samples of the same batch were evaluated.

2.1.3. Fatty acid profile

In order to quantitatively determine the fatty acid profile, a cold extraction of the lipids was performed (Folch et al., 1957). Then, the fatty acid methyl esters (FAMES) were prepared by methylating triacylglycerol lipids according to the method proposed by Hartman and Lago (1973). Then, 0.02 g of fish oil was added to 1 mL of KOH 0.4 mol/L in methanol. The mixture was placed in a water bath at 100 °C for 10 min, 3.0 mL of an H₂SO₄ methanol solution (1 mol/L) was added, and the mixture was shaken in a vortex and maintained in a water bath for 10 min at boiling point. Next, 2 mL of hexane was added and the organic phase was collected and submitted to gas chromatography analysis. The FAMES were injected into a gas chromatography (Variant Star, 3400CX, Palo Alto, CA, USA) equipped with a flame ionization detector, and 1 µL of the sample was injected in a split/splitless injector (ratio 20:1). The separation was done in a gas chromatography column (DB-WAX, J & W Scientific Incorporated, Folson, CA, USA) (30 m × 0.25 mm; 0.25 µm of thickness film). The oven temperature began at 50 °C for 0.5 min, then increased to 180 °C at 15 °C/min, followed by increasing to 220 °C at 2 °C/min until 230 °C, increasing 20 °C/min, and maintained for 3 min under isothermal conditions. The detector temperature was set to 230 °C. The FAME retention time was identified by comparing

with FAME Mix 37 standards (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). For fatty acid identification, FAME retention times were compared with FAME standards, and the data were expressed in their normalized area.

2.1.4. Lipid nutritional quality indices (NQI)

The nutritional quality of the *A. gigas* blankets was determined according to the atherogenicity index (AI), thrombogenicity index (TI), and hypocholesterolemic / hypercholesterolemic ratio (H/H). The AI and TI were performed following Ulbricht and Southgate (1991) with slight modifications as described by Canto et al. (2015), while the H/H according to Santos-Silva et al. (2002) using the following calculations (1):

$$\text{AI} = (\text{C12:0} + 4 \times \text{C14:0} + \text{C16:0}) / (\text{MUFA} + \text{n-6} + \text{n-3}) \quad \text{TI} = (\text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0}) / (0.5 \times \text{MUFA} + 0.5 \times \text{n-6} + 3 \times \text{n-3} + 100 \times \text{n-3} / \text{n-6})$$

$$\text{H/H} = (\text{C18:1n-cis9} + \text{C18:2n-6} + \text{C20:4n-6} + \text{C18:3n-3} + \text{C20:5n-3} + \text{C22:6n-3}) / (\text{C14:0} + \text{C16:0}) \quad (1)$$

2.2. Statistical analysis

The proximate composition, caloric values, color parameters, fatty acid profile, and lipid nutritional quality index datasets obtained by the pre-treatment screening were evaluated using one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post hoc analysis. Trends were only considered significant when the means were different. Residual normality was verified using the Shapiro-Wilk test.

For the physicochemical, proximate and fatty acid profile characterization of the pirarucu blanket, the data matrix was divided into two parts: one with the data on the proximate composition (moisture, ash, protein, lipid, carbohydrates), caloric value and color data (scale L*, a* and b*) and another with the fatty acid profile and lipid nutritional quality indices. Afterward, the pattern of proximate composition/color and fatty acid profile of the blankets were evaluated using

multivariate analysis techniques based on the similarity between the objects (blankets) and attributes (variables) through principal coordinate analysis (PCoA). To generate the similarity matrix (one for proximate composition and color and another for the fatty acid profile), the variables were transformed using the chi-square method (Legendre and Gallagher, 2001). The transformation is necessary, as the scale of variation of the measures is different, and those with greater variation could determine the pattern, if an a priori transformation is not made. Then the Euclidean distance was used as a similarity index. To graphically represent the generated pattern, the PCoA technique was used in two dimensions (axes), and the correlation between the PCoA axes and the variables was estimated to assess which variables most contributed to the formation of the axes. Absolute values greater than 0.70 were of significant contribution. Additionally, for the same variables, Pearson's correlation coefficient (r) was estimated between the individuals' age and weight with the proximate composition pattern (PCoA axis 1) and color of the blankets (PCoA axis 1) to determine which factors had the highest correlation with the pattern found. The pirarucu blanket fatty acid profile was estimated by Pearson's correlation coefficient (r) according to the age of the individuals since the material used was a pool referring to each harvest and because it was not possible to identify the blankets by the specimen. All analyses were performed in the R environment (R Core Team, 2019) and using the vegan package (Oksanen et al., 2019). The level of significance was 0.05.

3. Results and discussion

3.1. Proximate composition and caloric value of the feed

The results obtained for the proximate composition and caloric values of the feed used in the experiment are shown in Table 1. During the collection periods, the animals received a fattening

feed. The average protein and lipid values indicated that the amount informed on the commercial label of the feed was higher than the actual values measured. The values found in the laboratory for protein and lipid content were 27.56 and 84.17 % lower than on the label, respectively.

Table 1. Analysis of proximate composition (mean values \pm standard deviations) of the diet provided to the pirarucu (*A. gigas*) during the experiment.

Analysis	Fattening feed	
	Sample	Label
Moisture (%)	8.60 \pm 0.009	max. 10.0
Ashes (%)	9.55 \pm 0.254	max. 13.0
Protein (%)	38.15 \pm 0.191	min. 40.0
Lipids (%)	3.89 \pm 0.034	min. 10.0
Carbohydrates (%)	39.80 \pm 0.355	ND
Caloric value (kcal)	346.86 \pm 1.152	ND

ND = not determined.

The pirarucu is a carnivorous fish that requires a high protein diet (Kubitza, 2003), given that diets with low energy to protein ratio induce fish to use more ingested protein for energy, affecting zootechnical performance and causing economic loss (Skalli et al., 2004). Therefore, the feed protein concentration usually supplied to pirarucu is between 40 and 45 % (Pedroza Filho et al., 2016), which was not confirmed in this study. This underlines the importance of an adequate nutritional balance in the feed to achieve good zootechnical growth and decrease production costs.

According to Turco et al. (2014), despite the significant water potential of Brazil, feed cost substantially influence the production costs of fish farms and may vary from 40 to 60 % (Scorvo Filho et al., 2010) or between 50–55 % (Kubitza, 2004) of total expenditures. Moreover, the Brazilian Agricultural Research Corporation reported that feed-related costs may even reach 70–80% of total costs (EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2016). This

fact is one of the greatest obstacles to advancing aquaculture production in Brazil, especially aquaculture of native fish, where most producers are small and medium-sized.

3.2. Proximate composition, caloric values, and quality of the pirarucu blanket

The weight gain, proximate composition, and caloric values of the pirarucu blankets are listed in Table 2. The average weight of the animals increased as they aged, starting at 7.69 and reaching 15.67 kg of whole weight; this condition is supported by Bard and Imbiriba (1986), who described the pirarucu as a species with a high growth rate, exhibiting good musculature at one year of age and being 1.50 m long.

Table 2. Results of the proximate composition for a pirarucu blanket from (*A. gigas*) produced in captivity. Results expressed as mean \pm standard deviation.

Analysis	Age			
	18 months	24 months	25 months	30 months
Whole weight (kg)	7.69 \pm 1.78 ^b	11.99 \pm 1.03 ^{ab}	13.80 \pm 4.55 ^a	15.67 \pm 2.00 ^a
Moisture (%)	80.26 \pm 0.42 ^a	80.93 \pm 1.41 ^a	76.87 \pm 1.25 ^b	77.34 \pm 1.12 ^b
Ashes (%)	0.67 \pm 0.02 ^b	0.70 \pm 0.05 ^b	0.85 \pm 0.07 ^a	0.78 \pm 0.03 ^a
Protein (%)	14.26 \pm 0.51 ^b	13.52 \pm 1.20 ^b	18.53 \pm 1.46 ^a	18.11 \pm 0.66 ^a
Lipids (%)	1.16 \pm 0.24 ^{bc}	1.18 \pm 0.11 ^{ab}	2.19 \pm 0.86 ^a	0.69 \pm 0.14 ^c
Carbohydrates (%)	3.59 \pm 0.55 ^a	3.42 \pm 0.91 ^a	1.96 \pm 1.30 ^b	3.41 \pm 1.25 ^a
Caloric value (kcal)	81.57 \pm 3.71 ^c	81.74 \pm 5.33 ^c	100.27 \pm 11.91 ^a	91.29 \pm 2.40 ^b

Values in the same line followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$).

In the proximate composition, samples referring to 18 and 24 months of age showed no significant differences ($p < 0.05$), which was also observed between 25 and 30 months except for the average lipid content, showing a large variation among treatments, especially regarding 25- and 30-months-old animals. Higher protein, ash, and caloric values were also noted for 25- and 30-month-old fish. Nevertheless, higher moisture and carbohydrate values were observed in 18- and 24-month-old animals.

There are few studies on the proximate characterization of fresh pirarucu, being the most notable about pirarucu fillet (Gonzaga Júnior, 2010; Fogaça et al., 2011; Santos et al., 2018), loin, fillet mignon, tail fillet and blanket (Dantas Filho et al., 2021), dorsal, ventral, belly and tail cuts (Pino-Hernández et al., 2020), dorsal and ventral regions (Oliveira et al., 2014), and cross-section (Martins et al., 2015).

Among these authors, only Fogaça et al. (2011) and Oliveira et al. (2014) described the age of the animals, being 18 and 12 months old, respectively. Moreover, comparing what was found by Fogaça et al. (2011) at the same age, 18 months, none of the values observed were similar to this study. In contrast, we found similar data to Oliveira et al. (2014) for the moisture of the dorsal region (79.51 % for 18 and 24 months), lipids and ash (0.62 and 0.87 % for 25 and 30 months), and the belly region for moisture and ash (77.88 and 0.84 % for 25 and 30 months). However, relating the proximate composition of the animals given their weight, the moisture and protein content corroborate (Dantas Filho et al., 2021), especially for 25-month-old animals (76.62 and 19.79 %) and moisture with 30-month-old animals (76.10 %), (Fogaça et al., 2011) for moisture and protein values for 25-month-old animals (77.96 and 19.97 %) and lipids for 30-month-old animals (0.64 %), and (Pino-Hernández et al., 2020) for moisture, protein and caloric values with 25-month-old animals (76.18 %, 19.25 % and 98.24 kcal). While even without a description of the age and weight of the animals, Gonzaga Júnior (2010) reported similar values for moisture at 30 months (77.36 %); (Martins et al., 2015) for moisture, lipids, and ash at 25 months (75.53, 2.60, and 0.86 %), (Santos et al., 2018) for lipids, carbohydrates, and caloric values of the cranial region of the fillet with 25 months (1.11 %, 1.55 %, and 95.32 kcal) and moisture with 30 months (78.26 %), moisture and caloric values of the medial and caudal regions of the fillet with 25 months (76.19 % and 119.01 kcal; 76.52 % and 117.47 kcal). The lack of correspondence may be due to the type of breeding, place of breeding influenced by

climate and water quality, source of capture, diet, type of cut, age, sex, and weight of the animals (Yeannes and Almandos, 2003).

In general, white and bright freshwater fish meat is usually highly coveted and the first parameter to be noted by consumers (Knowles et al., 2008). Therefore, when it comes to color analysis, given their large size, each blanket was described as displaying a cranial, medial, and caudal portion in order to reduce error deviations (Table 3).

Table 3. Results for color analysis of the cranial, medial and caudal portions of the pirarucu blanket (*A. gigas*) produced in captivity. Results expressed as mean \pm standard deviation.

Analysis	Age				
	18 months	24 months	25 months	30 months	
L*	Cranial	43.47 \pm 2.345 ^b	54.61 \pm 6.208 ^a	50.31 \pm 2.933 ^{ab}	53.31 \pm 2.401 ^a
	Medial	42.43 \pm 1.887 ^b	54.65 \pm 6.211 ^a	49.81 \pm 3.632 ^a	54.45 \pm 2.686 ^a
	Caudal	42.35 \pm 1.315 ^c	61.75 \pm 9.095 ^a	52.75 \pm 2.542 ^b	56.78 \pm 1.409 ^{ab}
a*	Cranial	1.62 \pm 0.420 ^b	6.90 \pm 1.870 ^a	5.67 \pm 2.326 ^a	1.37 \pm 0.740 ^b
	Medial	1.68 \pm 0.445 ^b	5.56 \pm 2.023 ^a	7.02 \pm 2.311 ^a	1.96 \pm 0.946 ^b
	Caudal	3.47 \pm 0.938 ^{ab}	5.10 \pm 1.704 ^{ab}	6.29 \pm 2.663 ^a	2.52 \pm 0.789 ^b
b*	Cranial	0.96 \pm 0.719 ^{ab}	2.64 \pm 1.298 ^a	2.83 \pm 1.477 ^a	0.68 \pm 0.391 ^b
	Medial	0.44 \pm 0.275 ^b	3.90 \pm 1.167 ^a	3.57 \pm 0.711 ^a	1.55 \pm 1.248 ^b
	Caudal	1.02 \pm 0.434 ^b	3.27 \pm 1.398 ^a	3.54 \pm 1.077 ^a	2.35 \pm 1.216 ^{ab}
Chroma (C)	Cranial	1.54 \pm 0.721 ^b	7.56 \pm 1.046 ^a	5.26 \pm 3.226 ^a	2.53 \pm 2.779 ^b
	Medial	1.44 \pm 0.454 ^b	7.86 \pm 1.923 ^a	6.09 \pm 3.124 ^a	3.29 \pm 2.169 ^b
	Caudal	3.20 \pm 0.561 ^b	7.06 \pm 1.727 ^a	5.81 \pm 3.303 ^{ab}	3.98 \pm 1.406 ^b
Hue (h)	Cranial	24.33 \pm 17.533 ^a	24.41 \pm 13.655 ^a	24.26 \pm 4.483 ^a	22.30 \pm 14.766 ^a
	Medial	14.59 \pm 12.058 ^b	34.46 \pm 16.190 ^a	24.09 \pm 10.466 ^{ab}	37.50 \pm 14.196 ^a
	Caudal	13.61 \pm 7.056 ^b	31.31 \pm 14.935 ^{ab}	27.92 \pm 8.192 ^{ab}	45.81 \pm 5.405 ^a

Values in the same line followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$).

The cranial portion of the Hue factor (h) was the only parameter that did not show any statistical difference (Table 3). The L* parameter of the cranial, medial, and caudal portions and Hue (h) of the medial and caudal portions were lower at 18 months. Chroma (C) in the cranial, medial, and caudal portions were lower at 18 and 30 months, indicating a coloration with intensity from light pink to pale (Pino-Hernández et al., 2020), as confirmed by the values of the C* (1.44–

3.20; 2.53–3.98) and H° (13.61–24.33) parameters. In contrast, the results were opposite to each other for a^* and b^* , with a^* in the cranial and medial portions having higher values at 25 and 24 months and a lower flow rate at 30 months, while the highest cranial and medial portion values were at 30 months for b^* and the highest caudal values at 25 and 24 months.

Bekhit and Faustman (2005) described that these variations in color parameters are closely associated with the difference in the muscle fiber composition in each portion of the cut. The red fibers were also described as oxidative and are known to have higher monounsaturated fatty acid content (MUFA) than white glycolytic fibers, thus increasing b^* values (Masniyom et al., 2013; Utrera et al., 2014). Hence, the medial and caudal portions of the pirarucu blanket are mainly made up of red fibers, as also noted by Santos et al. (2018) for *A. gigas* filets with a cranial portion value of 8.62 ± 0.66 , medial portion of 9.37 ± 0.93 , and flow rate of 11.85 ± 1.13 for b^* . Pino-Hernández et al. (2020) had the highest value of b^* (21.68) for the ventral portion of pirarucu, despite being much higher than the values described herein.

In the instrumental color analysis, the L^* value relates to the brightness of the sample, which can vary from 100 to 0, characterizing white and black, respectively (Konica Minolta, 1998). According to the L^* value, the pirarucu blanket proved to be close to the middle (grey) indicating a reasonable amount of myoglobin (Mb) + hemoglobin (Hb) (Carvalho, 2015). We also noticed that as the age and size of the animals increased, the samples were lighter (higher L^* values), regardless of the portion analyzed.

The a^* coordinate defines the color tone and varies from red (+ a^*) to green (- a^*), and the b^* coordinate represents the color tone yellow (+ b^*) to blue (- b^*) (Alves et al., 2008). Hence, the positive a^* values obtained indicate a tendency towards red, even more so the negative b^* values (18 and 30 months at the cranial and medial portions) and positive b^* values (18 and 30 months at the caudal portion) indicate a significant variation in the color intensity between light

and dark yellow. These circumstances suggest that each section of the pirarucu blanket (cranial, medial, and caudal) has a unique peculiarity that must be studied individually and because 24 and 25 months of age maintained negative and positive b^* values, respectively, in all sections. Furthermore, different lipid concentrations may lead to this situation at each age and because the blanket cut is characterized by being a larger cut from which come the fillet, loin, and belly cuts.

Data on the physicochemical profile of pirarucu are scarce and contradictory. Therefore, for color parameters at the CIELab scale, (Honorato et al., 2015) described approximate values in L^* , a^* , and b^* for pirarucu fillet, whereas (Pino-Hernández et al., 2020) reported higher values in L^* (63.36 - 95.01), b^* (7.45 - 8.25), H° (130.89) and lower than those described in this study for a^* (-3.85 - (-5.48)), having similarity only in C^* (8.40) to the one verified in animals with 24 months of age. Gonzaga Júnior (2010) reported a value of 52.09 ± 0.73 for L^* (cranial section at 24, 25, and 30 months) and 1.05 ± 0.39 for b^* (medial section at 30 months). Santos et al. (2018) demonstrated that the medial portion of pirarucu fillet samples showed values similar to the cranial portion of 25-month-old fish (5.56 ± 0.52 in a^*) and the cranial portion of pirarucu fillet with the cranial portion at 24 months (6.10 ± 0.56 a^*). Furthermore, the importance of conducting more colorimetric studies to define quality standards in fish and its derivatives is notorious because this food group currently does not have scales of colorimetric variations mediated as quality limits, neither by literature nor Brazilian national (Rezende-de-Souza et al., 2020). As a major limiting factor for this is the existence of numerous commercialized fish species, this ends up making it difficult to establish a color standard for this raw material, as it would be necessary to consider the intrinsic characteristics of each species, as well as other

variables such as age, slaughter mode, weight, within others. However, these studies are essential, at least for the main species produced in aquaculture, which makes the data presented in this article a vital contribution to this.

3.3. Fatty acid profile and lipid nutritional quality indices

Fifteen fatty acids were identified in the pirarucu blanket cut with a predominance of SFA (40.14–44.10 %), MUFA (35.54–38.64 %), and PUFA (21.55–22.90 %), while the major fatty acids were oleic acid (33.53–36.72 %), palmitic acid (22.79–26.01 %), linoleic acid (18.25–19.52 %), and stearic acid (10.65–14.62 %) (Table 4). The profile of the major fatty acids reported herein is similar to different cuts of pirarucu described by Costa (2010), Cortegano et al. (2017), Martins et al. (2017), Coutinho et al. (2019), and Pino-Hernández et al. (2020); however, the order was not exactly the same.

Table 4. Results for the fatty acid profile and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket (*A. gigas*) produced in captivity. Results expressed as mean \pm standard deviation.

Analysis	Age			
	18 months	24 months	25 months	30 months
C12:0	ND	ND	ND	ND
C14:0	1.39 \pm 0.017 ^a	1.25 \pm 0.010 ^b	1.19 \pm 0.004 ^c	1.22 \pm 0.009 ^b
C15:0	3.46 \pm 0.189 ^a	3.16 \pm 0.089 ^a	2.56 \pm 0.039 ^b	2.53 \pm 0.097 ^b
C16:0	24.30 \pm 0.400 ^b	24.64 \pm 0.541 ^b	26.01 \pm 0.165 ^a	22.79 \pm 0.592 ^c
C16:1	1.87 \pm 0.106 ^a	1.77 \pm 0.041 ^{ab}	1.59 \pm 0.023 ^b	1.62 \pm 0.119 ^b
C17:0	0.15 \pm 0.005 ^b	0.21 \pm 0.003 ^a	0.22 \pm 0.004 ^a	0.22 \pm 0.004 ^a
C18:0	10.65 \pm 0.045 ^c	12.59 \pm 0.096 ^b	13.88 \pm 0.657 ^a	14.62 \pm 0.502 ^a
C18:1n-9 <i>cis</i>	35.07 \pm 0.126 ^{ab}	35.31 \pm 0.032 ^a	36.72 \pm 0.180 ^a	33.53 \pm 1.273 ^b
C18:2n-6 <i>cis</i>	19.25 \pm 0.848 ^a	18.59 \pm 0.649 ^a	19.52 \pm 0.407 ^a	18.25 \pm 0.313 ^a
C20:0	0.19 \pm 0.005 ^c	0.21 \pm 0.007 ^b	0.24 \pm 0.007 ^a	0.25 \pm 0.008 ^a
C18:3n-6	0.39 \pm 0.004 ^a	0.36 \pm 0.012 ^b	0.39 \pm 0.004 ^a	0.38 \pm 0.007 ^{ab}
C20:1n-9 <i>cis</i>	0.26 \pm 0.009 ^c	0.33 \pm 0.013 ^b	0.33 \pm 0.004 ^a	0.39 \pm 0.005 ^a
C18:3n-3	0.38 \pm 0.004 ^a	0.35 \pm 0.014 ^b	0.33 \pm 0.002 ^b	0.32 \pm 0.003 ^c
C20:3n-6	0.63 \pm 0.015 ^a	0.56 \pm 0.026 ^b	0.58 \pm 0.008 ^b	0.55 \pm 0.011 ^b

C20:4n-6	ND	ND	ND	ND
C20:5n-3	0.66 ± 0.003 ^{bc}	0.66 ± 0.006 ^b	0.64 ± 0.012 ^c	0.72 ± 0.011 ^a
C22:6n-3	1.60 ± 0.089 ^a	1.47 ± 0.065 ^{ab}	1.30 ± 0.015 ^c	1.33 ± 0.001 ^{bc}
SFA	40.14 ± 0.618 ^c	42.07 ± 0.389 ^b	44.10 ± 0.779 ^a	41.63 ± 0.668 ^{bc}
MUFA	37.20 ± 0.100 ^{ab}	37.42 ± 0.067 ^{ab}	38.64 ± 0.161 ^a	35.54 ± 1.163 ^b
PUFA	22.90 ± 0.797 ^a	21.99 ± 0.606 ^a	22.75 ± 0.424 ^a	21.55 ± 0.331 ^a
n-6	20.27 ± 0.860 ^a	19.51 ± 0.668 ^a	20.49 ± 0.404 ^a	19.18 ± 0.327 ^a
n-3	2.63 ± 0.086 ^a	2.48 ± 0.063 ^b	2.26 ± 0.001 ^c	2.37 ± 0.013 ^{bc}
PUFA/SFA	0.57 ± 0.028 ^a	0.52 ± 0.016 ^b	0.52 ± 0.003 ^b	0.52 ± 0.009 ^b
n-6/n-3	7.72 ± 0.535 ^b	7.87 ± 0.474 ^b	9.05 ± 0.106 ^a	8.11 ± 0.135 ^{ab}
n-3/n-6	0.13 ± 0.009 ^a	0.13 ± 0.007 ^a	0.11 ± 0.002 ^b	0.12 ± 0.002 ^{ab}
EPA+DHA	2.25 ± 0.090 ^a	2.13 ± 0.065 ^{ab}	1.93 ± 0.021 ^c	2.04 ± 0.010 ^{bc}
AI	0.50 ± 0.014 ^a	0.50 ± 0.011 ^a	0.50 ± 0.002 ^a	0.49 ± 0.018 ^a
TI	0.73 ± 0.004 ^c	0.79 ± 0.012 ^b	0.87 ± 0.014 ^a	0.83 ± 0.024 ^b
H/H	2.22 ± 0.069 ^a	2.18 ± 0.053 ^a	2.15 ± 0.006 ^a	2.26 ± 0.098 ^a

Values in the same line followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$); ND = Not detected; SFA = saturated fatty acids; MUFA = monounsaturated fatty acids; PUFA = polyunsaturated fatty acids; EPA = Eicosapentaenoic acid; DHA = Docosahexaenoic acid; AI = atherogenicity index; TI = thrombogenicity index; H/H = hypocholesterolemic / hypercholesterolemic.

A statistical difference was found for most of the analyzed fatty acids, and it was possible to verify a decrease in the fatty acid profile as animals got older except for C17:0, C18:0, C20:1n-9cis, SFA, and TI. In contrast, the nutritional lipid quality indices differed between ages regarding the parameters of SFA, MUFA, n-3, PUFA/SFA, n-6/n-3, n-3/n-6, EPA + DHA, and TI, but not for PUFA, n-6, AI, and H/H. (Savay-da-Silva (2015) determined the environmental parameters and their influence on the physicochemical characterization of cobia (*Rachycentron canadum*) from coastal fish farming in offshore and nearshore waters and noted that as the fish grew and gained weight, the values of LNA, EPA, DHA, myristic acid, palmitic acid, linoleic acid, oleic acid, and stearic acid increased. Despite n-6/n-3 ratio values (7.72–9.05 %) out of the recommended range for potentially healthy foods – n-6/n-3 ratio < 4.00 (Cortegano et al., 2017), the results obtained for PUFA/SFA (0.52–0.57 %), AI (0.49–0.50), TI (0.73–0.87), and

H/H (2.15–2.26) describe that the pirarucu blanket cut has a high quality lipid fraction (PUFA/SFA values > 0.45 , AI and TI < 1.0 , and H/H > 1.0) (DSSS. Departamento de Segurança Social e da Saúde. Department of Health and Social Security., 1994; Turan et al., 2007). Furthermore, Bentes et al. (2009) reported that low AI and TI values provide beneficial effects against coronary heart disease as they inhibit platelet aggregation (Ulbricht and Southgate, 1991; Tonial et al., 2010; Fernandes et al., 2014) suggested that high H/H ratio values improve cholesterol metabolism. The low EPA + DHA values found in the pirarucu blankets (1.93–2.25 %) contradict the data reported by Wang et al. (2010) and Pino-Hernández et al. (2020) in pirarucu fillet (8.6 and 15.37–21.10 %, respectively), who described that this cut is not a source of omega-3 fatty acids (WHO. World Health Organization, 2015). Nonetheless, Chang et al. (2005) reported that (PUFA + MUFA)/SFA ratio below 3 is a prerequisite for maintaining a low plasma and hepatic cholesterol concentration. In this sense, having observed values of 1.50, 1.41, 1.39, and 1.37 for 18-, 24-, 25- and 30-month-old animals, respectively, it is reiterated that *Arapaima gigas* is a raw material of good lipid quality, and increasing its consumption tends to provide consumers with numerous health benefits.

3.4. Result of the correlation analysis between age and weight

According to the literature, the chemical components that most vary in fish are protein (Rueda-López et al., 2011), lipids (López et al., 2009), and carbohydrates (Higgs et al., 2009). Proteins and lipids are conversely correlated, given that as fish age and weight increase, lipids levels increase and protein content decrease (Dumas et al., 2007).

In this study, we observed that the first two PCoA axes explained 89.5% of the variability for the fatty acid profile and lipid quality index, with axis 1 explaining 71.49% and axis 2 explaining 18.08%. Axis 1 separated the ages, showing that 24 months is an intermediate period in the

parameters analyzed, and above, there was a decrease in values with a negative correlation with axis 1, such as C15:0 and C22:6n-3 (Table 5 and Fig. 2).

Table 5. Correlations between PCoA axes 1 and 2 for the fatty acid profile and fatty lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket bred in captivity.

Analysis	Axes	
	PCoA1	PCoA2
C14:0	-0.85442	0.46042
C15:0	-0.96011	0.14008
C16:0	-0.39702	-0.67624
C16:1	-0.80919	0.40989
C17:0	0.87306	0.17224
C18:0	0.92251	0.35653
C18.:1n-9 <i>cis</i>	-0.64529	-0.49845
C18:3n-3	-0.91149	0.28527
C18:3n-6	-0.29000	0.57261
C20:0	0.91552	0.22335
C20:1n-9 <i>cis</i>	0.76124	0.53940
C20:3n-6	-0.78206	0.15158
C20:5n-3	0.08671	0.97805
C22:6n-3	-0.91334	0.32320
SFA	0.83224	0.21221
MUFA	-0.77525	-0.37424
n-3	-0.83106	0.52600
PUFA/SFA	-0.71900	0.41052
n-6/n-3	0.63570	-0.27379
n-3/n-6	-0.63080	0.64619
EPA + DHA	-0.80156	0.55302
TI	0.96297	0.13244

SFA = saturated fatty acids; MUFA = monounsaturated fatty acids; PUFA = polyunsaturated fatty acids; EPA = Eicosapentaenoic acid; DHA = Docosahexaenoic acid; TI = thrombogenicity index.

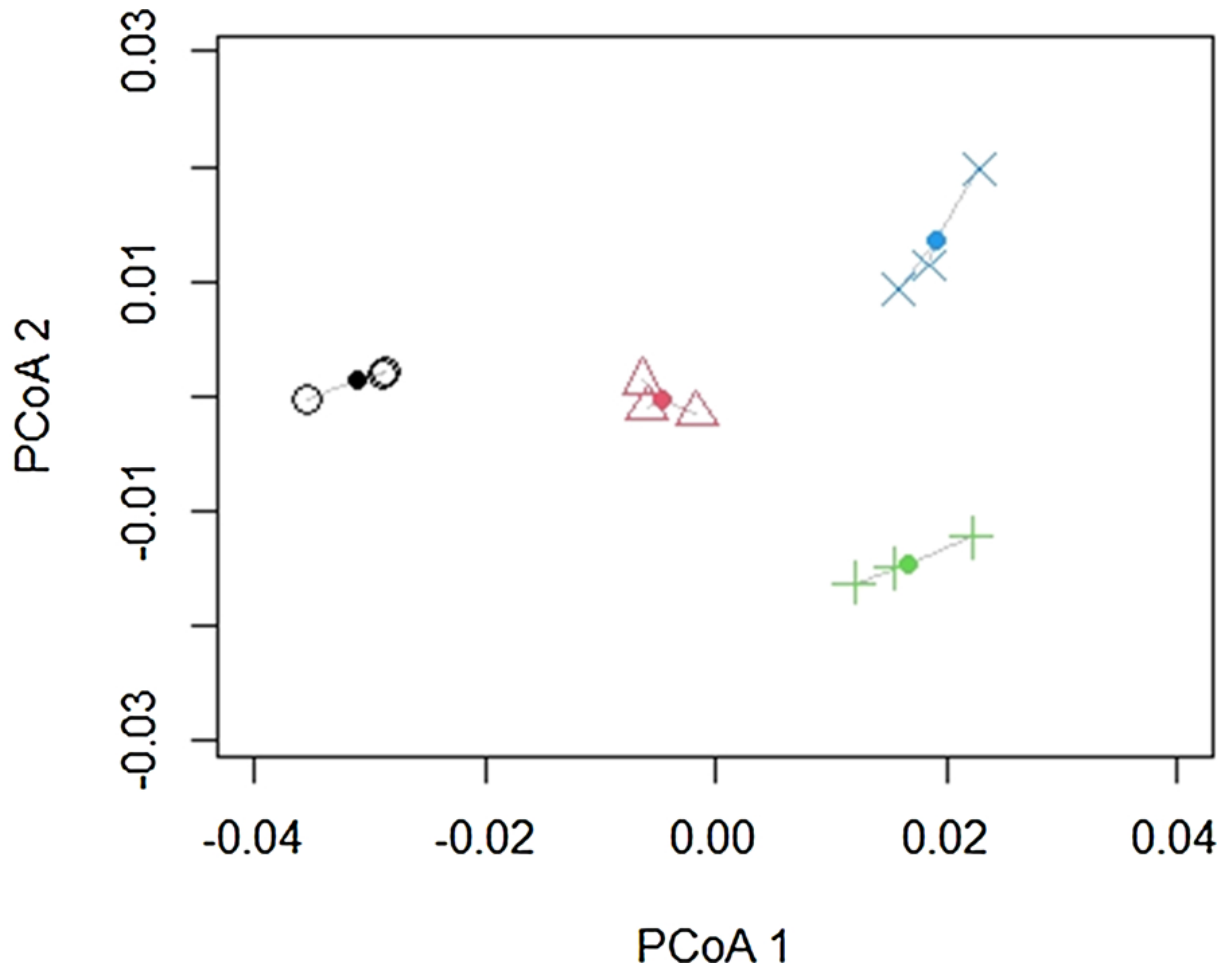


Fig. 2. Effects of the age of the animals and weight on the fatty acid profile and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket bred in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months).

Considering the proximate composition and color, the first two PCoA axes explained approximately 60 % of the variability. Axis 1 contributed with 41.13 % of the explanation and separated the age groups 18- and 25-month-old animals from the 24- and 30-month-old ones (Fig. 3). The correlations with axis 1 were high and negative for the parameters related to color, mainly a^* , b^* , and C, which implies that ages 18 and 25 months have higher values for the variables that showed a negative correlation with axis 1, while ages 24 and 30 months have lower values for those with a negative correlation with axis 1 (Table 6). The correlation for the analyses of proximate composition/color and fatty acid profile (axis 1 from PCoAs) in relation to age and weight

variation is shown in Table 7. No correlation between age and weight for composition e color was found. The correlation between fatty acid profile with age was high. There are few studies on correlations with fish age, although some authors have analyzed different fish weight classes; however, most studies are related to age correlation with zootechnical performance such as growth and weight gain (Fogaça et al., 2011; Pinheiro, 2014; Martins et al., 2017). The chemical composition and fatty acid profile were evaluated and revealed few similarities and divergences.

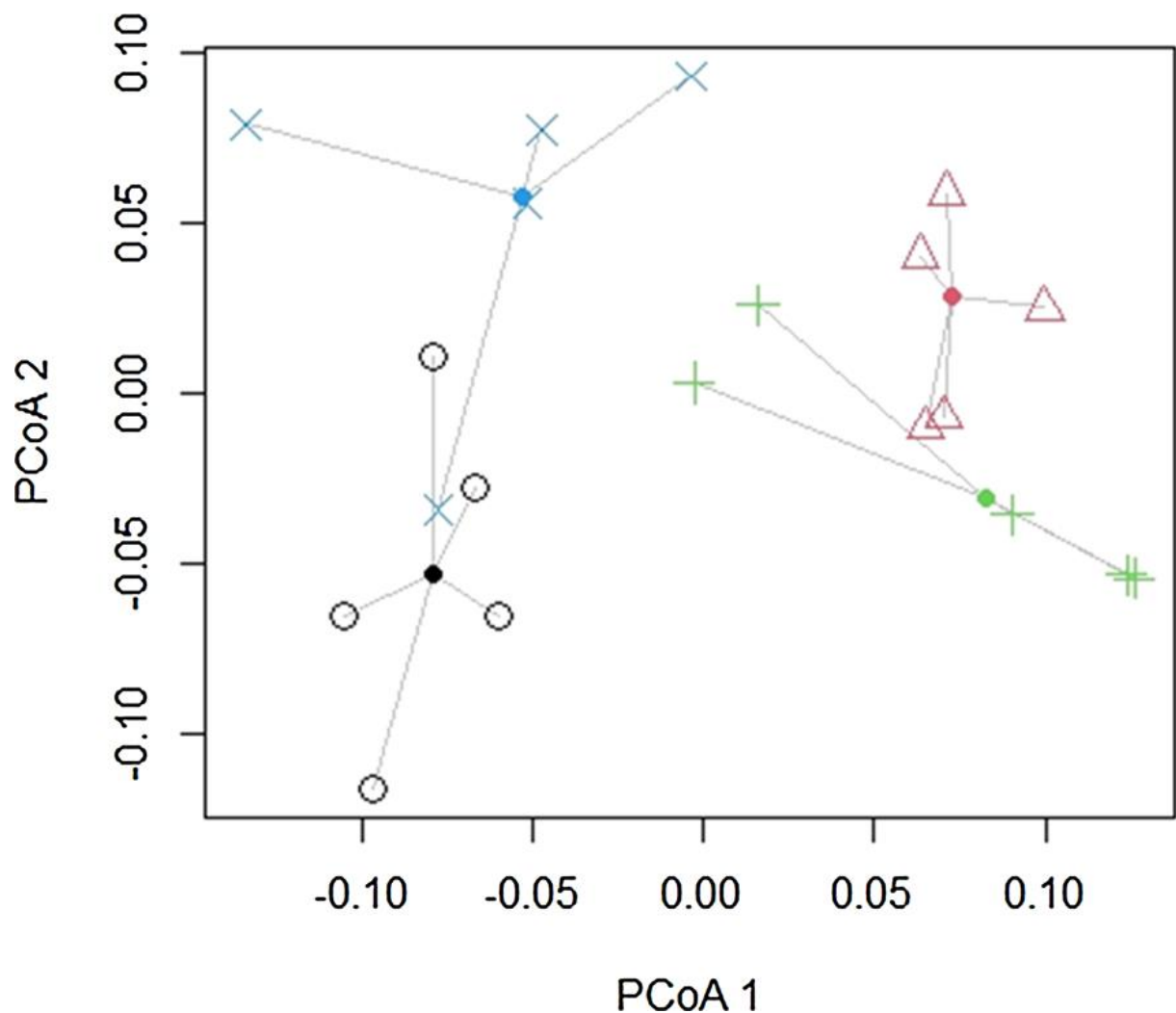


Fig. 3. Effects of the age of the animals and weight on the proximate composition and color analysis of the pirarucu blanket bred in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months).

Table 6. Correlations between PCoA axes 1 and 2 for the proximate composition and color analysis of the pirarucu blanket bred in captivity.

Analysis	Axes	
	PCoA1	PCoA2
Moisture	0.65231	-0.42146
Ashes	0.56619	-0.37454
Protein	0.60031	-0.20451
Lipids	-0.45772	-0.53201
Carbohydrates	0.34025	-0.21302
Caloric value	0.27346	-0.42001
L* Cranial	0.55450	-0.10850
L* Medial	0.50581	0.08339
L* Caudal	0.10522	0.19907
a* Cranial	-0.87956	-0.17911
a* Medial	-0.89040	-0.21484
a* Caudal	-0.68522	-0.58520
b* Cranial	-0.73790	-0.35443
b* Medial	-0.91181	0.20056
b* Caudal	-0.79801	0.29023
C Cranial	-0.89402	-0.22290
C Medial	-0.96381	-0.11837
C Caudal	-0.82202	-0.38601
h Medial	-0.29549	0.64589
h Caudal	-0.03516	0.85890

Table 7. The correlation between age and weight with the analyses of proximate composition, color, fatty acid profile, and lipid nutritional quality indices of the pirarucu blanket bred in an excavated tank.

Analysis	PCoA age	PCoA weight
Proximate composition + color	$r = -0.13, p = 0.58$	$r = -0.23, p = 0.33$
Fatty acid profile + lipid nutritional quality indices	$r = 0.91, p < 0.001$	ND

ND = Not determined.

Souza et al. (1999) evaluated African catfish carcasses (*Clarias gariepinus*), and Furuya et al. (2013) studied red-tailed lambari (*Astyanax fasciatus*), with both studies describing that the lighter animals had higher moisture and lower lipid content, in addition to higher palmitic acid

concentrations. Macedo-Viegas et al. (2000) examined matrinxã (*Brycon cephalus*) and found that the heavier animals had higher ash concentrations and a tendency for fat accumulation in larger fish. Souza et al. (2005) studied Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and demonstrated that the lighter fish exhibited higher moisture values and lower protein content.

Nevertheless, the same authors described different results, including the absence of a significant difference between the weight and values of moisture, protein, and lipids (Macedo-Viegas et al., 2000), lipids and ash (Souza et al., 2005), ash (Furuya et al., 2013), and proteins (Souza et al., 1999). Higher concentrations of DHA, saturated fatty acids, and n-3/n-6 ratio for lighter animals were also observed (Furuya et al., 2013). Brito (2012) assessed armored catfish (*Loricariichthys anus*) and only observed a significant difference between lipids as fish weight increased.

The colorimetric profile of the fish is usually conditioned to their diet (quantity and quality), species, family, lineage, age, size, sex, and region of origin (Torrissen and Naevdal, 1984; Choubert and Blanc, 1993). Therefore, Souza et al. (2005) corroborate the results described herein by demonstrating that no significant color variation was observed between the samples considering the weight classes in Nile tilapia, the most produced scale fish in Brazil. Choubert et al. (1997) analyzed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and found that the color of the fish muscle varied widely from one fish to another, in addition to the effects of the individual being significant for brightness (L^*), chroma (C), and Hue (h) parameters.

Considering the same species, but of different origins, Jankowska et al. (2007) studied cultivated and in natura perch (*Perca fluviatilis* L.) and noted that the meat color of both groups was determined by similar L^* and Hue values. Nonetheless, there were significant differences between the cultivated and wild specimens regarding a^* and b^* , with farmed fish having lower a^* values and higher b^* values.

4. Conclusions

Despite the statistical differences between the average results of the physicochemical characteristics evaluated, regarding the different ages and weight of the animals, only the fatty acid profile showed a high correlation with the age factor. Therefore, to promote the production of this species and provide consumers and the fish industry with higher quality raw materials, 24-month-old animals with a live weight of ~10 kg proved to be the most indicated criteria as it was the threshold of change with the most promising results, including nutritional and meat quality parameters.

Author contributions

K.R.R., W.M.B., and E.H.K. conceived and designed the experiments. K.R.R., A.A.S., A.L.P., M.F.E.F., L.K.S., M.B.F., and R.W. performed the experiments. K.R.R., L.A.F.M., and M.B.F. analyzed the data. K.R.R. wrote the manuscript.

Acknowledgments

To the Longo Fish farm for the partnership and providing the raw material. This study was partly supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) – Support Code 001 as well as the Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso by the notice 36/2017. We would also like thank Atlas Assessoria Linguística for support with the English version of this manuscript.

References

- Alves, C. C. O., Resende, J. V., Cruvinel, R. S. R., Prado, M. E. T. (2008). Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. *Ciênc. E Tecnol. Aliment.* 28 (4), 830-839.
- Bard, J., & Imbiriba, E. P. (1986). *Piscicultura do pirarucu, Arapaima gigas*. Brasília, DF, BR: EMBRAPA. (Circular Técnica, 52).
- Bekhit, A. E. D., & Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Sci.* 71 (3), 407-439.
- Bemvindo, U. (2017). Pirarucu (*Arapaima gigas*) enlatado e esterilizado: uma alternativa para a indústria de pescados. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.
- 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. *Rev. Bras. Tecnol. Agroind.* 3 (2), 97-108.
- BRASIL. (2001). Regulamento técnico para rotulagem nutricional obrigatória de alimentos e bebidas embaladas. Resolução RDC nº 40, March 21 (Seção I). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, Brasília, Brasil.
- BRASIL. (2003). Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Resolução RDC nº 360, December 23 (Seção I). Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, Brasília, Brasil.
- BRASIL. (2011). Métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de pescado e seus derivados. Instrução Normativa nº 25, July 2 (Seção I). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, Brasília, Brasil.
- Brito, A. C. P. (2012). Rendimento corporal e composição química da viola (*Loricariichthys anus*) em duas faixas de peso capturadas na Lagoa Mangueira, RS, Brasil. Dissertação, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

- Canto, A. C., Costa-Lima, B. R., Suman, S. P., Monteiro, M. L. G., Mársico, 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. *Lebensm. Wiss. Technol.* 63 (2), 872-877.
- Carvalho, L. A. (2015). Processo combinado de desidratação osmótica e secagem convectiva do filé do pirarucu (*Arapaima gigas*). Dissertação, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- Carvalho, A., Lopes, A. L., Dellova, D., França, D., Dias, I., Villa Real, J., Lino, J., Albuquerque, L., Santos, P., Iglesias, R., Vieira, R. (2020). *Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020*. São Paulo, SP, BR: Associação Brasileira da Piscicultura.
- Chang, N., Wu, C., Chen, F., Huang, P. (2005). Effect of dietary ratios of fatty acids on cholesterol metabolism in rats and on low-density lipoprotein uptake in hepatocytes. *Nutr. Res.* 25, 781–790.
- Choubert, G., & Blanc, J. M. (1993). Muscle pigmentation changes during and after spawning in male and female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed dietary carotenoids. *Aquat. Living Resour.* 6, 163-168.
- Choubert, G., Blanc, J. M., Valée, F. (1997). Colour measurement, using the CIELCH colour space, of muscle of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed astaxanthin: effects of family, ploidy, sex, and location of reading. *Aquac. Res.* 28, 15-22.
- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I. N., Kontominas, M. G. (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. *J. Food Microbiol. Saf. Hyg.* 21 (2), 157-165.
- Cortegano, C. A. A., Godoy, L. C., Petenuci, M. E., Visentainer, J. V., Affonso, E. G., Gonçalves, L. U. (2017). Nutritional and lipid profiles of the dorsal and ventral muscles of wild pirarucu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52 (4), 271-276.
- Costa, G. A. (2010). *Perfil de ácidos graxos em pirarucu (Arapaima gigas, Schinz 1822). Relatório final PIB – A/0032/2009*. Manaus, AM, BR: UFAM.

Coutinho, N. M., Canto, A. C. V. C. S., Mársico, E. T., Silva, F. A., Keller, L. A. M., Conte-Junior, C. A., Monteiro, M. L. G. (2019). Fatty acid composition and influence of temperature on the lipid stability of *Arapaima gigas* meat. *Braz. J. Food Technol.* 22, e2018132.

DSSS. Departamento de Segurança Social e da Saúde. Department of Health and Social Security. (1994). *Nutritional aspects of cardiovascular disease*. Report of the Cardiovascular Review Group Committee on Medical Aspects of Food Policy. Reports on Health and Social Subjects, n.46. London, ENG: M. Stationary Office.

Dantas Filho, J. V., Cavali, J., Nunes, C. T., Nóbrega, B. A., Gasparini, L. R. F., Souza, M. L. R., Porto, M. O., Rosa, B. L., Gasparotto, P. H. G., Potunschka, R. B. (2021). Composição centesimal, valor calórico e correlação preço-nutrientes de cortes comerciais de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e pirarucu (*Arapaima gigas*) em diferentes classes de peso corporal (Amazônia: Brasil). *Res. Soc. Dev.* 10 (1), Article e23510111698.

Dumas, A., de Lange, C. F. M., France, J., Bureau, D. (2007). Quantitative description of body composition and rates of nutrient deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 273, 165-181.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2016). Ração ainda é o principal custo de produção da aquicultura. Retrieved May 22, 2020 from: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/16967394/racao-ainda-e-o-principal-custo-de-producao-da-aquicultura>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Retrieved July 07, 2020 from <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

Fernandes, C. E., Vasconcelos, M. A. S., Ribeiro, M. A., Sarubbo, L. A., Andrade, S. A. C., Melo Filho, A. B. (2014). Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food Chem.* 160, 67-71.

Fogaça, S. H. F., Oliveira, G. E., Carvalho, Q. E. S., Santos, S. J. F. (2011). Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. *Acta Sci.* 33 (1), 95-99.

- Folch, J., Lees, M., Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226 (1), 497-509.
- Furuya, V. R. B., Furuya, W. M., Michelato, M., Salaro, A. L., Matsushita, M., Batiston, W. P. (2013). Composição proximal e perfil de ácidos graxos do lambari-do-rabo-vermelho (*Astyanax fasciatus*) de diferentes classes de peso. *Rev. Bras. Saude Prod. Anim.* 14 (4), 820-830.
- Gonzaga Júnior, M. A. (2010). Avaliação da qualidade de filés de pirarucu (*Arapaima gigas*, CUVIER 1829), refrigerados e embalados sob atmosfera modificada. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil.
- Gunther, S. J., Moccia, R. D., Bureau, D. (2005). Growth and whole body composition of lake trout (*Salvelinus namaycush*), brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and their hybrid, F1 splake (*Salvelinus namaycush* x *Salvelinus fontinalis*), from first-feeding to 16 weeks post first-feeding. *Aquaculture* 249, 195–204.
- Hartman, L., & Lago, R. C. (1973). Rapid preparation of fatty acid methylesters from lipids. *Lab. Pract.* 22 (494), 475–477.
- Higgs, D. A., Sutton, J. N., Kim, H., Oakes, J. D., Smith, J., Biagi, C., Rowshandeli, M., Devlin, R. H. (2009). Influence of dietary concentrations of protein, lipid and carbohydrate on growth, protein and energy utilization, body composition, and plasma titres of growth hormone and insulin-like growth factor-1 in non-transgenic and growth hormone transgenic coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum). *Aquaculture* 286, 127–137.
- Honorato, C. A., Caneppele, A., Matoso, J. C., Prado, M. R., Siqueira, M. S., Souza, L. R. O. (2015). Physical characterization of fillets of surubi (*Pseudoplatystoma* sp.), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) and pirarucu (*Arapaimas gigas*). *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR* 17 (4), 235–240.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Produção da Pecuária Municipal – 2019*. (Vol. 46). Rio de Janeiro, RJ, BR: Produção Pecuária Municipal.

- Jankowska, B., Zakęś, Z., Żmijewski, T., Szczepkowski, M., Kowalska, A. (2007). Slaughter yield, proximate composition, and flesh colour of cultivated and wild perch (*Perca fluviatilis* L.). Czech J. Anim. Sci. 52 (8), 260–267.
- Knowles, T. G., Brown, S. N., Warriss, P. D., Lines, J., Tinarwol, A., Bravo, A., Carvalho, H., Gonçalves, A. (2008). Effect of electrical stunning at slaughter on the carcass, flesh and eating of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax*). Aquac. Res. 38, 1732-1741.
- Konica Minolta. (1998). *Precise color communication - Color control from perception to instrumentation*. Daisennishimachi, Sakai. Osaka, JPN: Konica Minolta Sensing Inc.
- Kubitza, F. (2003). *Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões*. Jundiaí, SP, BR: Kubitza.
- Kubitza, F. (2004). *Qualidade da água planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar, sanidade em piscicultura*. Jundiaí, SP, Brasil: F. Kubitza.
- Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. Oecologia 129, 271–280.
- Lima, A. F., Rodrigues, A. P. O., De Lima, L. K. F., Maciel, P. O., Rezende, F. P., De Freitas, L. E. L., Tavares-Dias, M., Bezerra, T. A. (2017). *Alevinagem, recria e engorda do pirarucu*. Brasília, DF, BR: Embrapa Pesca e Aquicultura.
- López, L. M., Durazo, E., Viana, M. T., Drawbridge, M., Bureau, D. P. (2009). Effect of dietary lipid levels on performance, body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass, *Atractoscion nobilis*. Aquaculture 289, 101-105.
- Macedo-Viegas, E. M., Scorvo, C. M. D. F., Vidotti, R. M., Secco, E. M. (2000). Efeito das classes de peso sobre a composição corporal e o rendimento de processamento de matrinxã (*Brycon cephalus*). Acta Scientiarum 22 (3), 725-728.
- Martins, M. G., Martins, D. E. G., Pena, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. LWT - Food Sci. Technol. 62, 144e151.
- Martins, M. G., Martins, D. E. G., Pena, R. S. (2017). Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). LWT - Food Sci. Technol. 37 (4), 651-656.

- Masniyom, P., Benjama, O., Maneeri, J. (2013). Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on quality changes of refrigerated tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. *Int. Food Res. J.* 20 (3), 1401-1408.
- Medeiros, F. (2020). Tilápia lidera e Brasil produziu 758 mil toneladas em 2019. In: A. Carvalho, A. L. Lopes, D. Dellova, D. França, I. Dias, J. Villa Real, J. Lino, L. Albuquerque, P. Santos, R. Iglesias, R. Vieira (Eds.), *Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020*. (pp. 4). São Paulo, SP, BR: Associação Brasileira da Piscicultura.
- Nunes, E. S. C., Franco, R. M., Mársico, E. T., Neves, M. S. (2012). Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas* Shing, 1822) salgado seco comercializado em mercados varejistas. *Rev. Inst. Adolfo Lutz* 71 (3), 520-529.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H., Szoecs, E., Wagner, H. (2019). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. Retrieved April 24, 2020 from <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira, P. R., 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. *Braz. J. Food Technol.* 17 (1), 67-74.
- Pedroza Filho, M. X., Muñoz, A. E. P., Rodrigues, A. P. O., Rezende, F. P., Lima, A. F., Matave, M. (2016). Panorama da cadeia produtiva do pirarucu. *CNA Brasil, Ativos Aquicultura*, (Ano 2, Ed. 8). Retrieved June 24, 2020 from https://www.researchgate.net/profile/Manoel_Pedroza/publication/296639493_Panorama_da_cadeia_produtiva_do_pirarucu/links/56d7217e08aee1aa5f75c54e.pdf
- Pinheiro, L. M. (2014). Efeito do peso no rendimento do processamento do pirarucu (*Arapaima gigas*): viabilidade comercial para a indústria. Dissertação, Universidade Federal de Rondônia, Brasil.
- Pino-Hernández, E., Carvalho Júnior, R. R. N., Alves, R. C. B., Joele, M. R. S. P., Silva e Silva, N., Silva, E. V. C., Lourenço, L. F. H. (2020). Evaluation of muscle cuts of pirarucu (*Arapaima gigas*) and sous vide product characterization and quality parameters. *Int. J. Gastron. Food Sci.* 20 (2020), 100200.


- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved April 24, 2020 from <https://www.R-project.org/>
- Rezende-de-Souza, J. H., Souza, C. O. S. S., Hoshiba, M. A., Abreu, J. S., Savay-da-Silva, L. K. (2020). Influência colorimétrica em surimis de tambaqui submetidos a diferentes crioprotetores. *Braz. J. Dev.* 6 (5), 23264-23277.
- Rosa, K. R., Silva, A. A., Ferreira, R. X., Stelatto, D. S., Cardoso, D. A., Scabora, M. H., Cassol, L. A. (2020). Elaboração, caracterização físico-química e microbiológica de produtos do Pirarucu. *Braz. J. Dev.* 6 (3), 10566-10585.
- Rueda-López, S., Lazo, J. P., Reyes, G. C., Viana, M. T. (2011). Effect of dietary protein and energy levels on growth, survival and body composition of juvenile *Totoaba macdonaldi*. *Aquaculture* 319, 385-390.
- Santos, J. S. L., Mársico, E. T., Cinquini, M. A., Silva, F. A., Conte Junior, C. A., Monteiro, M. L. G. (2018). Physicochemical and sensory characterization of three different portions from commercial pirarucu (*Arapaima gigas*) fillets. *Braz. J. Food Technol.* 21, e2017178.
- 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. *Livest. Prod. Sci.* 77 (2-3), 187-194.
- Savay-da-Silva, L. K. (2015). Produção do beijupirá (*Rachycentron canadum*) visando a rastreabilidade—parâmetros de qualidade ambiental; físico-químicos e microbiológicos da espécie. Tese, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Scorvo Filho, J. D., Scorvo, C. M. D. F., Alves, J. M. C., Souza, F. R. A. (2010). A Tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. *Rev. Bras. Zootec.* 39, 112-118.
- Skalli, A., Hidalgo, M. C., Abellán, E., Arizcun, M., Cardenete, G. (2004). Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L.) at different growth stages. *Aquaculture* 235, 1-11.

- Souza, M. L. R., Lima, S., Furuya, W. M., Pinto, A. A., Loures, B. T. R. R., Poyh, J. A. (1999). Estudo de carcaça do bagre africano (*Clarias gariepinus*) em diferentes categorias de peso. *Acta Scientiarum* 21 (3), 637-644.
- Souza, M. L. R., Viegas, E. M. M., Sobral, P. J. A., Kronka, S. N. (2005). Efeito do peso de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre o rendimento e a qualidade de seus filés defumados com e sem pele. *Ciênc. E Tecnol. Aliment.* 25 (1), 51-59.
- Tonial, I. B., Oliveira, D. F., Bravo, C. E. C., Souza, N. E., Matsushita, M., Visentainer, J. V. (2010). Caracterização físico-química e perfil lipídico do salmão (*Salmo salar* L.). *Alimentos e Nutrição* 21 (1), 93-98.
- Torrissen, O. J., & Naevdal, G. (1984). Pigmentation of salmonids-genetical variation in carotenoid deposition in rainbow trout. *Aquaculture* 38, 59-66.
- Turan, H., Sönmez, G., Kaya, Y. (2007). Fatty acid profile and proximate composition of the thorn-backray from the Sinop coast in the Black Sea. *J. Fish. Sci.* 1, 97-103.
- Turco, P. H. N., Donadelli, A., Scorvo, C. M. D. F., Scorvo Filho, J. D., Tarsitano, M. A. A. (2014). Análise econômica da produção de tilápia, em tanques-rede de pequeno volume: manejo de ração com diferentes teores de proteína bruta. *Informações Econômicas* 44 (1), 5-11.
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet* 338 (8773), 985-992.
- Utrera, M., Parra, V., Estevez, M. (2014). Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles. *Meat Sci.* 96 (2), 812-820.
- Wang, Y., Wu, C-Y., Guo, J-X., Liu, S-J., Su, Y-C. (2010). Nutrition composition of *Arapaima gigas* fillet. *Fujian J. Agri. Sci.* 25 (4), 491-495.
- WHO. World Health Organization. (2015). Nutrition: population nutrient intake goals for preventing diet-related chronic diseases. Retrieved June 03, 2020 from http://www.who.int/nutrition/topics/5_population_nutrient/en/index13.html

Yeannes, M. I., & Almandos, M. E. (2003). Estimation of fish proximate composition starting from water content. *J. Food Compos. Anal.* 16 (1), 81e92.

Zhu, X., Xie, S., Lei, W., Cui, Y., Yang, Y., Wootton, R. J. (2005). Compensatory growth in the Chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris* following feed deprivation: Temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Aquaculture* 248, 307-314.


3.4 EVALUATION OF THE FRESHNESS AND QUALITY OF PIRARUCU RAISED IN CAPTIVITY AT DIFFERENT AGES IN RELATION TO THE SEASONS

Krishna Rodrigues de Rosa ^{a,*}, , Alessandra Almeida da Silva ^b, Wander Miguel de Barros ^b, Anaqueli Lucia Pedroso ^c, Maria Fernanda Evelin Ferreira ^c, Luciana Kimie Savay-da-Silva ^c, Lucia Aparecida de Fátima Mateus ^c, Ernesto Hashime Kubota^a

^a Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil

^b Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso campus Bela Vista, Cuiabá, Brazil

^c Federal University of Mato Grosso, Cuiabá Brazil

*Corresponding author: University of Santa Maria, Roraima Avenue 1000, Camobi, CCR, building 42, room 3135, 97105900, Santa Maria, RS, Brazil. Tel.: +55 55 3220-8306. E-mail address: krrhare@gmail.com (K.R. Rosa).  <https://orcid.org/0000-0002-5131-5737>

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the freshness and quality of pirarucu blankets at different ages bred in captivity in excavated tanks in northern Mato Grosso State, Brazil, in different seasons (rain and dry seasons). Four harvests were performed in two different tanks and five specimens obtained in each evaluated period, with animals aged 18 and 24 months, respectively, at the beginning of the experiment. The animals were slaughtered in a local establishment that had an inspection service following humane standards, and the blankets were later sent to analysis. The samples were analyzed for freshness via total volatile nitrogenous bases and physicochemical characteristics were pH in 24 h, water activity, water retention capacity, dripping loss, cooking

loss, and shear force. There was a statistical difference for total nitrogenous volatile bases and shear force with higher values in the rainy season (24 month-of-old animals). Additionally, pH and water activity differed statistically at 24 h in the same period, albeit for 18-month-of-old animals. It was possible to conclude that climate variation affected the freshness and quality of the pirarucu blankets while age did not.

Keywords: *Arapaima gigas*, blanket, rain, total volatile nitrogenous bases, pH in 24 h, water activity, water retention capacity, dripping loss, cooking loss, shear force.

1. Introduction

Fish have a rich nutritional composition composed of highly digestible proteins and are a known source of polyunsaturated fats (e.g., omega-3) that help the cardiovascular system, fat-soluble vitamins A and D, and minerals such as phosphorus, iron, calcium, copper, selenium, and even iodine in salt-water specimens. Additionally, fish are widely known for having essential amino acids, including lysine, methionine, and cysteine (Stansby, 1973; Ababouch, 2005; Ruxton, 2011; Sartori and Amancio, 2012).

Notably, fish is a highly perishable food with high water activity, moisture content, and a source of nutrients. After slaughtering, numerous biochemical changes occur due to the speed of enzymatic reactions, triggering the loss of freshness (Gaspar et al., 1997; Leitão et al., 1997). According to Jesus et al. (2001), one factor associated with accelerated deterioration is cross-contamination due to internal contamination. Given this scenario and to provide a high-quality and safe product, it is pivotal for raw fish materials to be evaluated for freshness via total volatile nitrogen bases (TVNB), biogenic amines, and pH. Just as importantly, the physicochemical characteristics must also be determined, including water activity, water retention capacity, oxi-

dative stability, and their influence on deterioration rates in fish are used to measure the intensity of the putrefaction process to ensure safe consumption (Chytiri et al., 2004; Andrés-Bello et al., 2013).

The pirarucu (*Arapaima gigas*) is the largest scaled fish in northern Mato Grosso State (Brazil) and inhabits the rivers of the Amazon basin as it prefers slow waters. The meat of this species is unique (boneless, with mild coloration and flavor, soft, and lean), and due to its condition of lung breathing, it must be slaughtered by concussion or hypothermia soon after capture (Ono et al., 2004; Castello, 2008; Ono and Kehdi, 2013).

Several factors, directly and indirectly, influence the productivity of a fish farm, with production management, fish morphometry, and region climatology being the most important. Based on the semi-intensive production system using excavated tanks whose water flow is usually continuous, properly managing the quality and quantity of this water source is essential in maintaining an environment conducive to aquaculture. Therefore, the seasons of the year affect fish farming, and rainfall alters the dynamics of shallow areas by modifying organic and inorganic material concentrations, heat dissipation, fish feeding habits, water turbidity and transparency, among others (Landa, 1999; Sipaúba-Tavares et al., 2007).

Given the lack of research evaluating the influence of the seasons and the quality of this species, this study aimed to assess the freshness and physicochemical characteristics of the blanket of pirarucu of different ages and bred in captivity in excavated tanks during the rainy and dry seasons of the Amazon basin.

2. Materials and methods

2.1 Obtaining the raw material

The pirarucu (*Arapaima gigas*) were obtained from fish farms (Tank A: 10°17'57.76"S and 54°56'29.34"W, altitude 342 m; and Tank B: 10°14'17"S and 54°56'1"W, altitude 261 m) and a slaughterhouse (10°14'17 "S and 54°56'1"W, altitude 261 m) in Peixoto de Azevedo (Mato Grosso State, the Amazon region). Four harvests were performed in two excavated tanks and five specimens/tank/fish were collected, being five animals per collection in the rainy season (C1) in November/2017 for tank A (T1) and January/2018 for tank B (T2) and five animals in the dry season (C2) in June/2018 in T1 and July/2018 in T2, totaling 20 animals. The fish were 18, 24, 25, and 30 months old and had a total weight ranging from 7.69 to 15.67 kg and were 1.006 to 1.258 m long. The details of pirarucu fish farming, obtaining, and sending samples are described in the study published by Rosa et al. (2021), and demonstrated in the supplementary material.

2.2 Meteorological data

The study region (Peixoto de Azevedo) was founded in 1970 by the federal government through a colonization and occupation program of the central territory. This region has a peculiar biome that makes it part of the Brazilian Legal Amazon area that, in 2003, became part of the Amazon Portal Territory along with 15 other municipalities, such as Guarantã do Norte (Grando, 2014). The Brazilian Amazon region has a distinctive climate with year-round high temperatures that vary in the dry (winter) and rainy (summer) periods. Moreover, this region is crucial given its vast forest areas that participate directly in the regional and global climate, intervening as a source of heat, humidity, and regulating the rainfall regime of both hemispheres (Castello et al., 2013).

Throughout the study period, the meteorological data of Peixoto de Azevedo (Köppen classification: humid tropical or sub-humid climate; Am) were provided by the National Institute of

Meteorology (INMET) by the Automatic Weather Station of Guarantã do Norte installed in the Municipal Nursery (09°57'S and 54°53'W, altitude 320 m) because of its proximity to the fish farm (T1: 47.4 km away and T2: 38.1 km away). Among the information measured, we analyzed the average temperature (instantaneous, maximum, and minimum), average humidity (instantaneous, maximum, and minimum), and accumulated rainfall.

2.3 Quality and freshness analysis

The total volatile nitrogenous bases (TVNB) was determined in triplicate using a nitrogen distiller (model 4250, Thoth, São Paulo, Brazil) according to the adapted method of Savay-da-Silva et al. (2008) and Normative Instruction no. 20 (Brasil, 1999). The pH levels in 24 h were directly measured in triplicate with a digital potentiometer (mPA-210, MS Tecnoyon Instrumentation, São Paulo, Brazil) calibrated as described by Pregnoatto and Pregnoatto (1985).

Water retention capacity (WRC) was analyzed using Whatman qualitative filter paper no. 1 (125 mm diameter, 50 x 50 cm acrylic plate, and specific weight of 10 kg) according to Hamm (1960). Drip loss (DL) was determined by hanging the blanket (100 g) in a net inside inflated plastic bags for 48 h at 4 °C in a cold chamber (Ramos and Gomide, 2009). Cooking loss (CL) was performed in a water bath (N1040, Centauro, São Paulo, Brazil) at 85 °C for 1 h (Cason et al., 1997). The water activity (A_w) was determined by dew-point measurements using a digital hygrometer (4TE, Aqualab, São Paulo, Brazil) (Rodrigues et al., 2003), and shear force (SF) was measured with a digital texturometer (TA-XT Plus, Stable Micro Systems, Vienna Court, UK) equipped with a Thin Warner-Bratzler Blade with V slot programmed as follows (Ocaño-Higuera et al., 2011): return distance of 50 mm; return speed of 10 mm/s; contact force of 5 g; pre-test speed of 1.0 mm/s; test speed of 2.0 mm/s; post-test speed of 10.0 mm/s; distance of

20.0 mm; and trigger force of 5 kg. All determinations were performed in triplicate except for texture analysis (quintuplicate for each replicate).

2.4 Statistical analysis

For the physicochemical quality indices, data sets obtained from pretreatment screening were evaluated using one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post hoc analysis ($p > 0.05$ significance). Trends were only considered significant where means were different. Data normality was previously verified using the Shapiro-Wilk test, and all statistical analyses were performed by Statistica software (version 7.1) (2005).

The effects of age and climate on the freshness and quality of the blankets were evaluated using multivariate analysis techniques based on the similarity between objects (blankets) and attributes (variables). The variables were chi-square transformed to generate the similarity matrix (Legendre and Gallagher, 2001), which was necessary because the variation scale of the measurements differed, and those with higher variation could determine the pattern if no transformation was done a priori. The Euclidean distance was then used as the similarity index.

PERMANOVA (Anderson, 2001) was applied to evaluate the effects of age and climate (rainy and dry periods). This analysis answers whether the similarity matrix based on the measured variables presents a pattern and is associated with the previously established factors (age and period). The pattern was plotted by principal coordinate analysis (PCoA) in two dimensions (axes), and the correlation between PcoA axes and variables was estimated to assess which variables contributed the most to axis formation. Absolute values above 0.60 were considered significant. All analyses were performed in the R environment (R Core Team, 2019) using the vegan package (Oksanen et al., 2019). The significance level adopted was 0.05.

3. Materials and methods

3.1 Meteorological data

The climatic data provided by the Guarantã do Norte automatic weather station is listed in Table 1. Temperatures remained high during the entire study period and showed a significant variation in humidity and accumulated rainfall.

Santos (2000) reported that the rainy period in Mato Grosso State lasts from November to January (minimum of 500-600 mm of rainfall), and the dry period occurs from June to August (maximum of 20-80 mm of rainfall). Hence, the data in Table 1 confirm that the accumulated rainfall reflects the period in question, albeit we removed the days in July 2018 (T2, C2) in which a subtropical jet stream brought a cold front from Patagonia and caused unseasonable rain.

Fish are actively affected by climate change because they are heterothermic, varying their metabolism and physiology to adapt to environmental temperature variations (Holbrook et al., 1997; Thomas and Lennon, 1999). Therefore, the species in the Amazon basin suffer from variations in the air-water relationship (solar radiation), soil leaching and siltation (flooding), changes in the feeding and nursery areas, low dissolved oxygen levels, and high temperatures (Val and Almeida-Val, 2008). According to Table 1, the average temperatures in the rainy season were higher than in the dry season, with maximum temperatures of 26.4 and 25.7 °C and a minimum of 24.5-25.1 and 23.9 °C, respectively. These findings corroborate the ideal temperature range described by Cyrino et al. (2004) for tropical species aiming at thermal comfort for growth and reproduction (25 and 28 °C).

Moreover, research has proven there is a positive correlation between air and water temperatures, while rainfall and water temperatures are inversely correlated (Islam et al., 1974; Miah et al. 1981; Begum et al., 1989; Nargis and Pramanik, 2008). Nonetheless, Matsuzaki et al. (2004)

and Millan (2009) reported that water temperatures were higher during the rainy season (summer) in southern Brazil (São Paulo region), showing that the location affects the climatic condition and consequently the chemical composition of fish, which is also influenced by species, size, and sex of the animal (Guner et al., 1999; Aidos et al., 2002; Shirai et al., 2002; Celik, 2008). Therefore, water temperatures above the critical thermal maximum (e.g., 1 °C) can be lethal for fish, and this limit may vary from species to species, although it is usually higher in freshwater species. Alborali (2006) studied rainbow trout in lakes and canals in Italy and reported that there was no change in fish behavior despite changes in water temperatures (from 11 to 18 °C), albeit oxygen and food consumption sharply increased.

Analysis of freshness and quality of pirarucu

There were no statistical differences for WRC, DL, and CL, while there were statistical differences and higher values for TVNB and SF (24-month-old fish) and pH in 24 h and Aw (18-month-old fish) in the rainy period (Table 2).

The TVNB values (15.43, 10.53, 17.96, and 14.75) and pH in 24 h (6.41, 6.23, 6.13, and 6.20) were well below the limit established by Brazilian legislation (30 mgN 100g⁻¹ and 7.0, respectively) (Brasil, 2017). The period in which the fish is harvested makes all the difference when analyzing the physicochemical composition and microbiological and nutritional quality. Moreover, the peculiarity of the species and individuality of each specimen (Beirão et al., 2000; Savay-da-Silva, 2009; Galvão, 2011) also play a critical role and interfere in the pH of the fish, causing it to increase due to the methods of capture, handling, and storage (Ashie et al., 1996; Bayliss, 1996).

As shown in Figure 1, there is an interaction between the age of the animals and climate period of the collections ($F_{1;16} = 2.21$; $p = 0.104$) for freshness and physicochemical composition, limiting the discussion of the effects of the factors separately (age: $F_{1;16} = 0.54$; $p = 0.95$; period: $F_{1;16} = 12.21$; $p = 0.001$). Furthermore, it was possible to observe that the freshness and physicochemical characteristics of the blankets were solely affected by the climate period (Figure 1).

Axis 1 of the PCoA explained 52.93% of data variability, and this is associated with the interaction between the age and climate period and better separated the groups. It was possible to observe a positive correlation with axis 1 for some variables, implying that lower ages in rainfall have higher pH in 24 h, WRC, CL, and Aw values (variables that negatively correlated with axis 1) (Table 3).

Regarding tenderness, it is known that it is related to the composition of the muscle fibers, which are separated into three parts: red fibers (superficial part of the muscle in the subdermal layer), intermediate fibers, and white fibers (occupying over 90% of the muscle fibers and grant resistance to the fish) (Leitão et al., 2012). The concentration of each fiber varies according to the type of cut and fish species, and it can be indirectly quantified through the values obtained by the CIELab color system.

Data on the physicochemical profile of pirarucu are scarce and contradictory. Honorato et al. (2014) evaluated 6.0 kg of pirarucu fillet steaks and reported pH values (6.27 ± 0.15) that were similar to the 25- and 30 -months-old pirarucus analyzed herein for the dry season. However, Seering (2014) characterized pirarucu slaughtered in the rainy period and found pH of 6.53 for pirarucu numbed in ice water and pH of 6.13 of fish that were not, also being similar to our findings for 18- and 24-month-old animals. Similarly, Jesus (2008) reported TVNB values of

15.38 mgN 100g⁻¹ for pirarucu belly, which is near our data for the rainy period and 18-month-old animals.

In the other parameters, most authors reported values above those described herein, although all of them are in accordance with the values required by Brazilian legislation for TVNB and pH levels exception for Jesus (2008) in pirarucu belly (7.20). These high values, especially WRC and SF, may be associated with the origin of the raw material, which comes from older specimens and/or those that suffered stress during processing.

4. Conclusions

The climatic variation influenced the freshness and physicochemical characteristics of the pirarucu blanket, while the age of the pirarucu did not. Higher total volatile nitrogenous bases, shear force, pH in 24 h, and water activity were obtained in the rainy period, albeit all parameters remained within limits mandated by Brazilian legislation, therefore proving that pirarucu blankets are a safe food. This condition can be justified since the animals were younger and there are reports in the literature of higher moisture and protein values in the muscles of young fish, in addition to the fact that the rainy season provides the increase in volume and water renewal that can cause changes in the water quality parameters of the excavated tank.

Author contributions

K.R.R., W.M.B., and E.H.K. conceived and designed the experiments. K.R.R., A.A.S., A.L.P., M.F.E.F., and L.K.S. performed the experiments. K.R.R., and L.A.F.M. analyzed the data. K.R.R. wrote the manuscript.

Acknowledgments

To the Longo Fish farm for the partnership and providing the raw material. This study was partly supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) – Support Code 001 as well as the Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso by the notice 36/2017. We would also like to thank Mariane Bittencourt Fagundes for greatly assisting in the statistical analysis of data and Atlas Assessoria Linguística for providing support with the English version of this manuscript.

References

- Ababouch, L. (2005). Composition of fish - Topics Fact Sheets. In FAO (Ed.), *Fisheries and Aquaculture Topics*. Rome: FAO. 2005. Retrieved July 6, 2020 from: <http://www.fao.org/fishery/topic/12318/en>
- Aidos, I., Padt, A. V. D., Luten, J. B., Boom, R. M. (2002). Seasonal changes in crude and lipid composition of herring fillets, byproducts, and respective produced oils. *J Agric Food Chem.* 50, 4589–4599. doi: 10.1021/jf0115995
- Alborali, L. (2006). Climatic Variations Related to Fish Diseases and Production. *Vet Res Commun.* 30 (1), 93–97. doi: 10.1007/s11259-006-0019-7
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26 (1), 32–46. doi: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x
- Andrés-Bello, A., Barreto-Palacios, V., García-Segovia, P., Mir-Bel, J. E., Martínez-Monzó, J. (2013). Effect of pH on color and texture of food products. *Food Eng Rev.* 5 (3), 158-170. doi: 10.1007/s12393-013-9067-2
- Ashie, I. N. A., Smith, J. P., Simpson, B. K. (1996). Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 36 (182), 87-121. doi: 10.1080/10408399609527720
- Bayliss, P. (1996). Chemistry in the kitchen: fish and fish products. *Nutr Food Sci.* 1, 41-43. doi: 10.1108/00346659610105897

- Begum, A., Mustafa, G., Ali, S., Ahmed, K. (1989). Studies on Limnology in a mini pond and growth of Tilapia (= *Oreochromis nilotica*). Bangladesh J Zool. 17 (1), 35-45.
- Beirão, L. H., Teixeira, E., Meinert, E. M., Santo, M. L. P. E. (2000). Processamento e industrialização de moluscos. In *Proceedings of the 1st Seminário e Workshop Tecnologia para Aproveitamento Integral do Pescado* (pp. 38-84). ITAL: Brazil.
- BRASIL. (1999). Oficializa os Métodos analíticos físico-químicos para controle de produtos cárneos e seus ingredientes: sal e salmoura. Instrução Normativa n° 20, July 21 (Seção I). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Brasília, Brasil.
- BRASIL. (2017). Aprova o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Decreto n° 9.013, March 29 (Seção I). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, Brasília, Brasil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 mar. 2017. 2017.
- Cason, J. A., Lyon, C. E., Papa, C. M. (1997). Effect of muscle opposition during rigor on development of broiler breast meat tenderness. Poult Sci. 76, 785-787. doi: 10.1093/ps/76.5.785
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., Macedo, M. N., Renó, V. F., Arantes, C. C. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conserv Lett. 6 (4), 217-229. doi: 10.1111/conl.12008
- Castello, L. (2008). Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains on the Amazon. Ecol Freshw Fish. 17, 38-46. doi: 10.1111/j.1600-0633.2007.00255.x
- Celik, M. (2008). Seasonal changes in the proximate chemical compositions and fatty acids of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and horse mackerel (*Trachurus trachurus*) from the north eastern Mediterranean Sea. Int J Food Sci Technol. 43, 933–938. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01549.x
- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I. N., Kontominas, M. G. (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. J Food Microbiol. 21 (2), 157-165. doi: 10.1016/S0740-0020(03)00059-5

- Cyrino, J. P., Urbinati, E. C., Fracalossi, D. M., Castagnolli, N. (2004). Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva. São Paulo, SP, BR: Editora TecArt.
- Galvão, J. A. (2011). Rastreabilidade da cadeia produtiva do pescado: avaliação de parâmetros ambientais e sua interferência na qualidade da matéria prima destinada à indústria. Tese, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Gaspar, J., Vieira, R., Tapia, M. (1997). Aspectos sanitários do pescado de origem de água doce e marinha, comercializado na feira de Gentilândia, Fortaleza, Ceará. Braz J Food Technol. 11, 20-28.
- Grando, R. L. S. C. (2014). Território em construção: desenvolvimento territorial, organização social e políticas públicas no Território Portal da Amazônia, Mato Grosso (MT). Tese, Universidade de Brasília, Brasil.
- Guner, S., Dincer, B., Alemdag, N., Colak, A., Tufekci, M. (1999). Proximate composition and selected mineral content of commercially important fish species from the Black Sea. J Sci Food Agric. 78, 337–342. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199811)78:3<337::AID-JSFA122>3.0.CO;2-A
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration: advances in food research. Adv Food Nutr Res. 10 (2), 335-443. doi: 10.1016/s0065-2628(08)60141-x
- Holbrook, S. J., Schmitt, R. J., Stephens, J. (1997). Changes in an assemblage of temperate reef fishes associated with a climate shift. Ecol Appl. 7, 1299–1310. doi: 10.1890/1051-0761(1997)007[1299:CIAAOT]2.0.CO;2
- Honorato, C. A., Caneppele, A., Matoso, J. C., Prado, M. R., Siqueira, M. S., Souza, L. R. O. (2014). Caracterização física de filés de surubim (*Pseudoplatystoma* sp.), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e pirarucu (*Arapaimas gigas*). Arq Ciênc Vet Zool UNIPAR. 17 (4), 237-242.
- Islam, A. K. M. N., Haroon, A. K. Y., Zaman, K. M. (1974). Limnological studies of the river Buriganga. Dhaka Univ Stud B Biol Stud. 22 (2), 99-111.
- Jesus, R. S., Lessi, E., Tenuta Filho, A. (2001). Estabilidade química e microbiológica de “minced fish” de peixes amazônicos durante o congelamento. Braz J Food Technol. 21 (2), 144-148. doi: 10.1590/S0101-20612001000200004

- Jesus, R. S. (2008). Progressos na tecnologia de utilização de produtos pesqueiros na Amazônia brasileira. In *Proceedings of the 2nd Encontro de Negócios da Aquicultura da Amazônia*. Associação Brasileira de Aquicultura (Abraq): Brazil.
- Landa, G. G. (1999). Composição do zooplâncton em quatro represas no campus da Universidade Federal de Lavras: Um subsídio à piscicultura. Tese, Universidade Federal de Lavras, Brasil.
- Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*. 129, 271–280. doi: 10.1007/s004420100716
- Leitão, M. F. F., Rios, D. P. F. A., Guimarães, J. G. L., Baldini, V. L. S., Mainades Pinto, C. S. R. (1997). Alterações químicas e microbiológicas em pacu (*Piaractus mesopotamicus*) armazenado sob refrigeração a 5°C. *Braz J Food Technol*. 17, 160-166. doi: 10.1590/S0101-20611997000200018
- Leitão, N. J., Silva, M. D., Portella, M. C. (2012). Crescimento muscular em peixes: influência de fatores externos nas fases iniciais da criação. *Panor aquic*. 22 (129), 29-37.
- Matsuzaki, M., Mucci, J. L. N., Rocha, A. A. (2004). Comunidade fitoplanctônica de um pesqueiro na cidade de São Paulo. *Rev Bras Saúde Públ*. 38 (5), 679-686. doi: 10.1590/S0034-89102004000500010
- Miah, M. I., Bhuiyan, N. I., Dewan, S. (1981). A comparative study of the rate of growth of major carps in relation to physico-chemical and biological factors. In *Proceedings of the 3rd National Zoology Conference* (pp.215-223). Zoological Society of Bangladesh: Dacca, BGD.
- Millan, R. N. (2009). Dinâmica da qualidade da água em tanques de peixes de sistema pesque-pague: aspectos físico-químicos e plâncton. Dissertação, Universidade Estadual Paulista, Brasil.
- Nargis, A., & Pramanik, S. H. (2008). Physico-Chemical Parameters in Relation to Meteorological and Climatic Conditions in a Fish Pond. *Bangladesh J Sci Ind Res*. 43 (3), 405-410. doi: 10.3329/bjsir.v43i3.1157
- Ocaño-Higuera, V. M., Maeda-Martínez, A. N., Marquez-Ríos, E., Canizales-Rodríguez, D. F., Castillo-Yáñez, F. J., Ruíz-Bastos, E., Graciano-Verdugo, A.C., Plascencia-Jatomea, M. (2011). Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods. *Food Chem*. 125, 49–54. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2010.08.034

- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H., Szoecs, E., Wagner, H. (2019). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. Retrieved April 24, 2020 from: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ono, E., & Kehdi, J. (2013). *Manual de Boas Práticas de Produção do Pirarucu em Cativeiro*. Brasília, DF, BR: Sebrae.
- Ono, E. A., Halverson, M. R., Kubitza, F. (2004). Pirarucu: O gigante esquecido. *Panorama da Aquicultura*. 14 (81), 14-25.
- Pregolatto, W., & Pregolatto, N. P. (1985). *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de Alimentos*. 3rd ed. São Paulo, SP, BR: Instituto Adolfo Lutz.
- R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved April 24, 2020 from: <https://www.R-project.org/>
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. M. (2009). *Avaliação da Qualidade de Carnes - Fundamentos e Metodologias*. Viçosa, MG, BR: UFV.
- Rodrigues, M. J., Ho, P., López-Caballero, M. E., Vaz-Pires, P., Nunes, M. L. (2003). Characterization and identification of microflora from soaked cod and respective salted raw materials. *Food Microbiol.* 20, 471-481. doi: 10.1016/s0740-0020(02)00086-2
- Rosa, K. R., Almeida, A. A., Barros, W. M., Pedroso, A. L., Ferreira, M. F. E., Savay-da-Silva, L. K., Mateus, L. A. F., Fagundes, M. B., Wagner, R., Kubota, E. H. (2021). Characterization of the influence of pirarucu age and weight on their physicochemical composition. *J Food Compost Anal.* 104 (2021), 104172. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104172
- Ruxton, C. H. S. (2011). The benefits of fish consumption. *Nutr Bull.* 36, 6-19. doi: 10.1111/j.1467-3010.2010.01869.x
- Santos, M. V. (2000). Zoneamento sócio-econômico-ecológico: diagnóstico sócio-econômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação. In Secretaria de

Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN) (Ed.), *Sistematização das Informações Temáticas*, Vol. 2/2: Relatório técnico consolidado de clima para o Estado de Mato Grosso (pp. 37). Cuiabá, MT, BR: CNEC - Engenharia S.A.

Sartori, A. G. O., & Amancio, R. D. (2012). Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segur Aliment Nutr.* 19 (2), 83-93. doi: 10.20396/SAN.V19I2.8634613

Savay-da-Silva, L. K., Riggo, R., Martins, P. E., Galvão, J. A., Oetterer, M. (2008). Otimização e padronização do uso da metodologia para determinação de bases nitrogenadas voláteis totais (BNVT) em camarões *Xyphopeneus kroyeri*. *Braz J Food Technol.* 20, 138-144.

Savay-da-Silva, L. K. (2009). Desenvolvimento do produto de conveniência: tilápia (*Oreochromis niloticus*) refrigerada minimamente processada embalada a vácuo - padronização para a rastreabilidade. Dissertação, Universidade de São Paulo, Brasil.

Shirai, N., Suzuki, H., Tokairin, S., Ehara, H., Wada, S. (2002). Dietary and seasonal effects on the dorsal meat lipid composition of Japanese (*Silurus asotus*) and Thai catfish (*Clarias macrocephalus* and hybrid *Clarias macrocephalus* and *Clarias galipinus*). *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 132, 609–619. doi: 10.1016/s1095-6433(02)00081-8

Sipaúba-Tavares, L. H., Guariglia, C. S. T., Braga, F. M. S. (2007). Effects of rainfall on water quality in six sequentially disposed fishponds with continuous water flow. *Braz J Biol.* 67 (4), 643-649. doi: 10.1590/S1519-69842007000400008

Stansby, M. E. (1973). Polyunsaturates and fat in fish flesh. *J Am Diet Assoc.* 63, 625-630. PMID: 4752060

StartSoft Inc. (2005). *Statistica: data analysis software system and computer program manual, version 7.1*. StartSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, United States of America. Retrieved April 24, 2020 from: <http://www.statsoft.com>

Thomas, C. D., & Lennon, J. (1999). Birds extend their range north-wards. *Nature.* 399, 213. doi: 10.1038/20335

Val, A. L., & Almeida-Val, V. M. (2008). Mudanças climáticas e biodiversidade na Amazônia. In *Proceedings of the 60th Annual Brazilian Society Meeting for Science Progress*. SBCP: Campinas, Brazil.

Table 1

Climatic data from the Guarantã do Norte automatic weather station during the experimental period.

Climate factor	T1		T2		
	C1	C2	C1	C2	
Mean Temperature (°C)	Instant	25.7	24.7	25.0	24.8
	Maximum	26.4	25.5	25.7	25.7
	Minimum	25.1	23.9	24.5	23.9
Mean Humidity (%)	Instant	83	73	85	64
	Maximum	86	76	88	68
	Minimum	80	69	82	59
Accumulated rainfall (mm)	294.6	0.6	431.8	78.4	

T1 = tank A; T2 = tank B; C1 = rainy season; C2 = dry season.

Table 2

Physicochemical analysis of the blanket of pirarucu (*A. gigas*) bred in captivity. Results are expressed as mean \pm standard deviation.

Analysis	T1		T2	
	C1	C2	C1	C2
	A1	A3	A2	A4
TVNB (mgN 100g ⁻¹)	15.43 \pm 1.1896 ^b	10.53 \pm 1.8621 ^c	17.96 \pm 1.1518 ^a	14.75 \pm 2.3554 ^b
pH in 24 h	6.41 \pm 0.1263 ^a	6.23 \pm 0.1393 ^b	6.13 \pm 0.1401 ^c	6.20 \pm 0.0936 ^b
WRC (%)	65.91 \pm 2.2877 ^a	64.19 \pm 0.8261 ^a	66.72 \pm 3.2035 ^a	62.00 \pm 1.1120 ^a

DL (%)	3.61 ± 0.3807 ^a	3.20 ± 0.4287 ^a	3.25 ± 0.9912 ^a	3.36 ± 0.6874 ^a
CL (%)	17.41 ± 0.7854 ^a	15.78 ± 0.9294 ^a	18.01 ± 1.4876 ^a	16.68 ± 1.0047 ^a
Aw	0.9947 ± 0.0012 ^a	0.9913 ± 0.0014 ^b	0.9924 ± 0.0011 ^b	0.9908 ± 0.0009 ^b
SF (N)	2.903 ± 0.5909 ^{ab}	3.108 ± 0.4493 ^{ab}	3.587 ± 0.8267 ^a	2.806 ± 0.2191 ^b

Values in the same line followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$). T1 = tank A; T2 = tank B; C1 = rainy season; C2 = dry season; A1 = 18 months old; A2 = 24 months old; A3 = 25 months old; A4 = 30 months old; TVNB = total volatile nitrogenous base; WRC = water retention capacity; DL = weight loss by dripping; CL = weight loss by cooking; Aw = water activity; SF = shear force.

Table 3

Correlations between axes 1 and 2 of the PCoA for freshness and quality analysis of blanket of pirarucu bred in captivity.

Analysis	Axes	
	PCoA1	PCoA2
TVNB	0.98585	-0.00287
pH in 24 h	-0.64847	-0.22034
WRC	-0.92852	0.228328
DL	0.189077	-0.31319
CL	-0.09234	-0.7382
Aw	-0.79009	-0.16369
SF	0.042131	0.862495

TVNB = total volatile nitrogenous base; WRC = water retention capacity; DL = weight loss by dripping; CL = weight loss by cooking; Aw = water activity; SF = shear force.

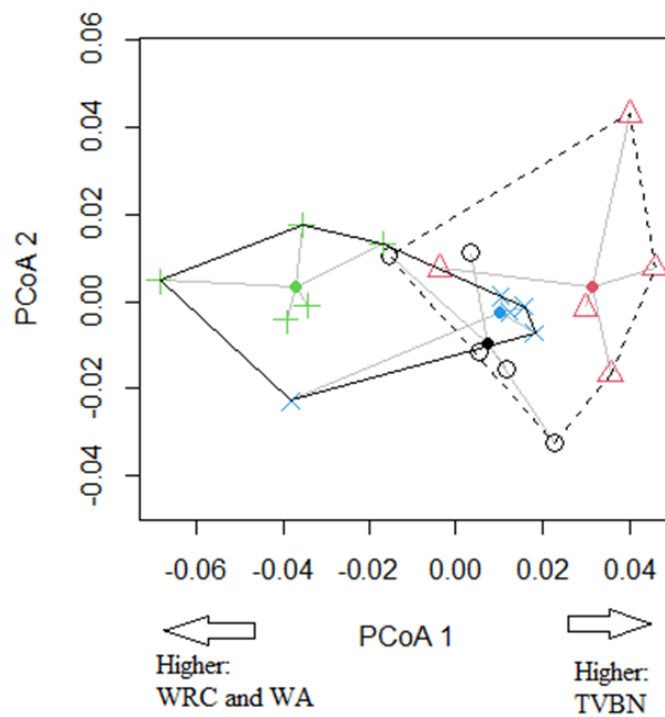


Figure 1. Effect of the age of the animals and the climatic period of the harvests on the freshness and physicochemical composition of the pirarucu blankets of the fish raised in captivity (circle = 18 months; triangle = 24 months; cross = 25 months; X = 30 months. Dotted polygon = rainy season; solid polygon = dry season). TVBN= total volatile base nitrogen; WRC= Water Retention Capacity; WA = Water Activity; CL = weight loss by cooking; DL = weight loss by dripping.

3.5 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E TEOR DE COLÁGENO NA PELE, MÚSCULO E ESCAMA DE PIRARUCU COM DIFERENTES IDADES EM FACE ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS

Krishna R. Rosa^{a,*}, **Maria F. E. Ferreira^b**, **Alessandra A. Silva^c**, **Anaqueli L. Pedroso^b**, **Luciana K. Savay-da-Silva^b**, **Lucia A. F. Mateus^d**, **Wander M. Barros^c** e **Ernesto H. Kubota^e**

^aUniversidade Federal de Santa Maria, 97105-900 Santa Maria – RS, Brasil

^bDepartamento de Alimentos e Nutrição, Universidade Federal de Mato Grosso, 78060-900 Cuiabá - MT, Brasil

^cDepartamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso campus Bela Vista, 78050-560 Cuiabá – MT, Brasil

^dDepartamento de Botânica e Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso, 78060-900 Cuiabá - MT, Brasil

^eDepartamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900 Santa Maria – RS, Brasil

*e-mail: krrhare@gmail.com

PROXIMATE COMPOSITION AND COLLAGEN CONTENT IN SKIN, MUSCLE AND SCALE OF PIRARUCU WITH DIFFERENT AGE IN THE FACE OF CLIMATIC VARIATION. The objective was to quantify the collagen present in the skin, muscle and scale of the pirarucu raised in captivity and to evaluate if there is interference of age and climatic variation on it. The skin and muscle samples were carried out in two different tanks, obtaining 5 animals per harvest per climatic period, tank A with the fishes were 18 months old (C1) and 25 months old (C2); tank B with 24 months of age (C3) and 30 months of age (C4). The scale samples come from 4 animals with 24 months of age from a third tank. The samples were characterized for their proximate composition and amount of total collagen by colorimetry in a UV / VIS spectrophotometer. There was a higher moisture and protein value for muscle in the rainy and dry seasons, respectively. It was found a lower value for moisture, lipids and collagen in the scales and a low correlation between the amount of collagen and proximate composition in the pirarucu samples. It is concluded that pirarucu has an elevated concentration of collagen in its

muscle, skin and scale, which is directly related to its high protein value, but that it does not vary due to the increase in the age of the animal or the season of the year.

Keywords: *Arapaima gigas*; fish farming; tropical climate; moisture; hydroxyproline.

INTRODUÇÃO

O colágeno é uma proteína abundante em animais multicelulares, sendo encontrado em órgãos vitais e tecidos vivos, principalmente no tecido conjuntivo, proporcionando resistência, elasticidade, estrutura, além de participar da morfogênese e do metabolismo celular de novos tecidos.¹⁻² Apresenta distribuição ampla estando presente na pele, músculos, tendões, cartilagens, ossos, dentes, córnea, vasos sanguíneos, escamas e espinhaço de animais vertebrados³, tendo sua presença relatada também em invertebrados tais como medusas, lulas, pepinos-do-mar, corais e anêmonas-do-mar.⁴⁻⁶

Existem cerca de 29 tipos de colágeno⁷ compostos de uma sequência de 20 aminoácidos⁸, dos quais três deles são mais importantes e abundantes, sendo eles a glicina (representando 33,4% do total), prolina e hidroxiprolina. Entretanto, estudos recentes descrevem a hidroxiprolina como participante de 11,3% do peso total do colágeno tipo I, 12,9% do tipo II, 15,0% do tipo III e 14,3% do tipo IV⁹, por isso o mesmo é usualmente utilizado como marcador analítico na quantificação de colágeno e gelatina.¹⁰

As fontes usuais de colágeno na indústria são pele e ossos de bovinos, suínos e aves. Contudo, o risco de transmissão de zoonoses tal como a encefalopatia espongiforme bovina¹¹, assim como restrições éticas, sociais e religiosas^{12,13} e disponibilidade, fizeram com que novos materiais fossem estudados como fontes alternativas de colágeno. Dessa forma o pescado, de água doce e salgada, através da sua pele, escamas, ossos e barbatanas tem-se tornado atualmente uma fonte proeminente.¹⁴⁻²⁰

O pirarucu (*Arapaima gigas*) é um peixe dulcícola de águas lânticas e quentes encontrado na região da Amazônia brasileira e venezuelana descrito como o maior pescado de escama do mundo^{21,22} possuindo um peso médio ao abate de $\pm 10,0$ kg com 18 meses de idade, quando proveniente de piscicultura^{23,24}, e apresentar altos índices de rendimentos industriais com

60,1%²⁵, 66,2%²⁶ e 78,0% de rendimento de carcaça²⁷ e média a baixa produção de resíduos – 6,0% em vísceras, 9,0% pele com escama e 15,5% em espinhaço.²⁸

No Brasil o *A. gigas* alcançou produção total de 1.838.539 kg em 2018²⁹ e com isso produziu 110.312,34 kg de vísceras, 165.468,51 kg de pele com escama e 284.973,55 kg de espinhaço, que são considerados resíduos não utilizados. Assim, trabalhos que proporcionem um reaproveitamento dos resíduos orgânicos são importantes para a indústria da pesca como para o meio ambiente³⁰. Como consequência o objetivo do trabalho foi determinar a quantidade de colágeno em diferentes estruturas do pirarucu com idades distintas expostos à variação climática.

PARTE EXPERIMENTAL

Obtenção da Matéria-prima

A matéria-prima composta por pele, músculo e escama de *Arapaima gigas* foi adquirida em uma Piscicultura e matadouro-frigorífico localizados em Peixoto de Azevedo/MT, região do Portal da Amazônia, que possuem sistema de inspeção municipal (SIM) constituído e regulamentado pelo Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) para produção e comercialização em todo o estado de Mato Grosso, Brasil.

As amostras de pele e músculo foram provenientes dos mesmos espécimes citados no estudo realizado por Rosa et al.³¹ onde realizou-se quatro despesas em dois tanques diferentes (tanque A e B), obtendo-se 5 animais por despesa por período climático, sendo que no primeiro tanque continha cerca de 1.500 peixes os quais possuíam 18 meses de idade (C1) e 25 meses de idade (C2); no segundo cerca de 500 peixes com 24 meses de idade (C3) e 30 meses de idade (C4).

Já as amostras de escamas foram provenientes de 4 animais (N = 4) contendo 24 meses de idade advindos da despesa em novembro/2018 no tanque C (T3) no período da chuva com característica de densidade igual ao tanque B (T2) possuindo mesma criação dos animais do tanque A e B.

O abate seguiu da seguinte forma: inicialmente os peixes passaram pelo processo de insensibilização por choque de água com gelo e abate por sangria e, em seguida foram processados para obtenção de mantas (descamação mecânica com o uso de jato de água de alta pressão

da marca Stihl - modelo RE 230 (São Leopoldo, RS, BR), evisceração, descabeçamento, retirada de nadadeiras e manteamento bilateral com retirada do espinhaço central). Cada peixe teve suas mantas contendo pele colocadas em embalagens plásticas de polietileno transparente, próprias para alimentos as quais foram fechadas à vácuo em seladora de mesa industrial da marca R Baião (Minas Gerais, BR). Utilizou-se do mesmo processo para as escamas. Em seguida, as embalagens foram acondicionadas em caixa de isopor com gelo (± 4 °C) e logo direcionadas ao Laboratório de Tecnologia de Carnes, Pescado e Derivados (LabCarPesc), da Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) do campus Cuiabá – MT, onde foram estocadas em câmara fria *overnight* com temperatura de 4 °C.

Dados climáticos

Durante todo o período de estudo, obteve-se os índices meteorológicos do município de Peixoto de Azevedo/MT – clima tropical - através dos dados cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela Estação Automática de Guarantã do Norte instalada no Viveiro Municipal (altitude 320 m, latitude 09°57'S e longitude 54°53'W) em vista da proximidade dessa estação com a piscicultura onde as coletas foram realizadas – Tanque A (47,4 km de distância, altitude 342m, latitude 10°17'57.76"S e longitude 54°56'29.34"W); Tanque B (38,1 km de distância, altitude 261 m, latitude 10°14'17"S e longitude 54°56'1"W); e Tanque C (45,0 km de distância, altitude 267m, latitude 10°14'51"S e longitude 54°56'22"W). Dentre as informações mensuradas foi possível analisar: temperatura média (instantânea, máxima e mínima); umidade média (instantânea, máxima e mínima); e acumulado de chuva.

Análise centesimal da pele, músculo e escama

A análise de proteína foi realizada através do método de micro-Kjeldahl através do bloco digestor Thoth modelo 2350.40 (Piracicaba, SP, BR) e do destilador de mesma marca (modelo 4250.2) utilizando de fator de correção de 6,25; umidade em estufa a 105 °C da marca Solab modelo SL-120 (Piracicaba, SP, BR); cinzas por incineração a 550 °C em mufla da marca SPLabor modelo SP1200DM (Presidente Prudente, SP, BR); e lipídios totais em aparelho de Soxhlet da marca Marconi modelo MA 044/8/50 (Piracicaba, SP, BR), utilizando-se o éter de petróleo como solvente extrator, todos conforme descrito por Brasil.³² Todas as amostras foram

pesadas em balança analítica da marca Edutec modelo JKI (Curitiba, PR, BR) e as determinações foram realizadas em triplicata utilizando-se dos dados em base seca para proteína e lipídios totais.

Quantificação de colágeno total da pele, músculo e escama de pirarucu

A concentração de colágeno foi determinada de acordo com o método NMKL (no. 127: 2, 2002)³³ para hidroxiprolina total descrito por Kolar³⁴ usando uma determinação colorimétrica como uma medida de colágeno em carnes e produtos cárneos com leitura em espectrofotômetro UV / VIS da BEL Engineering S.R.L. modelo UV-M51 (Piracicaba, SP, BR) em 558 nm cuja curva de calibração obtida foi $y = 0,0792x - 0,0087$; $R^2 = 0,9931$ multiplicando o fator 8,0 para quantificar o colágeno total.

Análise estatística

Para a composição centesimal e os conjuntos de dados de conteúdo de colágeno obtidos, a triagem pré-tratamento foi avaliada usando a análise de variância unilateral (ANOVA) e a análise post hoc da Tukey no nível de significância ($p < 0,05$), as tendências foram consideradas significativas apenas quando as médias foram diferentes; antes, a normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-wilk. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o programa Statistica versão 7.1.³⁵

Utilizou-se o coeficiente de correlação de Person para estimar a correlação entre as porcentagens de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos com a quantidade de colágeno no músculo e na pele.

Para comparar a quantidade de colágeno (mg g^{-1}) entre partes do animal (pele e músculo) idades e períodos utilizou-se um modelo misto de análise de variância.³⁶ Neste modelo parte do corpo, idade e períodos foram considerados como efeito fixo tanque como aleatório, considerando que as medidas foram realizadas em dois tanques diferentes. A idade foi usada no modelo, pois como ela variou entre as períodos e tanques, a diferença no colágeno poderia ser atribuída a ela, portanto foi analisada para separar os efeitos.

As análises foram realizadas no ambiente R.³⁷ O nível de significância adotado foi de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 demonstrou que houve maior valor de umidade e proteína para músculo no período da chuva e seca, respectivamente. Ao passo que o teor de lipídeo encontrado em peles foi superior ao constatado nas outras amostras analisadas, provavelmente devido a disposição da gordura do pescado estar principalmente na pele, conforme indicado na literatura.³⁸

Tabela 1. Composição centesimal e colágeno total em pele e músculo de pirarucu (*A. gigas*) cultivado em cativeiro com diferentes idades e frente à variação climática.

Amostra	Análise	T1		T2	
		C1	C2	C3	C4
Músculo	Umidade (%)	80,26±0,42 ^a	76,87±1,25 ^b	80,93±1,41 ^a	77,34±1,12 ^b
	Cinzas (%)	0,67±0,02 ^c	0,85±0,07 ^a	0,70±0,05 ^{bc}	0,78±0,03 ^{ab}
	Proteína (%)	14,26±0,51 ^b	18,53±1,46 ^a	13,52±1,20 ^b	18,11±0,66 ^a
	Lipídeos (%)	1,16±0,24 ^b	2,19±0,86 ^a	1,18±0,11 ^b	0,69±0,14 ^b
	Colágeno (%)	1,36±0,07 ^a	1,44±0,03 ^a	1,12±0,02 ^a	1,36±0,04 ^a
Pele	Umidade (%)	63,95±0,90 ^a	64,44±0,74 ^a	64,26±1,02 ^a	63,19±1,15 ^a
	Cinzas (%)	0,71±0,06 ^a	0,65±0,05 ^{ab}	0,68±0,06 ^{ab}	0,61±0,02 ^b
	Proteína (%)	32,51±0,91 ^a	30,24±0,73 ^b	29,64±1,13 ^b	30,59±0,83 ^b
	Lipídeos (%)	5,44±1,29 ^a	6,34±1,43 ^a	6,40±1,14 ^a	6,26±0,97 ^a
	Colágeno (%)	13,44±0,41 ^a	14,08±0,43 ^a	15,20±0,36 ^a	17,92±0,44 ^a

Nota: Os dados são expressos como média das repetições ± desvio padrão. Os valores na mesma linha seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). T1 = Tanque A; T2 = Tanque B; C1 = período chuvoso e animais com 18 meses de idade; C2 = período de seca e animais com 25 meses de idade; C3 = período chuvoso e animais com 24 meses; C4 = período de seca e animais com 30 meses de idade.

Diversos autores caracterizaram a carne de pirarucu quanto à sua composição centesimal, entretanto não utilizaram o mesmo corte deste estudo, sendo possível obter resultados referente a diferentes partes do mesmo tais como: filé de pirarucu^{28,38,39,23,40-44}, região dorsal e ventral do pirarucu^{25,45,46}, região dorsal, ventral, ventrecha e cauda de pirarucu⁴⁷, e corte não especificado de pirarucu.⁴⁸

Neste sentido, Carvalho³⁹, Oliveira *et al.*,⁴⁵ Maciel *et al.*,⁴¹ Oliveira,²⁵ e Santos *et al.*,⁴³ relataram valores mais aproximados aos dos resultados obtidos neste trabalho (80,4% umidade,

18,0% proteína, 0,4% lipídios e 0,7% cinzas)³⁹, (dorso: $79,51 \pm 0,52\%$ umidade, $17,56 \pm 0,12\%$ proteína, $0,62 \pm 0,02\%$ lipídios e $0,87 \pm 0,06\%$ cinzas; ventre: $77,88 \pm 0,53\%$ umidade, $16,10 \pm 0,37\%$ proteína, $2,49 \pm 0,03\%$ lipídios e $0,84 \pm 0,05\%$ cinzas)⁴⁵, ($79,58 \pm 0,92\%$ umidade, $17,01 \pm 0,51\%$ proteína, $0,86 \pm 0,03\%$ lipídios e $0,65 \pm 0,04\%$ cinzas)⁴¹, (dorso: $79,51 \pm 0,52\%$ umidade, $17,56 \pm 0,12\%$ proteína, $0,62 \pm 0,02\%$ lipídios e $0,87 \pm 0,06\%$ cinzas; ventre: $77,88 \pm 0,53\%$ umidade, $16,10 \pm 0,37\%$ proteína, $2,49 \pm 0,03\%$ lipídios e $0,84 \pm 0,05\%$ cinzas)²⁵ e (região cranial: 78,26% umidade, 16,52% proteína, 2,56% lipídios e 1,11% cinzas; região medial: 76,19% umidade, 16,71% proteína, 1,07% lipídios e 1,07% cinzas; região caudal: 76,52% umidade, 16,60% proteínas, 5,47% lipídios e 0,95% cinzas)⁴³.

Enquanto que Martins *et al.*,⁴² e Freitas e Mattietto⁴⁴ descreveram valor inferior em umidade e superior em proteína e lipídeos. Ao passo que Gonzaga Junior⁴⁰, Fogaça *et al.*,²³ Martins *et al.*,⁴⁹ e Coutinho *et al.*,⁴⁸ relataram valores maiores para proteína e cinzas. E, Dias²⁸ descreveu valor maior em cinzas e menor em lipídeos, sendo o inverso do relatado por Cortegano *et al.*⁴⁶

Todavia, quando se trata da pele de pirarucu existe apenas um trabalho científico descrito, sendo este realizado por Carpio⁴⁹ o qual porcionou a pele em ventre, lombo e cauda, sendo que apenas o valor de proteína da cauda se assemelha ao deste trabalho (31,43%), sendo que todos os valores de umidade e cinzas estão abaixo (53,61% e 0,20%, respectivamente) e o de lipídeos acima do constatado neste trabalho (19,27%).

Enquanto que se verificou equivalência em umidade para *Piaractus brachyomus* e *Hypophthalmichthys molitrix* ($64,30 \pm 0,89\%$ e $65,30 \pm 0,08\%$, respectivamente)⁵⁰, em cinzas para *Odonus niger* ($25,03 \pm 0,45\%$)⁵¹ e em umidade e proteína para *Piaractus mesopotamicus* e apenas em proteína para *Oreochromis niloticus* (67,14%).⁵²

E divergência com valores inferiores em umidade, lipídeos e cinzas e superiores em proteína em pele de *Pseudoplatystoma* sp.;⁵³ inferior em umidade, proteína e lipídeos em pele de *Niger triggerfish*;⁵¹ superior em umidade e cinzas e inferior em proteína e lipídeos em pele de *Protonibea diacanthus* ⁵⁴ e Tilápia do Nilo;⁵⁵ superior em umidade e cinzas e inferior em proteína em pele de *Lates niloticus*;⁵⁶ superior em umidade e lipídeos e inferior em proteína e cinzas em pele de Tilápia do Nilo;⁵⁷ superior em proteínas e cinzas e inferior em umidade e lipídeos para pele de *Colossoma macropomum*;⁵² superior para umidade e cinzas e inferior para

lipídeos em pele de Tilápia do Nilo e superior para cinzas e inferior para lipídeos em pele de pacu.⁵²

A composição química do pescado pode variar de acordo com muitos fatores entre eles espécie, idade, sexo, desenvolvimento e variações sazonais.⁵⁸ Neste sentido, verificou-se incremento nos valores de proteína, cinzas e lipídios e diminuição da umidade no período da seca em manta de pirarucu, ao passo que para pele de pirarucu observou-se diferença estatística apenas para proteína e cinzas que tiveram seu valor reduzido no mesmo período enquanto que tanto para umidade quanto para lipídios não se observou variação significativa.

Entretanto, não houve diferença estatística para colágeno total em todas as amostras (pele e músculo), assim como para lipídeos em pele de pirarucu nas diferentes idades frente à variação climática (chuva e seca) (Tabela 1).

Tais resultados são contrários aos descritos por Rocha *et al.*,⁵⁹ que avaliaram a composição centesimal da pele de *Phractocephalus hemioliopus* relatando aumento em proteína, lipídios e cinzas no período da seca ($42,0 \pm 0,89\%$ proteína, $3,91 \pm 1,12\%$ lipídios e $0,67 \pm 0,13\%$ cinzas) e aumento da umidade no período da cheia ($61,20 \pm 4,47\%$ umidade).

Ao passo que a Tabela 2 relata os resultados da composição centesimal e colágeno total em escama de pirarucu onde tem-se menor valor para umidade, lipídeos e colágeno dentre todas as amostras analisadas.

Tabela 2. Composição centesimal e colágeno total em escama de pirarucu (*A. gigas*) cultivado em cativeiro no período da chuva.

Amostra	Análise	T3
		C3
Escama	Umidade (%)	38,85±1,21
	Cinzas (%)	32,97±0,74
	Proteína (%)	31,97±0,95
	Lipídeos (%)	0,05±0,01
	Colágeno (%)	10,88±0,11

Nota: T3 = Tanque C; C3 = período chuvoso e animais com 24 meses.

Não existe nenhum trabalho publicado para escama de pirarucu, visto isto, tal material foi comparado com a Tilápia do Nilo onde Vivian⁶⁰ descreveu valores maiores para proteína,

lipídeos e cinzas e menor para umidade, sendo que isso pode ter ocorrido devido a realização de secagem prévia a 60°C realizada pelo autor, provocando redução parcial na umidade; E, Martins *et al.*,⁶¹ relataram valores maiores em proteína e lipídeos e menores em cinzas e umidade, porém os mesmos mantiveram as amostras em temperatura ambiente por 24 horas antes da análise, o que também pode ter levado a perda de umidade.

Para o colágeno total constatou-se valores muito superiores na pele e escama de pirarucu tal como para proteína, obtendo quase que o dobro do valor encontrado em manta de pirarucu (Tabelas 1 e 2). Essa maior quantidade de colágeno na escama, apresenta relação com a hidroxiapatita, que são moléculas ligadas a minerais, que formam estruturas semelhantes a ossos, explica os elevados valores de cinzas encontrados nessas amostras (Tabela 2).^{63,64}

Comparando os resultados aqui obtidos em colágeno para manta de *A. gigas* com os relatados em outras espécies, verifica-se uma maior concentração em músculo dorsal, ventral e linha lateral de *Pangasianodon gigas*,⁶⁴ ao passo que se tem uma menor concentração em músculo de *Ctenopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys nobilis*, *Acipenser baerii* e *Silurus glanis*.⁶⁵ E menor teor de colágeno em pele de *Nezumia aequalis*, *Chimaera monstrosa*, *Etmopterus* spp., *Galeus* spp., *Scyliorhinus canicula* e *Leucoraja naevus*.⁶⁶

A hidroxiprolina e a prolina desempenham papéis importantes para a estabilidade do colágeno. O conteúdo de colágeno no músculo contribui para a firmeza, que é um fator importante para determinar a qualidade da carne.⁶⁴ Morrisey e Fox⁶⁷ relataram que o conteúdo de hidroxiprolina na carne dos peixes varia de 30 a 98 mg 100g⁻¹, dependendo da espécie de peixe. Em relação à concentração de colágeno na escama de pirarucu, nota-se similaridade com o descrito em *Cyprinus carpio*,⁶⁸ enquanto que se verificou maior concentração em *Lates calcarifer*⁶⁹, *Parupeneus heptacanthus*⁷⁰ *Oreochromis niloticus*⁷¹ e diminuição em *Probarbus jullieni*.⁷²

Tylingo *et al.*,⁷³ obtiveram valores de colágeno em pele de *Salmo salar* similares ao constatado neste trabalho no pirarucu com 24 meses (13,712 ± 0,0317%); ao passo que Li *et al.*,⁷⁴ relatou para pele de *Ictalurus punctatus* valor igual ao pirarucu com 25 meses (14,2 ± 0,19%); e Gaona⁵⁰ demonstrou para pele de *Piaractus brachypomus* valor semelhante ao pirarucu com 30 meses de idade (17,86 ± 2,91%).

E, de modo geral ao comparar os valores obtidos em colágeno para pele de *A. gigas* e outras espécies tem-se que a *Cyprinus carpio*,⁶⁸ *Hypophthalmichthys molitrix*,⁵⁰ *Pseudoplatystoma* sp., *Piaractus mesopotamicus*, *Oreochromis niloticus* e *Colossoma macropomum*⁵³ possuem maior concentração desse composto enquanto que a *Oreochromis niloticus*⁵⁰, *Salmo salar*, *Clarias gariepinus* e *Gadus morhua*⁷³ possuem menor concentração de colágeno na pele. Tais concentrações de colágeno seguem a tendência observada em proteína bruta para as mesmas porções e espécies visto que aquela é a principal estrutura proteica conectiva dos tecidos dos animais,⁷⁴ porém tal condição não foi confirmada neste estudo.

Os coeficientes de correlação da quantidade de colágeno com as porcentagens de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos foram baixos tanto para o músculo quanto para a pele e as porcentagens das variáveis analisadas não foram significativamente correlacionadas com o colágeno (Tabela 3).

Tabela 3. Correlação entre a quantidade de colágeno com as porcentagens de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos da pele e músculo de pirarucu.

Variável	Músculo	Pele
Umidade	$r = -0,41, p = 0,07$	$r = 0,16, p = 0,50$
Cinzas	$r = 0,23, p = 0,32$	$r = 0,09, p = 0,70$
Proteína	$r = 0,33, p = 0,15$	$r = 0,05, p = 0,83$
Lipídios	$r = 0,25, p = 0,29$	$r = -0,30, p = 0,19$

Considerando os tipos de amostras (pele e músculo), idade dos animais e período climático, a quantidade de colágeno variou significativamente apenas com o tipo de amostra, sendo sua quantidade maior na pele. No entanto, não houve diferença com relação à idade ou ao período climático amostrado (Tabela 4 e Figura 1).

Tabela 4. Análise de Variância efeito do tipo de amostra (tipo), idade dos animais e período climático sobre a quantidade de colágeno.

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio (QM)	F	P
(1) Tipo	2987	1	2987	347,271	<0,001
(2) Idade	5,4	1	5,4	0,626	0,435
(3) Período	14,2	1	14,2	1,655	0,208

1 x 2	38,3	1	19,2	2,229	0,124
1 x 3	8,9	2	8,9	1,029	0,318
Resíduos	275,2	32	8,6		

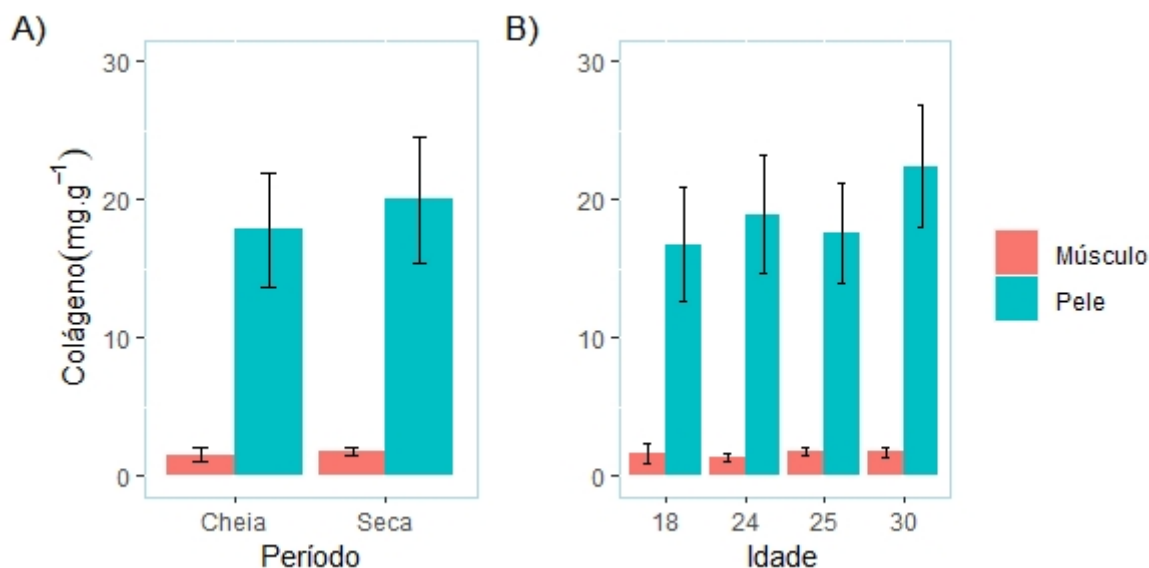


Figura 1. Análise de Variância efeito da idade dos animais e período climático sobre a quantidade de colágeno em pirarucu: a) Descrição da influência pelo período climático (chuva e seca); b) Descrição da influência pela diferença de idade dos animais (18, 24, 25 e 30 meses).

Além disso, não foi verificada influência na concentração de colágeno em detrimento da estação do ano nem da idade tanto para o músculo quanto para a pele de pirarucu, resultado que diverge do relatado por Touhata *et al.*,⁷⁵ que em seu estudo com o músculo de *Pagrus major* de animais machos e fêmeas na região da Baía de Gokasho no Japão constatou que ao se aproximar da primavera a concentração de colágeno aumentava, chegando ao seu ápice no verão. Tal condição pode ser advinda do incremento da temperatura da água que estimula esta espécie a produzir mais colágeno obtendo mais firmeza na musculatura, auxiliando, assim na migração para fins de reprodução.

CONCLUSÃO

O pirarucu possui elevada concentração de colágeno em seu músculo, pele e escama estando este diretamente relacionada ao seu teor proteico. Foi possível verificar que o teor de

colágeno não foi influenciado pela idade do animal, tampouco pela estação do ano, chuva e seca, podendo-se justificar tal fato pela localização da criação desses animais em uma região de baixa flutuação de temperatura do ar e pela espécie de grande porte e características tão peculiares. Entretanto, novos estudos se fazem necessário visando maior aprofundamento analítico, como a caracterização do tipo de colágeno e composição de aminoácidos para que conclusões mais assertivas possam ser feitas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Piscicultura Longo pela parceria e disponibilização de matéria-prima e à Mariane Bittencourt Fagundes pelo expressivo auxílio na análise estatística dos dados. Os autores agradecem ao auxílio financeiro recebido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso através do edital 36/2017. K.R. Rosa agradece à CAPES (Código de Apoio 001) pela bolsa concedida e ao PPGCTA/UFSM.

MATERIAL SUPLEMENTAR

O cultivo foi idêntico para todos os peixes desde a desova até o abate, sendo estes alimentados no período matutino com 85,0 g kg⁻¹ de peso vivo com ração artificial seca específica para peixes carnívoros engorda, com composição proximal de umidade máxima de 100,00 g kg⁻¹, proteína bruta mínima de 400,00 g kg⁻¹, extrato etéreo mínimo de 100,00 g kg⁻¹, fibra bruta máxima de 45,00 g kg⁻¹ e matéria mineral máxima de 130,00 g kg⁻¹. Para ambos os casos os peixes foram mantidos em tanques escavados que possuíam a mesma dimensão: 6.525 m² (45 m largura, 145 m comprimento e 2 m de profundidade na área de entrada da água de renovação e 3,5 m de profundidade na área mais profunda) e 17.980 m³ de água.

Para as amostras de pele e músculo procedeu-se, alternadamente, quatro despescas, duas despescas por tanque, em períodos da chuva (C1) em novembro/2017 no tanque A (T1) e chuva (C3) janeiro/2018 no tanque B (T2) e da seca (C2) em junho/2018 no tanque A e seca (C4) julho/2018 no tanque B. Ao longo do experimento foram coletados 5 espécimes/tanque/despesca, ou seja, N = 5 animais por coleta tendo total de N = 20 animais.

A Tabela 1S descreve os dados climáticos da estação automática de Guarantã do Norte onde nota-se que a temperatura manteve alta durante todo o período do estudo, variando significativamente a umidade e o acumulado de chuva.

Tabela 1S. Dados climáticos da estação automática de Guarantã do Norte obtidos via INMET durante o período do experimento.

Fator Climático		T1		T2		T3
		C1	C2	C3	C4	C3
Temperatura Média (°C)	Instantâneo	25,7	24,7	25,0	24,8	25,5
	Máximo	26,4	25,5	25,7	25,7	26,1
	Mínimo	25,1	23,9	24,5	23,9	25,0
Umidade média (%)	Instantâneo	83	73	85	64	85,9
	Máximo	86	76	88	68	88,5
	Mínimo	80	69	82	59	83
Acumulado de chuva (mm)		294,6	0,6	431,8	78,4	274,72

T1 = Tanque A; T2 = Tanque B; T3 = Tanque C; C1 = período chuvoso e animais com 18 meses de idade; C2 = período de seca e animais com 25 meses de idade; C3 = período chuvoso e animais com 24 meses; C4 = período de seca e animais com 30 meses de idade.

REFERÊNCIAS

1. Makareeva, E.; Leikin, S.; Em *Collagen Structure, Folding and Function*, Shapiro, J. R.; Byers, P. H.; Glorieux, F. H.; Sponseller, P. D., eds.; New York: Elsevier, 2014, p. 71-83.
2. Skopinska-Wisniewska, J.; Wegrzynowska-Drzymalska, K.; Bajek, A.; Maj, M.; Si-onkowska, A.; Is dialdehyde starch a valuable cross-linking agent for collagen/elastin based materials? *J Mater Sci Mater Med.* **2016**, *27*, 67.
3. Ogawa, M.; Portier, R. J.; Moody, M. W.; Bell, J.; Schexnayder, M. A.; Losso, J. N.; Biochemical properties of bone and scale collagens isolated from the sub-tropical fish black drum (*Pogonia cromis*) and sheepshead seabream (*Archosargus probatocephalus*). *Food Chem.* **2004**, *88*, 495.
4. Zeugolis, D. I.; Raghunath, M.; Em *Collagen: Materials Analysis and Implant Uses*, Ducheyne, P.; Healy, K.; Hutmacher, D.; Grainger, D.; Kirkpatrick, C., eds.; 1st ed., Ebook. Elsevier Science, 2011, p. 261-278.

5. Siddiqui, Y. D.; Arief, E. M.; Yusoff, A.; Hamid, S. S. A.; Norani, T. Y.; Abdullah, M. Y. S.; Extraction, Purification and Physical Characterization of Collagen from Body wall of Sea cucumber *Bohadschia bivitatta*. *Health Environ J.* **2013**, *4*, 53.
6. Jankangram, W.; Chooluck, S.; Pomthong, B.; Comparison of the properties of collagen extracted from dried jellyfish and dried squid. *Afr J Biotechnol.* **2016**, *15*, 642.
7. Fauzi, M. B.; Lokanathan, Y.; Aminuddin, B. S.; Ruszymah, B. H. I.; Chowdhury, R. S.; Ovine tendon collagen: Extraction, characterisation and fabrication of thinfilms for tissue engineering applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* **2016**, *68*, 163.
8. Shoulders, M. D.; Raines, R. T.; Collagen Structure and Stability. *Annu Rev Biochem.* **2009**, *7*, 929.
9. Bhattacharjee, A.; Bansal, M.; Collagen structure: the Madras triple helix and the current scenario. *IUBMB Life.* **2005**, *57*, 161.
10. Ignat'Eva, N. Yu.; Danilov, N. A.; Averkiev, S. V.; Obrezkova, M. V.; Lunin, V. V.; Sobol, E. N.; Determination of hydroxyproline in tissues and the evaluation of the collagen content of the tissues. *J Anal Chem.* **2017**, *62*, 51.
11. Kittiphattanabawon, P.; Benjakul, S.; Visessanguan, W.; Nagai, T.; Tanaka, M.; Characterization of acid-soluble collagen from skin and bone of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*). *Food Chem.* **2005**, *89*, 363.
12. Zhang, Y.; Wentao, L.; Guoying, L.; Bi, S.; Yuqing, M.; Xiaohua, W.; Isolation and partial characterisation of pepsin-soluble collagen from the skin of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Food Chem.* **2007**, *103*, 906.
13. De la Torre, G. M.; *Tese de Doutorado*, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2013.
14. Deshmukh, K.; Nimni, M. E.; Characterization of the aldehydes presents on the cyanogen bromide peptides from mature rat skin collagen. *Biochem.* **1971**, *10*, 1640.
15. Sadowska, M.; Kolodziejska, I.; Niecikowska, C.; Isolation of collagen from the skin of Baltic cod (*Gadus morhua*). *Food Chem.* **2003**, *81*, 257.

16. Lee, K.; Park, H. Y.; Kim, Y. K.; Park, J.; Yoon, H. D.; Biochemical characterization of collagen from the starfish *Asterias amurensis*. *J Korean Soc Appl Biol Chem.* **2009**, *52*, 221.
17. Jin-Feng, D.; Xiu-Rong, S. U.; Chun-Dan, Z.; Extraction of collagen from jellyfish (*Rhopilema esculentum*) and wound healing-promoting effect in mouse. *J Food Sci.* **2010**, *31*, 19.
18. Martínez, G.; Uresti, R. M.; Ramirez, J. A.; Velazquez, G.; Extracción y caracterización de algunas propiedades fisico-químicas de gelatina de piel de trucha. *Revista Ciencia U.A.Q.* **2011**, *4*, 26.
19. Shanmugam, V.; Ramasamy, P.; Subhadrappa, N.; Sudharsan, S.; Seedeivi, P.; Mooven-dhan, M.; Krishnamoorthy, J.; Shanmugam, A.; Srinivasan, A.; Extraction, structural and physical characterization of type I collagen from the outer skin of *Sepiella inermis* (Orbigny, 1848). *Afr J Biotechnol.* **2012**, *11*, 14326.
20. Hoyer, B.; Bernhardt, A.; Lode, A.; Heinemann, S.; Sewing, J.; Klinger, M.; Notbohm, H.; Gelinsky, M.; Jellyfish collagen scaffolds for cartilage tissue engineering. *Acta Bi-omater.* **2014**, *10*, 883.
21. Imbiriba, E. P.; Potencial de criação de pirarucu em cativeiro. *Acta Amaz.* **2001**, *31*, 299.
22. Ono, E. A.; Halverson, M. R.; Kubitzka, D. F.; Pirarucu - O gigante esquecido. *Revista Panorama da Aqüicultura.* **2004**, *14*, 14.
23. Fogaça, S. H. F.; Oliveira, G. E.; Carvalho, Q. E. S.; Santos, S. J. F.; Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. *Acta Sci Anim Sci.* **2011**, *33*, 95.
24. Silva, L. G.; Ferreira, L. A. S.; Ribeiro, I. A.; Ribeiro, C. F. A.; Silva, J. T. M.; Santos, L. F. C.; Caracterização do cultivo de pirarucu no município de Conceição do Araguaia – Estado do Pará. *Amazôn, Ciênc Desenvolv.* **2012**, *8*, 56.
25. Oliveira, P. R.; *Tese de Doutorado*, INPA/UFAM, Manaus, Brasil, 2007.
26. Pinheiro, L. M.; *Monografia de Graduação*, Fundação Universidade Federal de Rondônia/UNIR, Presidente Médici, Brasil, 2014.

27. Seering, A. S.; *Panorama da industrialização do pescado – Mar & Terra*, 2014. <http://www.ptdocz.com/586772/pirarucu---sebrae>, acessada em Setembro de 2018.
28. Dias, A. F.; *Dissertação de Mestrado*, INPA, Manaus, Brasil, 1983.
29. IBGE.; *Produção da Pecuária Municipal – 2018*, Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2019.
30. Bezerra, R. S.; Lins, E. J. F.; Alencar, R. B.; Paiva, P. M. G.; Chaves, M. E. C.; Coelho, L. C. B. B.; Carvalho, L. B.; Alkaline proteinase from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PBIO, Process Biochem.* **2005**, *40*, 1829.
31. Rosa, K. R.; Almeida, A. A.; Barros, W. M.; Pedroso, A. L.; Ferreira, M. F. E.; Savayda-Silva, L. K.; Mateus, L. A. F.; Fagundes, M. B.; Wagner, R.; Kubota, E. H. Characterization of the influence of pirarucu age and weight on their physicochemical composition. *Food Compost Anal.* **2021**, *104*, 104172.
32. BRASIL.; *Métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de pescado e seus derivados*, IN 25 MAPA Sect. I., 2011.
33. NMKL 127.; Em **Hydroxyproline. Colorimetric Determination as a Measure of Collagen in Meat and Meat Products**, Dikeman, M.; Devine, C.; eds., Encyclopedia of Meat Sciences. 2nd ed. London/UK: Academic Press, 2002.
34. Kolar K.; Colorimetric determination of hydroxyproline as measure of collagen content in meat and meat products: NMKL collaborative study. *J Assoc Off Anal Chem.* **1990**, *73*, 54.
35. StartSoft Inc.; **Statistica: data analysis software system and computer program manual, version 7.1.**, StartSoft Inc., Tulsa (US-OK), 2005.
36. Quinn, G. P.; Keough, M. J.; *Experimental design and data analysis for biologists*. New York: Cambridge University Press, 2002.
37. R Core Team.; **R: A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing, Vienna (AT), 2019.
38. Contreras-Guzmán, E.; *Bioquímica de pescados e derivados*. Jaboticabal: FUNEP, 1994.

39. Carvalho, M. A. F.; *Dissertação de Mestrado*, INPA/UFAM, Manaus, 1998.
40. Gonzaga Júnior, M. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre, 2010.
41. Maciel, R. A.; Viana, C. M. C.; Simões, M. G.; Fontelles, M. J. P.; Desidratação osmótica de filés de pirarucu (*Arapaima gigas*). *RBTA, Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*. **2012**, *6*, 618.
42. Martins, M. G.; Martins, D. E. G.; Pena, R. S.; Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT - Food Sci Technol*. **2015**, *62*, 144.
43. Santos, J. S. L.; Mársico, E. T.; Cinquini, M. A.; Silva, F. A.; Conte Junior, C. A.; Monteiro, M. L. G.; Physicochemical and sensory characterization of three different portions from commercial pirarucu (*Arapaima gigas*) fillets. *Braz J Food Technol*. **2018**, *21*, e2017178.
44. Freitas, A. F.; Mattietto, R. A.; *Características Físico-Químicas e Sensoriais de Pirarucu (Arapaima gigas) Cultivado em Tanque-Rede*. Belém/PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020.
45. Oliveira, P. R.; Jesus, R. S.; Batista, G. M.; Lessi, E.; Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. *Braz J Food Technol*. **2014**, *17*, 67.
46. Cortegano, C. A. A.; Godoy, L. C.; Petenuci, M. E.; Visentainer, J. V.; Affonso, E. G.; Gonçalves, L. U.; Nutritional and lipid profiles of the dorsal and ventral muscles of wild pirarucu. *PAB, Pesq Agropec Bras*. **2017**, *52*, 271.
47. Martins, M. G.; Martins, D. E. G.; Pena, R. S.; Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). *Food Sci Technol*. **2017**, *37*, 651.
48. Coutinho, N. M.; Canto, A. C. V. C. S.; Mársico, E. T.; Silva, F. A.; Keller, L. A. M.; Conte-Junior, C. A.; Monteiro, M. L. G.; Fatty acid composition and influence of temperature on the lipid stability of *Arapaima gigas* meat. *Braz J Food Technol*. **2019**, *22*, e2018132.

49. Carpio, K. C. R.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, 2018.
50. Gaona, J. C. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Nacional da Colômbia, Bogotá, Colômbia, 2011.
51. Muralidharan, N.; Shakila, R. J.; Sukumar, D.; Jeyasekaran, G.; Skin, bone and muscle collagen extraction from the trash fish, leather jacket (*Odonus niger*) and their characterization. *J Food Sci Technol.* **2013**, *50*, 1106.
52. Franco, M. L. R. S.; Franco, N. P.; Gasparino, E.; Dorado, D. M.; Prado, M.; Vesco, A. P. D.; Comparação das peles de tilápia do Nilo, pacu e tambaqui: Histologia, composição e resistência. *Arch. Zootec.* **2013**, *62*, 21.
53. Prado, M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, 2011.
54. Jakhar, J. K.; Reddy, A. D.; Maharia, S.; Devi, H. M.; Reddy, G.V. S.; Venkateshwarlu, G.; Characterization of fish gelatin from Blackspotted Croaker (*Protonibea diacanthus*). *Arch Appl Sci Res.* **2012**, *4*, 1353.
55. Basso, T. R.; Urnau, R. M.; Brandalize, C.; Simões, M. R.; *Resumos do 3º Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência*, Toledo, Brasil, 2013.
56. Muyonga, J. H.; *Tese de Doutorado*, University of Pretoria, Pretoria, África do Sul, 2003.
57. Figueiredo, G. I.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2015.
58. Torres, F. G.; Troncoso, O. P.; Nakamatsu, J.; Grande, C. J.; Gomez, C. M.; Characterization of the nanocomposite laminate structure occurring in fish scales from *Arapaima Gigas*. *Mater Sci Eng C.* **2008**, *28*, 1276.
59. Rocha, M. D. P. S. S.; Silva, A. J. I.; Barcellos, J. F. M.; Melo, K. S. G.; Atayde, H. M.; Composição centesimal das peles de Pirarara (*Phractocephalus hemioliopus*). *Braz J Anim Environ Res.* **2020**, *3*, 1018.

60. Vivian, M. M. P. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Brasil, 2013.
61. Martins, M. D. O.; Claudino, R. L.; Morais, J. P. S.; Cassales, A. R.; Alexandre, L. C.; Souza, B. W. S.; Alcântara, L. O.; Sousa, J. R.; Souza Filho, M. de S. M.; *Obtenção de gelatina a partir de escama de tilápia (Oreochromis niloticus): características químicas e físico-químicas*. Fortaleza/CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2015.
62. Badolato, E. S. G.; Carvalho, J. B.; Amaral Mello, M. R. P.; Tavares, M.; Campos, N. C.; Aued-Pimentel, S.; Morais, C.; Centesimal composition of fatty acids and caloric value of five marine fish species in different seasons. *Rev Inst Adolfo Lutz*. **1994**, *54*, 27.
63. Gonçalves, A. A.; *Tecnologia do Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação*, São Paulo: Editora Atheneu, 2001.
64. Chaijan, M.; Jongjareonrak, A.; Phatcharat, S.; Benjakul, S.; Rawdkuen, S.; Chemical compositions and characteristics of farm raised giant catfish (*Pangasianodon gigas*) muscle. *LWT - Food Sci Technol*. **2010**, *43*, 452.
65. Pyz-Łukasik, R.; Paszkiewicz, W.; Species Variations in the Proximate Composition, Amino Acid Profile, and Protein Quality of the Muscle Tissue of Grass Carp, Bighead Carp, Siberian Sturgeon, and Wels Catfish. *J Food Qual.* (**2018**), doi: 10.1155/2018/2625401.
66. Stoletto, C. G.; Comesaña, M. B.; Ariza, P. R.; Pérez-Martín, R. I.; Characterization of Collagen from Different Discarded Fish Species of the West Coast of the Iberian Peninsula. *J Aquat Food Prod Technol*. **2015**, *25*, 388.
67. Morrisey, P. A.; Fox, P. F.; Tenderization of meat: review. *Ir J Fd Sci Technol*. **1981**, *5*, 33.
68. Duan, R.; Zhang, J.; Du, X.; Yao, X.; Konno, K.; Properties of collagen from skin, scale and bone of carp (*Cyprinus carpio*). *Food Chem*. **2009**, *112*, 702.

69. Chuaychan, S.; Benjakul, S.; Kishimura, H.; Characteristics of acid-and pepsin-soluble collagens from scale of seabass (*Lates calcarifer*). *LWT - Food Sci Technol.* **2015**, *63*, 71.
70. Matmaroh, K.; Benjakul, S.; Prodpran, T.; Encarnacion, A. B.; Kishimura, H.; Characteristics of acid soluble collagen and pepsin soluble collagen from scale of spotted golden goatfish (*Parupeneus heptacanthus*). *Food Chem.* **2011**, *129*, 1179.
71. Kittiphattanabawon, P.; Sriket, C.; Kishimura, H.; Benjakul, S.; Characteristics of acid and pepsin solubilized collagens from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale. *Emirates J Food Agric.* **2019**, *31*, 95.
72. Ali, A. M. M.; Benjakul, S.; Kishimura, H.; Molecular characteristics of acid and pepsin soluble collagens from the scales of golden carp (*Probarbus jullieni*). *Emirates J Food Agric.* **2017**, *29*, 450.
73. Tylingo, R.; Mania, S.; Panek, A.; Piątek, R.; Pawłowicz, R.; Isolation and Characterization of Acid Soluble Collagen from the Skin of African Catfish (*Clarias gariepinus*), Salmon (*Salmo salar*) and Baltic Cod (*Gadus morhua*). *J Biotechnol Biomater.* **2016**, *6*, 234.
74. Li, M. H.; Robinson, E. H.; Oberle, D. F.; Bosworth, B. G.; Proximate Composition and Collagen Concentration of Processing Residue of Channel Catfish. *N Am J Aquac.* **2007**, *69*, 211.
75. Touhata, K.; Tanaka, M.; Toyohara, H.; Tanaka, H.; Sakaguchi, M.; Seasonal change in collagen content of red seabream muscle. *Fisheries Sci.* **2000**, *66*, 553.

3.6 OTIMIZAÇÃO DA SALGA DE MANTA DE PIRARUCU CRIADO EM CATI-VEIRO

Krishna R. de Rosa ^{a,*}, Alessandra A. da Silva ^b, Anaqueli L. Pedroso ^c, Maria Fernanda E. Ferreira ^c, Luciana K. Savay-da-Silva ^c, Márcia H. Scabora ^d, Wander M. de Barros ^e, Renius de O. Mello ^f, Ernesto H. Kubota ^f

^a Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

^b Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso campus Bela Vista, IFMT BLV, Cuiabá, MT, Brasil

^c Departamento de Alimentos e Nutrição, Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá, MT, Brasil

^d Faculdade de Tecnologia do Senai Cuiabá, Eixo Produção Alimentícia, FATEC SENAI MT, Cuiabá, MT, Brasil

^e Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso campus Bela Vista, IFMT BLV, Cuiabá, MT, Brasil

^f Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

Destaques

- Não houve efeito do tempo de salga sobre nenhuma das variáveis dependentes analisadas.
- A concentração de sal influenciou diretamente a atividade de água, cloreto de sódio e rendimento das amostras.
- Sugere-se a salga seca utilizando 21,6% de sal com 24 h de salga para atendimento da legislação.

Resumo

Objetivou-se realizar um estudo de otimização da salga de manta de pirarucu (*Arapaima gigas*) criado em cativeiro através de ensaios com diferentes concentrações de sal grosso e tempos de salga visando sugerir um protocolo de fabricação da mesma que atenda à legislação vigente. Utilizou-se 14 unidades de manta de pirarucu congelado com peso médio de 400 ± 10 g e ± 5 cm de espessura proveniente de espécimes com 24 meses de idade que foram salgadas secas sob refrigeração uma única vez. Montou-se um delineamento composto rotacional com duas variáveis independentes (concentração de sal – 10, 12,9, 20, 27,1 e 30% e tempo de salga – 24, 34,5, 60, 85,5 e 96 h) em quatorze ensaios cujas variáveis dependentes, analisadas em triplicata, foram umidade, cinzas, atividade de água e cloreto de sódio. Houve efeito da concentração de sal sobre atividade de água, cloreto de sódio e rendimento, enquanto que o tempo de salga não influenciou as amostras. Valores médios de umidade em 47,81% e cinzas de 15,85% e concentração de 21,60% de sal atende a legislação brasileira. Sugere-se realizar a salga seca em um período de 24h com 21,6% de sal grosso, atendendo, assim, também ao preconizado na legislação brasileira.

Palavras-chave

Arapaima gigas; Salga seca; Concentração de sal; Tempo de salga; Cloreto de sódio

1. Introdução

O pirarucu, *Arapaima gigas*, é um peixe nativo da Bacia Amazônica amplamente consumido na região Norte do Brasil na forma salgada e exportado *in natura*, sendo descrito como o “ba-

calhau brasileiro”. O mesmo é dito como um gigante de água doce, tendo medidas extraordinárias tanto em ambiente natural (2 a 3 m com cerca de 200 kg) quanto em cativeiro (7 a 10 kg com rendimento de carcaça em 60% e filé em 45%). Mesmo sendo um pescado de escamas, o mesmo não possui espinha, além de ter uma carne muito saborosa e magra de coloração clara e consistência firme (Imbiriba, Lourenço Junior, Carvalho, Uliana, & Brito Filho, 1996; Ono, Halverson, & Kubitz, 2004; Ono & Kehdi, 2013).

A salga é um dos processos de conservação de alimentos mais antigos utilizados até os dias de hoje, conferindo não apenas maior vida de prateleira ao produto, mas também características físico-químicas e organolépticas únicas (Sabadini, Hubinger, Sobral, & Carvalho, 2001; Perez et al., 2007). Dentre os tipos de salga tem-se a salga seca, salga úmida e salga mista que podem ser realizadas com o uso de sal refinado, sal grosso e antioxidantes (Burgess, Cutting, Lovern, & Waterman, 1971; Bastos, 1988). O ácido sórbico e seus sais são os únicos liberados pela FAO para uso em pescado (FAO, 1985; FAO, 1989) enquanto que Brasil (2019b) os permitidos são ácido ascórbico, ascorbato de sódio, ascorbato de cálcio, ácido eritórbico e eritorbato de sódio.

Em se tratando de pescado salgado, os métodos mais utilizados no Brasil são a salga seca e a salga mista, sendo esta a mais comum para pescado gordo (Ogawa et al., 1999). Entretanto, a salga somente é considerada completa, industrialmente, se houver uma secagem logo após o salgamento, podendo esta etapa ser realizada de forma natural ou artificial (Chicala, Kato, & Lima, 2017). Neste sentido, em pescados é recomendado o uso de estufas com circulação de ar forçada cujo binômio tempo / temperatura seja de 40 °C / 36 h ou 105 °C / 30 min sendo que o pescado no final possua presente de maneira uniforme umidade próxima a 40% (Oliveira, 2007; Lourenço, Sousa, & Silva, 2008).

Diversos trabalhos buscaram verificar a qualidade do pirarucu salgado à venda no país e, em sua grande maioria os mesmos encontram contaminações microbiológicas e degradações físico-químicas que podem vir a prejudicar a saúde do consumidor (Guimarães, Oliveira, Ferreira, & Ferreira Filho, 1991; Santos, Falcão, & Carvalho, 1997; Noronha, Vieira, & Freitas, 2000; Nunes, 2011; Nunes, Franco, Mársico, & Neves, 2012; Vasconcelos, Viana, & Oliveira, 2014).

Esses acontecimentos ocorrem visto que a manta de pirarucu salgado seco é um produto fabricado sem nenhum critério tecnológico, higiênico e sanitário. Decorrente que a legislação para peixe salgado seco é recente no país e ainda não foi incorporada no processo tradicional de empregado. Somado ao fato de que o pirarucu não possui Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) aprovados no Brasil com descrição do processo e suas peculiaridades. Assim, no mercado consumidor, o produto apresenta-se de forma irregular, com risco inerente às alterações de base microbiológica e físico-química, que comprometem a oferta de um produto seguro, e isso barra a produção de um alimento seguro e ascensão no mercado exportador (Nunes, 2011).

Decorrente dessas dificuldades ou lacunas esse trabalho teve como objetivo realizar um estudo de otimização da salga de manta de pirarucu (*Arapaima gigas*) criado em cativeiro através de ensaios com diferentes concentrações de sal grosso e tempos de salga visando sugerir a montagem de um protocolo que atenda à legislação vigente.

2. Material e métodos

2.1. Caracterização da matéria-prima

A criação e o abate dos peixes foram obtidos conforme Rosa et al. (2021), sendo utilizadas 14 unidades de manta de pirarucu congelado (porção caudal do corte mantido a - 18 °C por 72 h) com peso médio de 400 ± 10 g e espessura de ± 5 cm cujos espécimes possuíam 24 meses de

idade com cultivo em tanque escavado desde a desova até o abate e alimentados com ração seca específica para peixes carnívoros.

2.2.Delineamento experimental

Realizou-se um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes (x), concentração de sal (x_1) e tempo de salga (x_2), sendo: 4 vértices do cubo (22), 4 axiais e 6 repetições no ponto central; totalizando 14 ensaios (Tabela 1), cujas variáveis dependentes foram (y) = umidade (y_1), Atividade de água (y_2), teor de sal residual (y_3), cinzas (y_4).

2.3.Processamento das mantas

As mantas de pirarucu foram descongeladas em geladeira (Modelo CBR39ABANA marca Consul, São Paulo, SP, BR) *overnight* (± 10 °C) e processadas na manhã seguinte no próprio abatedouro em sala de manipulação devidamente higienizada e climatizada a ± 12 °C com registro diário de temperatura e umidade do freezer horizontal onde procedeu-se a salga (Modelo CHB53CBANA90 marca Consul, São Paulo, SP, BR) através de termohigrômetro digital da marca KASVI – modelo K29-5070H (São José dos Pinhais, PR, BR) devidamente calibrado. Durante todo o processo de salga refrigerada a ± 4 °C, as mantas foram salgadas secas apenas uma única vez com a adição de sal grosso de grau alimentício adquirido em supermercado do município de Guarantã do Norte – MT, conforme descrito por Aiura, Carvalho, Viegas, Kirschnik, & Lima (2008) com modificações (Figura 1), onde os tempos de salga e a concentrações de sal seguem o descrito na Tabela 1 e realizou-se o tombamento somente das amostras com mais de 24 h de salga.

Realizou-se a pesagem antes e no final do tempo estipulado de salga em balança semi-analítica da marca Edutec modelo JKI (Curitiba, PR, BR) para verificar o rendimento do processo ($RS = (\text{manta antes da salga} - \text{manta após a salga}) * 100$) e posteriormente o produto obtido foi embalado individualmente em embalagens polietileno de baixa densidade (PEBD) seladas devidamente etiquetada e encaminhadas via transporte terrestre em caixas de isopor até o Laboratório de Tecnologia de Carnes, Pescado e Derivados (LabCarPesc), da Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) do campus Cuiabá – MT, onde sofreram partição e novo acondicionamento em embalagens de PEBD estéreis de 300 mL, sendo estocadas a 4 °C até realização das análises laboratoriais.

2.4. Análises físico-químicas

Analisou-se, em triplicata, cada manta para umidade em estufa a 105 °C / 24 h da marca Solab modelo SL-120 (Piracicaba, SP, BR), cinzas por incineração a 550 °C em mufla da marca SPLabor modelo SP1200DM (Presidente Prudente, SP, BR) conforme Brasil (2018); e cloreto de sódio conforme AOAC (2012), assim como, atividade de água em medidor digital por ponto de orvalho em medidor digital da marca Aqualab – modelo 4TE (São José dos Campos, SP, BR) (Rodrigues et al., 2003).

2.5. Análise estatística

Todas as análises laboratoriais (variáveis dependentes: umidade, A_w , cloreto de sódio e cinzas) foram realizadas em triplicata. Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão múltipla.

As análises estatísticas foram realizadas no aplicativo SAS® - Statistical Analysis System versão 9.4 (SAS Institute Inc., Cary - NC, USA) ao nível de 5% de significância.

3. Resultados e discussão

Visto que de acordo com Brasil (2019a) “peixe salgado seco é aquele tratado pelo sal e posterior secagem por evaporação natural ou artificial, com umidade máxima de 52,9% e teor de cloreto de sódio mínimo de 12%”.

Neste sentido, os resultados do experimento apresentados na Tabela 2 demonstram que apenas os tratamentos no ponto central 10, 11 e 12 conseguiram atender em sua totalidade o preconizado pela legislação tendo valores de cloreto de sódio de 12,86%, 14,74% e 12,33% e umidade de 45,47%, 40,42% e 50,09%, respectivamente.

Resultados semelhantes foram verificados por outros autores quando avaliaram a qualidade do pirarucu salgado seco à venda no varejo, sendo estes: Viana, Avelar, & Oliveira (2010) no corte barriga com umidade de 46,22 – 49,32%, cinzas de 6,83 – 15,10%, proteína de 20,29 – 24,79% e lipídios de 12,43 – 23,49%; e no corte lombo com umidade de 35,52 – 49,00%, cinzas de 17,41 – 23,72%, proteína de 31,39 – 44,89% e lipídios de 2,03 – 3,73%; Nunes (2011) com umidade de $46,99 \pm 3,71\%$, cinzas de $18,82 \pm 1,91\%$, proteína de $29,49 \pm 4,96\%$ e lipídios de $7,31 \pm 4,98\%$; Nunes, Franco, Mársico, & Neves (2012 com $0,71 \pm 0,03$ Aw e $14,88 \pm 2,05\%$ cloretos em amostras de supermercados; e $0,74 \pm 0,05$ Aw e $14,46 \pm 1,91\%$ cloretos em amostras de feiras).

E quando se realizou a salga experimentalmente em laboratório (Santos, Falcão, & Carvalho, 1997 com umidade de 50,32 – 55,03%, cinzas de 20,40 – 22,38%, proteína de 21,08 – 25,73% e lipídios de 1,50 – 2,01%; Nunes et al., 2016 com 19,43% de cloreto de sódio).

Todavia, Dias (1983) verificou menor valor de umidade e maior de cinzas no produto salgado proveniente de reserva extrativista; Oliveira (2007) demonstrou menores valores em umidade e atividade de água, maior em cinzas e semelhança em cloreto de sódio e Reis (2015) descreveu maiores valores em cloreto de sódio e valores aproximados em atividade de água quando realizaram a salga seca do filé de pirarucu a 30%.

O *A. gigas* é dito como bacalhau brasileiro, entretanto, quando comparado com o bacalhau verdadeiro, tanto *Gadus morhua* quanto o *G. macrocephalus* (Brasil, 2000), tem-se que o quantitativo de cloreto de sódio é muito superior nessas espécies (21,3 e 25,8%, respectivamente), ao passo que os valores de umidade e atividade de água se assemelham com o deste estudo. Enquanto que quando comparado com outros espécimes salgados e secos comumente produzidos e comercializados, representados pelos peixes *Molva molva*, *Brosme brosme* e *Pollachius virens*, verifica-se semelhança com todos os resultados aqui relatados para pirarucu tendo $19,9 \pm 1,1\%$, $22,5 \pm 3,8\%$ e $20,3 \pm 1,9\%$ de cloreto de sódio, respectivamente (Lima & Sant'Ana, 2011).

Todavia, quando se trata de pescado dulcícola salgado seco verifica-se valores de atividade inferior em salga úmida e seca em filé de tambacu com concentração de sal a 30% com 0,56 e 0,58 de atividade de água, respectivamente (Nates et al., 2014). Enquanto que para o filé de *Piaractus mesopotamicus* constatou-se valores inferiores em umidade (11,36%) e semelhantes em cinzas (17,76%) e cloreto de sódio (16,25%) por salga úmida a 25% relatados por Szenttamásy, Barbosa, Oetterer, & Moreno (1993); e valor superior em cloreto de sódio (25,27%) e semelhante em umidade (50,75%), cinzas (19,03%) e rendimento (72,16%) por salga seca a 40% descrito por Freitas et al. (2011).

Os resultados revelaram que não houve efeito do tempo de salga (T) sobre nenhuma das variáveis dependentes analisadas ($p = 0,6418$ em Aw; $p = 0,7425$ em cloreto de sódio; $p = 0,4782$

em rendimento; $p = 0,4999$ em umidade; e $p = 0,6303$ em cinzas). Portanto, não há superfície de resposta, portanto industrialmente o melhor a ser adotado em custo/benefício é o menor tempo (24 h). Todavia, houve efeito da concentração de sal (C) sobre a atividade de água (A_w) ($p = 0,0021$), teor de cloreto de sódio no produto final (sal) ($p = 0,0017$) e rendimento do produto (rend) ($p = 0,0547$).

Como o experimento foi desenvolvido meses antes da existência do RTIQ descrito por Brasil (2019a), visando explorar estatisticamente as variáveis dependentes (A_w , sal, rend) analisou-se por regressão em função da concentração de sal (C) durante o processo de salga, gerando-se as seguintes regressões:

$$y (A_w) = 0,9756 - 0,0240C + 0,0006C^2 \text{ (Eq. 1)}$$

$$y (\text{sal}) = - 9,3535 + 1,9959C - 0,0463C^2 \text{ (Eq. 2)}$$

$$y (\text{rend}) = 53,2060 + 0,5031C \text{ (Eq. 3)}$$

Os modelos obtidos foram ajustados (A_w com $R^2 = 0,77$; sal com $R^2 = 0,99$; e rend com $R^2 = 0,95$), o que possibilitou visualizar o comportamento da concentração de sal perante o estudo. Constatando-se uma concentração (C) mínima de 20,0% de sal obtendo valor de A_w 0,7356, ao passo que uma concentração de 21,6% resultou em um teor de cloreto de sódio de 12,16%, atendendo ao previsto na IN 01/2019 (Brasil, 2019a), e rendimento de 64,07%.

Enquanto que Martins, Martins, & Pena (2015) ao estudarem o efeito do incremento de sal na salga seca refrigerada de filé de pirarucu em amostras com 5 cm de comprimento, 3 cm de largura e 1 cm de espessura salgadas por 5 dias, verificaram favorecimento da secagem do produto até a concentração de 20% de sal. Ao passo que Martins, Chada, & Pena (2019) ao trabalharem a salga úmida de filé de pirarucu por vácuo pulsado em amostras de 6 cm de comprimento, 2 cm de largura e 0,5 cm de espessura com tempos de salga de 30, 60, 90, 120 e 180 minutos, contataram relação direta entre o aumento da concentração de sal e o tempo de salga

com a diminuição da umidade e da atividade de água, sendo possível verificar dados significativos até a temperatura de 30 °C.

Aiura, Carvalho, Viegas, Kirschnik, & Lima (2008) relataram que com o aumento do tempo da salga seca em filé de *Oreochromis niloticus* houve diminuição na umidade e aumento no cloreto de sódio, obtendo ao final do processo de 10 dias valores de 16,1% em umidade, 28,5% em cinzas, 14,0% em cloreto de sódio e 22,5% em rendimento, sendo que os mesmos armazenaram as amostras em temperatura ambiente.

Enquanto que Rosa et al. (2018) ao avaliar manta de pirarucu salgado e seco com 12,9 e 27,1% de sal grosso salgado por 5 dias em ambiente tendo média de 39,4% de umidade e temperatura de 31,7 °C, descreveram valores de rendimento (58,93 – 59,26% e 66,98 – 68,20%, respectivamente), cinzas (16,17 – 17,81% e 19,09 – 21,64%, respectivamente) e cloreto de sódio superior (8,35 – 9,45% e 7,84 – 11,72%, respectivamente), ao passo que seus valores de atividade de água foram inferiores. Demonstrando a espécie escolhida para a realização da salga, assim como a tecnologia adotada influenciam nos resultados do produto principalmente quando o prodecimento se prolonga e a temperatura e umidade do ambiente não são controlados.

Como não houve efeito nem do tempo de salga (T) nem da concentração de sal (C) sobre as cinzas (Cz) e umidade (Um) (cinzas com $p = 0,1814$ e umidade com $p = 0,4177$ para concentração de sal), as mesmas podem ser representadas pelo seu valor médio, ou seja, $Cz = 15,85\%$ e $Um = 47,81\%$. Logo, é possível atender legalmente ao regulamento técnico de peixe salgado utilizando 21,6% de sal grosso por salga seca (cloreto de sódio final = 12,2% e umidade final = 47,8%).

Além disso, nos 21 dias do experimento, verificou-se que a temperatura do ambiente da salga manteve-se entre 3,1 e 4,6 °C (média $3,82 \pm 0,39$ °C) e umidade relativa entre 80 a 89% (média $84,52 \pm 2,38\%$) (Tabela 1 do Apêndice). Tal resultado atende o preconizado na legislação onde

se descreve como temperatura de manutenção de peixe salgado máximo de 4 °C e para peixe salgado seco máximo de 7 °C (Brasil, 2019a).

Entretanto, Barretto, Betiol, Bellucci, Telis-Romero, & Barretto (2018) ao estudarem a desidratação osmótica do músculo de pirarucu por salga úmida a 20%, constataram que quanto maior a temperatura da salga, maior foi o coeficiente de difusão da salga e em menor grau para a proporção salmoura/volume muscular, atestando que há diferenças significativas quando se escolhe o tipo de salga a se realizar para uma mesma espécie de pescado.

4. Conclusões

Os diferentes tempos de salga avaliados demonstraram não influenciar no processo da salga seca da manta de pirarucu, ao passo que a concentração de sal foi diretamente proporcional ao rendimento e exponencialmente à atividade de água e ao cloreto de sódio. Sendo assim, visando melhores rendimentos industriais e viabilidade econômica, sugere-se realizar a salga seca em um período de 24h com 21,6% de sal grosso, atendendo, assim, também ao preconizado na legislação brasileira.

Declaração de contribuição de autoria de crédito

Krishna Rodrigues de Rosa: Conceituação, Metodologia, Análise formal, Investigação, Recursos, Redação - Rascunho Original, Visualização, Supervisão, Administração de projetos, Aquisição de financiamento. **Alessandra Almeida da Silva:** Investigação. **Anaqueli Lucia Pedroso:** Investigação. **Maria Fernanda Evelin Ferreira:** Investigação. **Luciana Kimie Savay-da-Silva:** Investigação, Recursos, Escrita - Revisão e Edição, Supervisão. **Márcia Helena Scabora:** Investigação, Recursos, Escrita - Revisão e Edição, Supervisão. **Wander Miguel de Barros:** Recursos, Escrita - Revisão e Edição, Visualização, Supervisão. **Renius de Oliveira**

Mello: Conceituação, Metodologia, Validação, Análise formal, Recursos, Curadoria de dados, Escrita - Revisão e Edição, Visualização, Supervisão, Administração de projetos. **Ernesto Hashime Kubota:** Metodologia, Curadoria de dados, Escrita - Revisão e Edição, Visualização, Supervisão, Administração de projetos.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes ou relações pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Agradecimentos

À Piscicultura Longo pela parceria e disponibilização de matéria-prima. Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e também pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso através do edital 36/2017.

Apêndice A. Monitoramento do Termohigrômetro

Legenda: Valores de temperatura e umidade relativa medidos pelo termohigrômetro durante o processo de salga da manta de pirarucu criado em cativeiro.

Referências

Aiura, F. S., Carvalho, M. R. B., Viegas, E. M. M., Kirschnik, P. G., & Lima, T. M. A. (2008). Conservação de filés de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em salga seca e salga úmida. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(6), 1531-1537. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352008000600033>.

AOAC. (2012). Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. (19th ed.). Washington/USA.

Barretto, T. L., Betiol, L. F. L., Bellucci, E. R. B., Telis-Romero, J., & Barretto, A. C. (2018, September). *Salting kinetics, salt diffusivities and proximate composition in osmotically dehydrated Pirarucu muscle*. Poster session presentation at the meeting of the 21st International Drying Symposium, Valência, Spain. <http://dx.doi.org/10.4995/ids2018.2018.7532>.

Bastos, J. R. (1988). Processamento e Conservação do Pescado. In Programa Cooperativo Governamental da Itália (Ed.). *Manual sobre Manejo de Reservatórios para Produção de Peixes*. Itália: Programa Cooperativo Governamental – FAO.

BRASIL. (2000). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria No 52, de 29 de dezembro de 2000. Submete à Consulta Pública o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Peixe Salgado e Peixe Salgado Seco. Brasil, DF. *Diário Oficial da União de 04/01/2001, Seção* (Vol. 1).

BRASIL. (2018). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa No 30, de 26 de junho de 2018. Estabelece como oficiais os métodos constantes do Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal. Brasil, DF. *Diário Oficial da União de 13/07/2018, Seção* (Vol. 1).

BRASIL. (2019a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa No 01, de 15 de janeiro de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que fixa a identidade e as características de qualidade que deve apresentar o peixe salgado e o peixe salgado seco. Brasil, DF. *Diário Oficial da União de 18/01/2019, Seção* (Vol.1, ed. 13, p. 2).

BRASIL. (2019b). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC No 329, de 19 de dezembro de 2019. Estabelece os aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em pescado e produtos de pescado. Brasília, DF. *Diário Oficial da União de 26/12/2019, Seção* (Vol. 1, ed. 249, p. 83).

Burgess, G. H. O., Cutting, C. L., Lovern, J. A., & Waterman, J. J. (1971). *El pescado y las industrias derivadas de la pesca*. Fish handling and processing, translation of Venâncio Lopez Lorenzo e Anders Marco Borrado. Zaragoza: Editora Acribia.

Carvalho, D. A. P. (2015). *Aceitabilidade de diferentes cortes de Arapaima gigas (Cuvier 1829) curados e defumados* [monography]. Florianópolis, SC, Brazil: Universidade Federal de Santa Catarina.

Chicrala, P. C. M. S., Kato, H. A., & Lima, L. K. F. (2017). *Pirarucu Salgado Seco*. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura.

Dias, A. F. (1983). *Salga e secagem do pirarucu, Arapaima gigas (CUVIER, 1929) com a aplicação de coletores solares* [dissertation]. Manaus, AM, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA.

FAO. (1984). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Comisión del Codex Alimentarius. Alinorm 85/18. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias – Comisión del Codex Alimentarius, 16º período de sesiones – Ginebra, 1-12 de julio de 1985. Informe de la 16º Reunion del Comité del Codex sobre Pescado y Productos Pesqueros, Bergen, Noruega, 7-11 de mayo de 1984. Retrieved from http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fwork-space.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-722-17%252Fal87_18s_Parte-I.pdf. Accessed May 20, 2020.

FAO. (1989). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Codex Alimentarius – Normas Internacionales de los alimentos. Codex Stan 167-1989 - Norma para pescado salado y pescado seco salado de la familia Gadidae. Adoptada em 1989. Revisión: 1995, 2005. Enmienda: 2011, 2013, 2016. Retrieved from http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/marco/Codex_Alimentarius/normativa/codex/stan/167-1995.PDF. Accessed July 07, 2020.

Freitas, J. M. A., Higuchi, L. H., Feiden, A., Maluf, M. L. F., Dallagnol, J. M., & Boscolo, W. R. (2011). Salga seca e úmida de filés de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Semina: Ciências Agrárias*, 32(2), 613-620. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p613>.

Guimarães, M. C. F., Oliveira, M. L. S., Ferreira, F. A. M., & Pereira Filho, L. A. R. (1991, June). *Caracterização Química e Microbiológica do Pirarucu (Arapaima gigas) salgado comercializado na cidade de Belém*. Poster presentation at the meeting of the VII Encontro de Profissionais de Química da Amazônia, Belém, PA, Brasil.

Imbiriba, E. P., Lourenço Junior, J. B., Carvalho, L. O. D. M., Uliana, D., & Brito Filho, L. (1996). *Criação de pirarucu*. (Coleção CRIAR, 2). Brasília: EMBRAPA-SPI.

Lima, E. J. V. M. O., & Sant'Ana, L. S. (2011). Determinação de atividade de água, umidade e sal em peixes salgados e secos importados. *Brazilian Journal of Food Technology*, 14(2), 125-129. <http://dx.doi.org/10.4260/BJFT2011140200016>.

Lourenço, L. F. H., Sousa, C. L., & Silva, I. Q. (2008). Análises microbiológicas da carne de pirarucu (*Arapaima gigas*) seco/salgado comercializado em feiras e supermercados de Belém e elaboração de produto similar em laboratório visando estabelecer a vida de prateleira. *Revista Higiene Alimentar*, 22(6), 15-23.

- Martins, M. G., Martins, D. E., & Pena, R. S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2015), 144-151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.010>.
- Martins, M. G., Chada, P. S. N., & Pena, R. S. (2019). Application of pulsed-vacuum on the salt impregnation process of pirarucu fillet. *Food Research International*, 120(2019), 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.016>.
- Nates, V. A., Ferreira, M. W., Trindade, C. S. P. C., Santos, R. M., Silva, T. A. S., & Valadares, R. S. S. (2014). Filés de tambacu submetidos a salga seca e salga úmida. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15(2), 450-458. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/mjpRkyJjLJZmXBT836VDV3m/?lang=pt&format=pdf>.
- Noronha, S. L. B., Vieira, C. M. A., & Freitas, J. A. (2000). Qualidade microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado distribuído ao consumo em Belém, Pará. *Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 34, 139-142. Retrieved from <https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/1970/587>.
- Nunes, E. S. C. (2011). *Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica do pirarucu (Arapaima gigas Schinz, 1822) salgado seco comercializado na cidade de Belém, Pará* [thesis]. Niterói, RJ, Brazil: Universidade Federal Fluminense/UFF.
- Nunes, E. S. C., Franco, R. M., Mársico, E. T., & Neves, M. S. (2012). Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas* Shing, 1822) salgado seco comercializado em mercados varejistas. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 71(3), 520-529. Retrieved from <http://periodicos.ses.sp.bvs.br/pdf/rial/v71n3/v71n3a13.pdf>.
- Nunes, M. L., Marques, F. R., Paula, A. I. A., Costa, J. P., Rocha, S. M. O., & Rodrigues, M. S. (2016, September). *Influência do tipo de secagem na oxidação lípidica de pirarucu (Arapaima gigas) salgado seco*. Poster session presentation at the meeting of the XXV Congresso

Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CBCTA) – Alimentação: a árvore que sustenta a vida e X CIGR / IV International Technical Symposium – Food: the tree that sustains life, Gramado, RS, Brazil.

Ogawa, M., Nunes, M. L., Ogawa, N. B. P., Diniz, F. M., Oetterer, M., Itó, L. S., & Maia, E. L. (1999). Tecnologia do pescado. In M. Ogawa, & E. L. Maia (Eds.). *Manual de pesca, ciência e tecnologia do pescado*. (pp. 293-299). São Paulo, SP: Livraria Varela. (Chapter 16).

Oliveira, P.R. (2007). *Qualidade do pirarucu (Arapaima gigas, Schinz 1822) procedente de piscicultura, estocado em gelo, congelado e de seus produtos derivados* [thesis]. Manaus, AM, Brazil: Universidade Federal do Amazonas/UFAM.

Ono, E. A., Halverson, M. R., & Kubitza, F. (2004). Pirarucu: O gigante esquecido. *Panorama da Aquicultura*, 14(81), 14-25. Retrieved from <https://panoramadaaquicultura.com.br/pirarucu-o-gigante-esquecido/>.

Ono, E., & Kehdi, J. (2013). *Manual de Boas Práticas de Produção do Pirarucu em Cativeiro*. Brasília: SEBRE.

Perez, A. C. A., Avdolov, N., Neiva, C. R. P., Lemos Neto, M. J., Lopes, R. G., Tomita, R. Y., Furlan, É. F., & Machado, T. M. (2007). Procedimentos higiênico-sanitários para a indústria e inspetores de pescado: recomendações. Retrieved from <http://www.gipescado.com.br/arquivos/minsp.pdf>. Accessed May 10, 2017.

Reis, K. A. S. (2015). *Secagem de corte de pirarucu (Arapaima gigas, Schinz 1822) salgados procedentes de áreas de reserva ambiental e de piscicultura do estado do Amazonas* [dissertation]. Manaus, AM, Brazil: Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Amazonas/UFAM.

Rodrigues, M. J., Ho, P., López-Caballero, M. E., Vaz-Pires, P., & Nunes, M. L. (2003). Characterization and identification of microflora from soaked cod and respective salted raw materials. *Food Microbiology*, *20*, 471-81. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(02\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(02)00086-2).

Rosa, K. R., Silva, A. A., Menezes, A. A., Arnhold, V. M., Souza, I. L. C. F., Scabora, M. H., Pedroso, A. L., Ferreira, M. F. E., Savay-da-Silva, L. K., Barros, W. M., & Kubota, E. H. (2018, November). *Análise físico-química de pirarucu salgado em temperatura ambiente*. Poster session presentation at the meeting of the V WORKIF Workshop de Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação, Cuiabá, MT, Brazil.

Rosa, K. R., Silva, A. A., Barros, W. M., Pedroso, A. L., Ferreira, M. F. E., Savay-da-Silva, L. K., Mateus, L. A. F., Fagundes, M. B., Wagner, R., & Kubota, E. H. (2021). Characterization of the influence of pirarucu age and weight on their physicochemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, *104*, 104172. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104172>.

Sabadini, E., Hubinger, M. D., Sobral, P. J., & Carvalho, B. C. (2001). Alterações da atividade de água e da cor da carne no processo de elaboração da carne salgada desidratada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *21*(1), 14-19. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612001000100005>.

Santos, J. E. B., Falcão, P. T., & Carvalho, N. L. A. (1997, June). *Avaliação da qualidade do pirarucu (Arapaima gigas), salgado-seco*. Poster session presentation at the meeting of the VI Jornada de Iniciação Científica do INPA, Manaus, AM, Brazil.

SAS. (2014). Statistical Analysis System Institute. The SAS system for windows. Cary, NC: SAS Inst. Version 9.4.

Souza, L. A., Falcão, P. T., & Carvalho, N. L. A. (1998, July). *Avaliação da qualidade do pirarucu (Arapaima gigas) salgado-seco*. Poster session presentation at the meeting of the VII Jornada de Iniciação Científica do INPA, Manaus, AM, Brazil.

Szenttamásy, E. R., Barbosa, S. M. V. B., Oetterer, M., & Moreno, I. A. M. (1993). Tecnologia do pescado de água doce: aproveitamento do pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Scientia Agricola*, 50(2), 303-310. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161993000200019>.

Vasconcelos, E. L. Q., Viana, A. P., & Oliveira, P. R. (2014). Avaliação microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado seco comercializado em feiras da Cidade de Manaus e Fonte Boa, Amazonas. *PUBVET*, 8(4), Article 1675. Retrieved from <http://www.pubvet.com.br/uploads/f89293e97a31e7eb2cbc541be4a496f0.pdf>.

Viana, A. P., Avelar, J. G., & Oliveira, P. R. (2010, June). *Características físico-química do pirarucu (Arapaima gigas) salgado seco capturado em reserva extrativista no estado do Amazonas*. Poster session presentation at the meeting of the I Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Manaus, AM, Brazil. Retrieved from <https://seminariodoambiente.ufam.edu.br/2010/anais/rn13.pdf>.

4 DISCUSSÃO

O pirarucu é tido como um pescado de elevado rendimento de carcaça e de filé (ONO et al., 2004), sendo tal fato confirmado neste trabalho ao se verificar rendimento de carcaça sem cabeça entre 69,49 – 79,45% e de manta cárnea com mínimo de 52,87%, 61,77% e 61,41% (rendimentos diferentes de mantas implicam em tamanhos diferentes de peças, logo penetração diferente de sal no produto) quando comparado com o peso do peixe inteiro, eviscerado e sem cabeça/sem espinhaço, respectivamente.

A maioria dos trabalhos existentes na literatura com índice biométrico de pescado atentam-se somente para os fatores de peso inteiro e comprimento total dos animais, contudo sabe-se que em piscicultura é impossível realizar um acompanhamento preciso e individual dos espécimes, portanto faz-se necessário a implantação de novos índices que sinalizem de forma mais precisa em âmbito geral do lote a sua eficiência alimentar, assim como o acabamento e provável rendimento de carcaça com os animais ainda vivos.

Neste sentido, adaptou-se o prescrito na literatura para pequenos ruminantes como Índice de Kleiber e Índice de Compacidade de Carcaça (OSÓRIO, 1992) e incrementou-se um novo parâmetro, Índice de Compacidade de Manta cárnea para o pirarucu criado em cativeiro, constatando altos valores para ambos índices (IK acima de 1 g.UTM^{-1} ; ICC e ICM de $\pm 0,20 \text{ kg.cm}^{-1}$) (CEZAR & SOUSA, 2007), verificou-se ainda que todos os parâmetros biométricos avaliados tiveram correlação positiva com o Índice de Kleiber (exceto o comprimento total), todavia o adiantar da idade do animal diminuía a sua eficiência, destacando que o pirarucu possui índices produtivos elevados quando comparado a outras espécies, mas que existe uma idade e peso limites para que se alcance retorno financeiro máximo (25 meses de idade e 12 kg de peso vivo).

Quando se almeja a criação de um determinado animal visando a venda da sua carne e desenvolvimento industrial de produtos, precisa-se conhecer minuciosamente a matéria-prima alimentar, tanto no sentido da qualidade quanto tecnológico, por isso os dados demonstrados aqui nos artigos 3, 4 e 5 são tão relevantes. Primeiramente em vista de apresentar dados inéditos e substanciais para composição centesimal de escama e teor de colágeno de pele, músculo e escama de pirarucu onde constatou-se alto teor de proteína e de colágeno para todas as amostras avaliadas quando em comparação com outras espécies de pescado.

Estima-se que cerca de $\frac{2}{3}$ da quantidade total de peixes produzidos no mundo são descartados como resíduos, criando um impacto econômico e preocupações ambientais que poderiam ser minimizados através da obtenção de subprodutos do pescado como colágeno, enzimas e peptídeos bioativos (COPPOLA et al., 2021). Neste sentido, de acordo com os dados de peso e rendimento descritos neste estudo e, em consonância com o verificado por Fogaça et al. (2011), tem-se que cerca de 5,39% do peso inteiro de um espécime de pirarucu é representado por suas escamas e 6,13% por sua pele, e, com porcentagens mínimas de 1,36% e 1,68% de colágeno total observado nesses tecidos, respectivamente, podendo-se inferir que o pirarucu é uma boa fonte de colágeno, sendo passível de alto rendimento industrial na elaboração de produtos.

Quando se fala de tendência de mercado, sabe-se que além da composição nutricional da carne onde tem-se visto maior preferência por carnes magras (manta cárnea do pirarucu com lipídeos $\leq 1\%$), presença de ácidos graxos poli-insaturados como ácido oleico, ácido linoleico e boa relação ω -3/ ω -6 (SUÁREZ-MAHECHA et al., 2002), a cor também é algo que chama muito a atenção do consumidor (KNOWLES et al., 2008), neste sentido, pode-se afirmar que a carne de pirarucu atende a todos esses quesitos, sendo possível verificar que as mantas cárneas provenientes dos animais com ± 2 anos de idade tiveram melhor relação entre indicadores de carne vermelha e perfil de ácidos graxos conforme descrito por Masniyom et al. (2013) e Utrera et al. (2014).

Além disso, faz-se necessário caracterizar o pescado quanto ao seu comportamento físico-químico visando atender à legislação e garantir um produto de boa qualidade ao consumidor (CHYTIRI et al., 2004; ANDRÉS-BELLO et al., 2013), por isso constatar valores bem abaixo do preconizado em bases voláteis nitrogenadas totais e pH em 24 h, assim como, baixos valores em perda de peso por cozimento, perda de peso por gotejamento e textura instrumental via força de cisalhamento e alta em capacidade de retenção de água confirmam que a manta cárnea de pirarucu possui elevada qualidade e é uma matéria-prima alimentar com alto potencial de gerar diversos produtos e rendimentos industriais excepcionais.

Contudo, para se ter um maior controle dentro da produção em piscicultura e garantir estabilidade nutricional em todos os lotes, deve-se conhecer e tentar minimizar os impactos gerados tanto pelo clima do local quanto na qualidade da água e padronizar o peso e idade dos

animais que melhor atendam o que se busca (HOLBROOK et al., 1997; GUNER et al., 1999; AIDOS et al., 2002; SHIRAI et al., 2002; CELIK, 2008; VAL & ALMEIDA-VAL, 2008).

Pensando nisso, após caracterizar a pele e a manta de pirarucu frente às variações das estações do ano, chuva e seca, além de acompanhar os animais com diferentes pesos e idades, constatou-se que todos esses parâmetros influenciaram nos resultados obtidos, verificando-se que a temperatura se manteve alta e constante durante todo o estudo, por isso a influência do clima se deu apenas pelo nível de pluviosidade onde a época das chuvas demonstraram melhores índices, assim como a idade de 24 e 25 meses apresentaram melhor relação custo/benefício e qualidade nutricional, havendo relação direta com o peso dos animais. Por isso, selecionou-se como matéria-prima para o estudo de otimização da manta salgada de pirarucu animais com 24 meses de idade despescados no período da chuva.

Dentre os tipos de processamento industrial realizado com pescado, a salga é o mais barato, tendo ainda, um nicho de mercado bem caracterizado mundialmente (PEREZ et al., 2007). Entretanto, existem diversas formas de se proceder tal tecnologia (BURGESS et al., 1971; BASTOS, 1988), e como o pirarucu é dito como bacalhau brasileiro sendo normalmente salgado seco (ONO et al., 2004), contudo, não existe um protocolo específico para este produto e realizar tal tarefa consome muito tempo de estudo e investimento financeiro, preferiu-se trabalhar com um estudo de delineamento composto central rotacionado avaliando diferentes tempos de salga e concentração de sal visto que tal ferramenta estatística proporciona diminuir o número de ensaios e aumentar a precisão dos resultados (RODRIGUES & IEMMA, 2014).

Após tal fato verificou-se que o tempo de salga não influenciou em nenhum dos parâmetros analisados e somente a concentração de sal instituída nas amostras obteve efeito sobre a atividade de água, rendimento e teor de cloreto de sódio na manta salgada seca de pirarucu, entretanto, durante o período pós experimentação e análise dos dados, houve a publicação do Regulamento Técnico que fixa a identidade e as características de qualidade que deve apresentar o peixe salgado e o peixe salgado seco (BRASIL, 2019), por isso, visando confirmar tais resultados, realizou-se estudos de regressão que retificaram que uma concentração de sal grosso de 21,6% com tempo de salga de 24 h atendia integralmente a legislação vigente tornando o procedimento mais rentável e seguro, e, quando comparou-se os dados obtidos no estudo com outros autores, pode-se atestar que a manta salgada de pirarucu tinha semelhança com o produto bacalhau, contudo, quando comparado com as suas

respectivas espécies - *Gadus morhua* e *G. macrocephalus*, notou-se que estes possuem teor de cloreto de sódio residual bem maior que o verificado neste estudo (LIMA & SANT'ANA, 2011) o que não desmerece o produto nacional, pelo contrário, pensando-se na tendência mundial de redução de sal nos alimentos (CAPPUCCIO et al., 2011; OPAS, 2010; OPAS, 2021), tem-se que o produto manta salgada de pirarucu encontra-se na direção certa mesmo que inicialmente o teor existente de cloreto de sódio na manta de pirarucu auxilie apenas na praticidade da dessalga.

5 CONCLUSÃO

O pirarucu apresentou ótimo rendimento industrial, principalmente com 24 e 25 meses de idade, revelando valores de rendimento de manta acima de 65,0%, assim como bons índices de compactação de carcaça e de manta e altos valores de Índice de Kleiber demonstrando que o mesmo necessita de baixa energia para manutenção corporal e, para seu crescimento sem que haja aumento no custo de energia. Embora o pirarucu seja um peixe teleósteo cuja estrutura morfológica inclui uma cabeça protuberante que acaba influenciando os índices biométricos, essa porção do corpo apresentou menor influência nos índices de produção quando comparada aos dados da literatura em relação à outras espécies.

O pirarucu demonstrou ter uma ótima concentração de colágeno em seu músculo, pele e escama estando este valor diretamente relacionado ao seu elevado teor de proteína, presente principalmente na pele e nas escamas. Além disso sua carne possui baixa quantidade de lipídeos e excelente índice de qualidade lipídica ao se verificar alta concentração de ácido graxo oleico e linoleico e relação Hipocolesterolêmico / Hipercolesterolêmico, assim como baixa relação PUFA / MUFA, Índice de Aterogenicidade e Trombogenicidade destacando sua importância como matéria-prima alimentar capaz, não apenas de saciar o consumidor com a sua cor clara, sabor único, suculência e textura excepcionais (baixo valor de força de cisalhamento $\pm 3N$), mas também em qualidade nutricional, algo almejado cada vez mais pela comunidade mundial.

E, com seus baixos valores em perda de peso por gotejamento e por cozimento e boa capacidade de retenção de água (acima de 62,0%), assim como, valores de pH em 24h e de frescor em BNVT bem abaixo do limite máximo da legislação tem-se que a manta de pirarucu é uma excelente matéria-prima industrial, fato este confirmado no processo da salga seca onde o rendimento da mesma foi muito acima do verificado por outros autores ao avaliarem o pirarucu e espécies diferentes de pescado. Ademais, a baixa concentração de sal a ser utilizada para se garantir a qualidade e segurança do produto conforme preconizado pela legislação brasileira e a ausência da influência do tempo durante o processo, destacam a viabilidade econômica e produtiva de se realizar o processamento tecnológico da manta de pirarucu salgado seco em escala industrial.

Conclui-se, assim, que a particularidade da região estudada onde não há variação significativa de temperatura e somente existe modificação em regime pluviométrico que interfere diretamente na qualidade da água de criação, tal como a diferença na idade e peso dos

animais avaliados, todos influenciaram, mesmo que em graus variados, as análises e índices realizados demonstrando ser possível determinar uma matéria-prima que exprime o melhor que uma espécie pode produzir. Neste sentido, foi possível determinar qual melhor protocolo de criação e processamento do pirarucu visando tanto um incremento na piscicultura desta espécie como também em atender um mercado consumidor cada vez mais exigente e globalizado.

6 REFERÊNCIAS

ABABOUC, L. Composition of fish - Topics Fact Sheets. In: FAO (Ed.). **Fisheries and Aquaculture Topics**. Rome: FAO, 2005.

AIDOS, I.; PADT, A.V. D.; LUTEN, J. B.; BOOM, R. M. Seasonal changes in crude and lipid composition of herring fillets, byproducts, and respective produced oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 4589-4599, 2002.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRÉS-BELLO, A.; BARRETO-PALACIOS, V.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; MIR-BEL, J. E.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Effect of pH on color and texture of food products. **Food Engineering Reviews**, v. 5, n. 3, p. 158-170, 2013.

ARARIPE, J.; RÊGO, P. S.; QUEIROZ, H.; SAMPAIO, I.; SCHNEIDER, H. 2013. Dispersal capacity and genetic structure of *Arapaima gigas* on different geographic scales using microsatellite markers. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1, p. 54470, 2013.

AYALA, C. L. **Manual de piscicultura del paiche (*Arapaima gigas* Cuvier)**. Caracas/Venezuela: Tratado de Cooperacion Amazonica - Secretaria pro Tempore, 1999.

BHATTACHARJEE, A.; BANSAL, M. Collagen structure: the Madras triple helix and the current scenario. **IUBMB Life**, v. 57, n. 3, p. 161-172, 2005.

BARD, J.; IMBIRIBA, E. P. **Piscicultura do pirarucu, *Arapaima gigas***. Brasília: EMBRAPA, 1986. Circular Técnica, 52).

BASTOS, J. R. Processamento e Conservação do Pescado. In: Programa Cooperativo Governamental da Itália (Ed.). **Manual sobre Manejo de Reservatórios para Produção de Peixes**. Itália: Programa Cooperativo Governamental – FAO, 1988.

BEZERRA, R. F.; SOARES, M. C. F.; SANTOS, A. J. G.; CARVALHO, E. V. M.; COELHO, L. C. B. B. Secondary indicators of seasonal stress in the amazonian pirarucu fish (*Arapaima gigas*). In: DANIELS, J. A. (Ed). **Advances in Environmental Research**, Vol. 28. New York/USA: Science Publishers, 2013. p. 233–244.

BRASIL. Instrução Normativa MMA nº 01, de 15 de abril de 2014. Publica as listas das espécies incluídas nos Anexos I, II e III da Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção - CITES, com as alterações estabelecidas em 12 de junho de 2013 ocorridas na XVI Conferência das Partes da referida Convenção. Ministério do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, 06 de abril de 2014, Brasília, 2014.

BRASIL. Instrução Normativa nº 01, de 15 de janeiro de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que fixa a identidade e as características de qualidade que deve apresentar o peixe salgado e o peixe salgado seco. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**, 18 de janeiro de 2019, Brasília, 2019.

BRAUNER, C. J.; VAL, A. L. The interaction between O₂ and CO₂ exchange in the obligate air breather, *Arapaima gigas*, and the facultative air breather, *Lipossarcus pardalis*. In: VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.; RANDALL, D. J. (Eds). **Physiology and biochemistry of the fishes of the Amazon**. Manaus/Brasil: INPA, 1986. p. 101-110.

BURGESS, G. H. O.; CUTTING, C. L.; LOVERN, J. A.; WATERMAN, J. J. **El pescado y las industrias derivadas de la pesca**. Fish handling and processing, translation of Venâncio Lopez Lorenzo e Anders Marco Borrado. Zaragoza: Editora Acribia, 1971.

CAPPUCCIO, F. P.; CAPEWELL, S.; LINCOLN, P.; MCPHERSON, K. Policy options to reduce population salt intake. **British Medical Journal**, v. 343, p. d4995, 2011.

CARPIO, K. C. R. **Extração e caracterização de colágeno da pele de pirarucu**. 2018. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Pesqueiras dos Trópicos) - Programa de Pós-Graduação Ciências Pesqueiras nos Trópicos, Universidade Federal do Amazonas.

CARVALHO, L. O. D. de M.; NASCIMENTO, C. N. B. do. **Engorda de pirarucus (*Arapaima gigas*) em associação com búfalos e suínos**. Belém: EMBRAPA - CPATU, 1992. (Circular técnica, 65).

CARVALHO, A.; LOPES, A. L.; DELLOVA, D.; FRANÇA, D.; DIAS, I.; VILLA REAL, J.; LINO, J.; ALBUQUERQUE, L.; SANTOS, P.; IGLESIAS, R.; VIEIRA, R. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020**. São Paulo/Brasil: Associação Brasileira da Piscicultura, 2020.

CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. R.; GANDRA, A. L.; CRESCÊNCIO, R. Efeito da densidade de estocagem na homogeneidade do crescimento de juvenis de pirarucu em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 103-107, 2003.

CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A. M.; FONSECA, F. A. L.; ITUASSÚ, D. R.; ROUBACH, R.; ONO, E. A. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 513-516, 2004.

CELIK, M. Seasonal changes in the proximate chemical compositions and fatty acids of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and horse mackerel (*Trachurus trachurus*) from the north eastern Mediterranean Sea. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 43, p. 933-938, 2008.

CEZAR, M. F.; SOUSA, W. H. **Carcças ovinas e caprinas: obtenção, avaliação e classificação**. 1 ed. Uberaba/MG: Agropecuária Tropical, 2007.

CHYTIRI, S.; CHOULIARA, I.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G. Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. **Journal of Food Microbiology**, v. 21, n. 2, p. 157-165, 2004.

COPPOLA, D.; LAURITANO, C.; ESPOSITO, F. P.; RICCIO, G.; RIZZO, C.; de PASCALE, D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. **Marine Drugs**, v. 19, p. 116, 2021.

COUTINHO, N. M.; CANTO, A. C. V. C. S.; MÁRSICO, E. T.; SILVA, F. A.; KELLER, L. A. M.; CONTE-JUNIOR, C. A.; MONTEIRO, M. L. G. Fatty acid composition and influence of temperature on the lipid stability of *Arapaima gigas* meat. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018132, 2019.

CUNHA, E. A.; BUENO, M. S.; SANTOS, L. E.; RODA, D. S.; OTSUK, I. P. Desempenho e características de carcaça de cordeiros Suffolk alimentados com diferentes volumosos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 671-676, 2001.

DESHMUKH, K.; NIMNI, M. E. Characterization of the aldehydes presents on the cyanogen bromide peptides from mature rat skin collagen. **Biochemistry**, v. 10, n. 9, p. 1640-1647, 1971.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Consumo de pescado na América Latina e no Caribe crescerá 33% até 2030**. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/1144412/>>. Acesso em: 20/05/2020.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 - Sustainability in action**. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/ca9229en>>. Acesso em: 07/07/2020.

GASPAR, J.; VIEIRA, R.; TAPIA, M. Aspectos sanitários do pescado de origem de água doce e marinha, comercializado na feira de Gentilândia, Fortaleza, Ceará. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, p. 20-28, 1997.

GAVIS, G.; MOJICA, J. I.; DUQUE, S. R.; CASTELLANOS, C.; SANCHEZDUARTE, P.; ARCE, M.; GUTIERREZ, A.; JIMENEZ, L. F.; SANTOS, M.; VEJARANO-RIVADENEIRA, S.; ARBELANEZ, F.; PRIETO, E.; LEIVA, M. **Peces del médio Amazonas. Región de Letícia.** Bogotá, Colômbia: Ed. Panamericana, 2006. (Serie de Guias Tropicales de Campo, 5. Consevación International).

GUIMARÃES, M. C. F.; OLIVEIRA, M. L. S.; FERREIRA, F. A. M.; PEREIRA FILHO, L. A. R. Caracterização Química e Microbiológica do Pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado comercializado na cidade de Belém. **Anais... VII Encontro de Profissionais de Química da Amazônia;** junho de 1991; Belém: Resumo do encontro. p. 144-153.

GUNER, S.; DINCER, B.; ALEMDAG, N.; COLAK, A.; TUFEKCI, M. Proximate composition and selected mineral content of commercially important fish species from the Black Sea. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 78, p. 337-342, 1999.

HOLBROOK, S. J.; SCHMITT, R. J.; STEPHENS, J. Changes in an assemblage of temperate reef fishes associated with a climate shift. **Ecological Applications**, v. 7, p. 1299-1310, 1997.

HONORATO, C. A.; CANEPPELE, A.; MATOSO, J. C.; PRADO, M. R.; SIQUEIRA, M. S.; SOUZA, L. R. O. Caracterização física de filés de surubim (*Pseudoplatystoma* sp.), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e pirarucu (*Arapaimas gigas*). **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 17, n. 4, p. 237-242, 2014.

HOYER, B.; BERNHARDT, A.; LODE, A.; HEINEMANN, S.; SEWING, J.; KLINGER, M. Jellyfish collagen scaffolds for cartilage tissue engineering. **Acta Biomaterialia**, v. 10, n. 2, p. 883-892, 2014.

IBAMA. Portaria nº 480, de 3 de março de 1991. Proibição do exercício da pesca do pirarucu no período de 1º de dezembro a 31 de maio. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Diário Oficial da União**, 03 de março de 1991, Brasília, 1991.

IBAMA/IARA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Projeto do Instituto Amazônico de Manejo Sustentável dos Recursos Ambientais – IARA. **Projeto IARA: administração dos recursos pesqueiros na região do Médio Amazonas: documento básico.** Brasília: IBAMA, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico da vegetação brasileira.** 2 Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário Estatístico do Brasil. **Latitude e longitude do Estado de Mato Grosso.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. v. 75.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal – 2019.** Rio de Janeiro: IBGE, 2018. v. 46.

IMBIRIBA, E. P.; BARD, J.; MOURA CARVALHO, L. O. D. de; NASCIMENTO, C. N. B. do; SOUZA, J. C. da M. **Resultados preliminares de criação do pirarucu, *Arapaima gigas* (Cuvier) em cativeiro.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1985. (Circular técnica, 144 – Pesquisa em andamento).

IMBIRIBA, E. P.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; CARVALHO, L. O. D. M.; ULIANA, D.; BRITO FILHO, L. **Criação de pirarucu.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. (Coleção CRIAR, 2).

IMBIRIBA, E. P. Potencial de criação de pirarucu (*Arapaima gigas*) em cativeiro. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 2, p. 299-316, 2001.

JESUS, R. S.; LESSI, E.; TENUTA FILHO, A. Estabilidade química e microbiológica de “minced fish” de peixes amazônicos durante o congelamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, n. 2, p. 144-148, 2001.

JIN-FENG, D.; XIU-RONG, S. U.; CHUN-DAN, Z. Extraction of collagen from jellyfish (*Rhopilema esculentum*) and wound healing-promoting effect in mouse. **Journal of Food Science**, v. 31, n. 24, p. 19-23, 2010.

KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N.; WARRISS, P. D.; LINES, J.; TINARWOL, A.; BRAVO, A.; CARVALHO, H.; GONÇALVES, A. Effect of electrical stunning at slaughter on the carcass, flesh and eating of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Research**, v. 38, p. 1732-1741, 2008.

LEE, K.; PARK, H. Y.; KIM, Y. K.; PARK, J.; YOON, H. D. Biochemical characterization of collagen from the starfish *Asterias amurensis*. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 52, n. 3, p. 221-226, 2009.

LEITÃO, M. F. F.; RIOS, D. P. F. A.; GUIMARÃES, J. G. L.; BALDINI, V. L. S.; MAINADES PINTO, C. S. R. Alterações químicas e microbiológicas em pacu (*Piaractus mesopotamicus*) armazenado sob refrigeração a 5°C. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 160-166, 1997.

LI, G. Q.; WILSON, M. V. H. Phylogeny of Osteoglossomorpha. In: MELANIE, L. S.; LYNNE, R. P.; DAVID, G. J. (Eds). **Interrelations of Fishes**. California/USA: Academic Press, Inc. San Diego, 1996. p. 163-174.

LIMA, E. J. V. M. O.; SANT'ANA, L. S. Determinação de atividade de água, umidade e sal em peixes salgados e secos importados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 2, p. 125-129, 2011.

MACEDO-VIÉGAS, E. M.; SOUZA, M. L. R. Pré-processamento e conservação do pescado produzido em piscicultura. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Eds.). **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva**. São Paulo/Brasil: TecArt, 2004. p. 405-480.

MAKAREEVA, E.; LEIKIN, S. Collagen Structure, Folding and Function. In: SHAPIRO, J. R.; BYERS, P. H.; GLORIEUX, F. H.; SPONSELLER, P. D. (Eds.). **Osteogenesis Imperfecta: A Translational Approach to Brittle Bone Disease**. New York: Elsevier; 2014. p. 71-83.

MARTÍNEZ, G.; URESTI, R. M.; RAMIREZ, J. A.; VELAZQUEZ, G. Extracción y caracterización de algunas propiedades fisico-químicas de gelatina de piel de trucha. **Revista Ciencia U.A.Q.**, v. 4, n. 2, p. 26–34, 2011.

MASNIYOM, P.; BENJAMA, O.; MANEERI, J. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on quality changes of refrigerated tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 3, p. 1401-1408, 2013.

MEDEIROS, F. Tilápia lidera e Brasil produziu 758 mil toneladas em 2019. In: CARVALHO, A.; LOPES, A. L.; DELLOVA, D.; FRANÇA, D.; DIAS, I.; VILLA REAL, J.; LINO, J.; ALBUQUERQUE, L.; SANTOS, P.; IGLESIAS, R.; VIEIRA, R. (Eds.). **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2020. p. 4.

NELSON, J. S. **Fishes of the World**. 3rd Ed. New Jersey: Ed. John Wiley e Sons, 1994.

NORONHA, S. L. B.; VIEIRA, C. M. A.; FREITAS, J. A. Qualidade microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado distribuído ao consumo em Belém, Pará. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 34, p. 139-142, 2000.

NUNES, E. S. C. **Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas* Schinz, 1822) salgado seco comercializado na cidade de Belém, Pará**. 2011. 77f. Tese (Doutorado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) – Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense.

NUNES, E. S. C.; FRANCO, R. M.; MÁRSICO, E. T.; NOGUEIRA, E. B.; NEVES, M. S.; SILVA, F. E. R. Presença de bactérias indicadoras de condições higiênico-sanitárias e de patógenos em Pirarucu (*Arapaima gigas* Shing, 1822) salgado seco comercializado em supermercados e feiras da cidade de Belém, Pará. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 19, n. 2, p. 98-103, 2012a.

NUNES, E. S. C. L.; FRANCO, R. M.; MÁRSICO, E. T.; NEVES, M. S. Qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas* Shing, 1822) salgado seco comercializado em mercados varejistas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 71, n. 3, p. 520-529, 2012b.

ONO, E. A.; HALVERSON, R. M.; KUBITZA, F. Pirarucu - O gigante esquecido. **Revista Panorama da Aqüicultura**, v. 14, n. 81, p. 14-25, 2004.

ONO, E.; KEHDI, J. **Manual de Boas Práticas de Produção do Pirarucu em Cativeiro**. Brasília: SEBRE, 2013.

OPAS. Organização Pan-Americana de Saúde. **Recomendações para políticas nacionais: prevenção das doenças cardiovasculares nas Américas através da redução do consumo de sal para toda a população**. 2010. Disponível em: <http://new.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=6369&Itemid=>. Acesso em: 16/07/2021.

OPAS. Organização Pan-Americana de Saúde. **Novos parâmetros de referência da OMS ajudam países a reduzir a ingestão de sal e salvar vidas**. Genebra, 05/05/2021. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/noticias/5-5-2021-novos-parametros-referencia-da-oms-ajudam-paises-reduzir-ingestao-sal-e-salvar>>. Acesso em: 16/07/2021.

OSÓRIO, J. C. S. **Estudio de la calidad de canales comercializadas en el tipo ternasco según la procedencia: bases para la mejora de dicha calidad en Brasil**. 1992. 355f. Tese (Doutorado em Veterinaria) - Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.

PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. Pirarucu (*Arapaima gigas*). In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. (Eds.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2013. p. 27-32.

PEREZ, A. C. A.; AVDOLOV, N.; NEIVA, C. R. P.; LEMOS NETO, M. J.; LOPES, R. G.; TOMITA, R. Y.; FURLAN, É. F.; MACHADO, T. M. **Procedimentos higiênico-sanitários para a indústria e inspetores de pescado: recomendações**. 2007. Disponível em: <<http://www.gipescado.com.br/arquivos/minsp.pdf>>. Acesso em: 10/05/2017.

RODRIGUES, M. A.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos & Otimização de Processos**. 3 ed. Revisada. Campinas/SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2014.

RUXTON, C. H. S. The benefits of fish consumption. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 36, p. 6-19, 2011.

SABADINI, E.; HUBINGER, M. D.; SOBRAL, P. J.; CARVALHO, B. C. Alterações da atividade de água e da cor da carne no processo de elaboração da carne salgada desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 14-19, 2001.

SADOWSKA, M.; KOLODZIEJSKA, I.; NIECIKOWSKA, C. Isolation of collagen from the skin of Baltic cod (*Gadus morhua*). **Food Chemistry**, v. 81, p. 257-262, 2003.

SANTOS, J. E. B.; FALCÃO, P. T.; CARVALHO, N. L. A. Avaliação da qualidade do pirarucu (*Arapaima gigas*), salgado-seco. **Anais... VI Jornada de Iniciação Científica do INPA**; 18 a 20 de junho de 1997; Manaus, AM: Resumo do encontro. p. 190-193.

SANTOS, J. S. L.; MÁRSICO, E. T.; CINQUINI, M. A.; SILVA, F. A.; CONTE JUNIOR, C. A.; MONTEIRO, M. L. G. Physicochemical and sensory characterization of three different

portions from commercial pirarucu (*Arapaima gigas*) fillets. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017178, 2018.

SARTORI, A. G. O.; AMANCIO, R. D. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 19, n. 2, p. 83-93, 2012.

SHANMUGAM, V.; RAMASAMY, P.; SUBHAPRADHA, N.; SUDHARSAN, S.; SEEDEVI, P.; MOOVENDHAN, M. Extraction, structural and physical characterization of type I collagen from the outer skin of *Sepiella inermis* (Orbigny, 1848). **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 78, p. 14326-14337, 2012.

SHIRAI, N.; SUZUKI, H.; TOKAIRIN, S.; EHARA, H.; WADA, S. Dietary and seasonal effects on the dorsal meat lipid composition of Japanese (*Silurus asotus*) and Thai catfish (*Clarias macrocephalus* and hybrid *Clarias macrocephalus* and *Clarias galipinus*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 132, p. 609–619, 2002.

SILVA, T. S. C.; INOUE, L. A. K. A.; FIETZ, C. R. **Influência do Clima, Fenômenos e Mudanças Climáticas no Manejo da Piscicultura**. Dourados: EMBRAPA/Embrapa Agropecuária Oeste, 2016.

SKOPINSKA-WISNIEWSKA, J.; WEGRZYNOWSKA-DRZYMALSKA, K.; BAJEK, A.; MAJ, M.; SIONKOWSKA, A. Is dialdehyde starch a valuable cross-linking agent for collagen/elastin based materials? **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 27, n. 4, p. 67, 2016.

SOUSA, A. R. B.; CORREA, R. de O.; FARIA, M. T. de; MACIEL, P. O.; LIMA, L. K. F. de; TEIXEIRA, R. N. G. **Piscicultura de Pirarucu**. Brasília/DF: EMBRAPA, 2017. (Coleção CRIAR, 7).

STANSBY, M. E. Polyunsaturates and fat in fish flesh. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 63, p. 625-630, 1973.

SUÁREZ-MAHECHA, H.; de FRANCISCO, A.; BEIRÃO, L. H.; BLOCK, J. M.; SACCOL, A.; PARDO-CARRASCO, S. Importância de ácidos graxos poli-insaturados presentes em peixes de cultivo e de ambiente natural para a nutrição humana. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 28, n. 1, p. 101-110, 2002.

TRES, A.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T.; MENGATTO, A. P. R. Classificação do estado de Mato Grosso segundo sistema de zonas de vida de Holdridge. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 13, n. 23, p. 329-343, 2016.

UTRERA, M.; PARRA, V.; ESTEVEZ, M. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 812-820, 2014.

VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. Mudanças climáticas e biodiversidade na Amazônia. **Anais... 60º Encontro Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência: Conferência biodiversidade na Amazônia x mudanças climáticas: causas e consequências**, SBPC; 2008; Campinas, SP: Resumo do encontro. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/60ra/textos/CO-AdalbertoVal.pdf>>. Acesso em: 22/11/2017.

VASCONCELOS, E. L. Q.; VIANA, A. P.; OLIVEIRA, P. R. Avaliação microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*) salgado seco comercializado em feiras da Cidade de Manaus e Fonte Boa, Amazonas. **PUBVET**, v. 8, n. 4, Artigo 1675, 2014.

VENTURIERI, R.; BERNARDINO, G. Pirarucu, Espécie ameaçada pode ser salva através do cultivo. **Revista Panorama da Aqüicultura**, v. 9, n. 53, p. 13-21, 1999.

7 APÊNDICES

7.1 ARTIGO 2

7.1.1 APPENDICES

Analysis of the tanks' feed provided and water quality was performed throughout the productive period, although these results could not be correlated in the study itself. Therefore, they are described here as additional information.

1. Proximate analysis and caloric value of the feed

1.1 Materials & methods

Protein analysis was performed using the micro-Kjeldahl method via block digester (model 2350.40, Thoth, São Paulo, BR) and distiller (model 4250.2, Thoth, São Paulo, BR); oven humidity at 105 °C (model SL-120, Solab, São Paulo, BR); ash by incineration at 550 °C in a muffle (SP1200DM, SPLabor, São Paulo, BR); and total lipids in a Soxhlet apparatus (MA-044/8/50, Marconi, São Paulo, BR) using petroleum ether as extraction solvent, all according to Brasil (2011). The carbohydrate content was obtained by calculating the difference as described by Brasil (2003) and the caloric values using the conversion factors according to Brasil (2001). All samples were weighed on a semi-analytical scale (model JKI, Edutec, Paraná, BR) and determinations were carried out in triplicate. Three samples (N = 3) from the same batch were evaluated per period (juvenile and fattening) totaling N = 6, since the feed provided to the animals was the same throughout the production cycle.

1.2 Results

The results obtained for the chemical composition and caloric value of the feed provided during the entire breeding period are shown in Table 1. It is possible to note that the protein and lipid values did not follow the minimum recommended values on the manufacturer's label.

Table 1.

Analysis of proximate composition (mean values \pm standard deviations) of the feed provided to the pirarucu (*Arapaima gigas*) during the experiment.

Analysis	Juvenile		Fattening	
	Sample	Label	Sample	Label
Moisture (%)	8.06 \pm 0.068	max 10.0	8.60 \pm 0.009	max 10.0
Ashes (%)	9.38 \pm 0.067	max 14.0	9.55 \pm 0.254	max 13.0
Protein (%)	32.60 \pm 0.934	min 45.0	38.15 \pm 0.191	min 40.0
Lipids (%)	1.90 \pm 0.046	min 12.0	3.89 \pm 0.034	min 10.0
Carbohydrates (%)	48.06 \pm 0.885	ND	39.80 \pm 0.355	ND
Caloric value (kcal)	339.73 \pm 0.183	ND	346.86 \pm 1.152	ND

Max = maximum; min. = minimum; ND = not described.

2. Physicochemical analysis of tank water quality

2.1 Materials & methods

At each collection and harvest, water quality analyses were performed at six different points in the tank (water temperature with a specific thermometer for fish farming, pH, total ammonia, hardness, nitrite, dissolved oxygen, alkalinity, and carbon dioxide with the Acqua Supre kit (São Paulo, BR) and transparency via Secchi Disc (CIENLAB, São Paulo, BR).

2.2 Results

The results of water quality are described in Table 2.

Table 2.

Water quality analysis data from the dugout ponds tanks during the experiment.

Analysis	A		B	
	C1	C2	C3	C4
Temperature (°C)	27.6 ± 0.22	27.9 ± 0.20	25.9 ± 0.20	24.8 ± 0.27
Transparency (cm)	47.7 ± 5.79	28.3 ± 10.78	64.3 ± 2.07	48.3 ± 2.07
Nitrite (mg L ⁻¹)	0.1 ± 0.00	0.1 ± 0.05	0.1 ± 0.05	0.0 ± 0.00
Total ammonia (mg L ⁻¹)	0.6 ± 0.00	0.6 ± 0.00	0.5 ± 0.44	0.4 ± 0.46
Dissolved Oxygen (mg L ⁻¹)	15.2 ± 2.99	15.7 ± 3.27	16.5 ± 5.08	19.5 ± 2.07
pH	6.5 ± 0.00	6.6 ± 0.20	6.5 ± 0.00	6.1 ± 0.20
Total hardness (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	9.0 ± 0.00	15.0 ± 0.00	9.0 ± 0.00	9.5 ± 1.22
Carbon dioxide (mg L ⁻¹)	123.7 ± 7.12	78.3 ± 6.12	4.0 ± 0.00	4.0 ± 0.00
Alkalinity (mg of CaCO ₃ L ⁻¹)	9.0 ± 0.00	19.0 ± 1.55	15.0 ± 0.00	15.0 ± 0.00

A = tank A; B = tank B.

C1 = rainy season with 18 month-old animals. C2 = dry period with 25-month-old animals. C3 = rainy season with 24-month-old animals. C4 = dry period with 30-month-old animals.

LITERATURE CITED

- BRASIL. (2001). Regulamento técnico para rotulagem nutricional obrigatória de alimentos e bebidas embaladas. Resolução RDC nº 40, March 21th Brasília. Brasil: Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. DOU, 22/01/2001, Seção I.
- BRASIL. (2003). Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Resolução RDC nº 360, December 23th. Brasília, Brasil: Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. DOU, 26/12/2003, Seção I.
- BRASIL. (2011). Métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de pescado e seus derivados. Instrução Normativa nº 25, June 2nd. Brasília, Brasil: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. DOU, 03/06/2011, Seção I.

7.2 ARTIGO 3

7.2.1 HIGHLIGHTS

- The physicochemical characteristics differed in the different ages and weights.
- There is only a high correlation between fatty acid profile and age.
- Consuming *Arapaima* provides health benefits, although it is not a source of EPA+DHA.
- Colorimetric parameters varied according to the analyzed region, age, and weight.
- Twenty-four-month-old animals weighing at least 10 kg are indicated as raw material.

7.3 ARTIGO 4

7.3.1 HIGHLIGHTS

- The seasons affected the freshness and quality of pirarucu blanket while age did not.
- Humidity and accumulated rainfall varied significantly while temperature did not.
- Lower ages in rainfall have higher pH in 24 h, WRC, CL, and Aw values.
- TNVB and shear force were higher in the rainy season in 24-month-old animals.
- Eighteen-month-old animals harvested in the rainy season show higher industrial yield.

7.3.2 SUPPLEMENTARY MATERIAL

This study is part of a doctoral experiment and was carried out in strict accordance with recommendations of the Federal University of Santa Maria (UFSM - CAAE no. 09071018.4.0000.5346, CEP 3.210.927) and in partnership with the Longo fish farm whose procedures for breeding and slaughtering were duly approved by the Municipal Inspection Service (SIM 001/MT) and Unified Agricultural Health Care System (SUASA) for the sale of its products throughout the state of Mato Grosso, Brazil.

The pirarucu (*Arapaima gigas*) were obtained from fish farms (Tank A: 10°17'57.76"S and 54°56'29.34"W, altitude 342 m; and Tank B: 10°14'17"S and 54°56'1"W, altitude 261 m) and a slaughterhouse (10°14'17 "S and 54°56'1"W, altitude 261 m) in Peixoto de Azevedo (Mato Grosso State, the Amazon region). Four harvests were performed in two excavated tanks and five specimens/tank/fish were collected, being five animals per collection in the rainy season (C1) in November/2017 for tank A (T1) and January/2018 for tank B (T2) and five animals in

the dry season (C2) in June/2018 in T1 and July/2018 in T2, totaling 20 animals. The fish were 18, 24, 25, and 30 months old and had a total weight ranging from 7.69 to 15.67 kg and were 1.006 to 1.258 m long.

Cultivation was carried out in excavated tanks: 6525 m² (45 m wide, 145 m long, and 2 m deep in the renewal water inlet area and 3.5 m in the deepest area) and 17,980 m³ of water, with renewal. Cultivation was identical for all fish from spawning to slaughter. Fish were fed in the morning with 85.0 g/kg of live weight with dry artificial feed specific for fattening carnivorous fish. Trawls were used for fishing and the fish were immediately taken to the local slaughterhouse with a municipal inspection seal (MIS). The animals were then stunned by hypothermia, bled by gill cutting, and processed to obtain the blankets (Fig. 1S). The blankets were placed in transparent polyethylene packaging suitable for food packaging and vacuum-sealed in an industrial table top sealer (R. Baião, MG, BR). The packages were then packed in a polystyrene box with ice (± 4 °C) and sent to the Meat, Fish, and Derivatives Technology Laboratory (LabCarPesc) of the Faculty of Nutrition at the Federal University of Mato Grosso and stored in a cold chamber at 4 °C until laboratory tests.

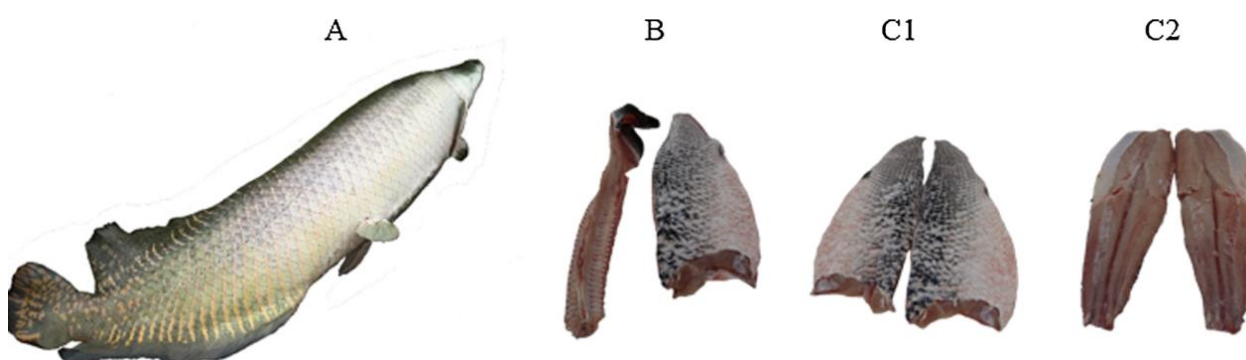


Fig. 1S. *Arapaima gigas* processing into blankets. (A) pirarucu after harvesting; (B) pirarucu blankets and spinal cord; (C1 and C2) pirarucu blanket to be analyzed. **Source:** Rosa et al. (2021).

7.4 ARTIGO 6

7.4.1 TABELAS

Table 1. Central rotational composite design used to optimize the salting process of pirarucu.

Trials	Coded variables		Real variables	
	Salt concentration (x ₁)	Salting time (x ₂)	Salt concentration, %	Salting time, h
1	-1	-1	12.9	34.5
2	1	-1	27.1	34.5
3	-1	1	12.9	85.5
4	1	1	27.1	85.5
5	-√2	0	10	60
6	√2	0	30	60
7	0	-√2	20	24
8	0	√2	20	96
9 (CP ¹)	0	0	20	60
10 (CP ¹)	0	0	20	60
11 (CP ¹)	0	0	20	60
12 (CP ¹)	0	0	20	60
13 (CP ¹)	0	0	20	60
14 (CP ¹)	0	0	20	60

¹ CP: central point

Table 2. Yield, water activity (Aw), sodium chloride, moisture and ashes obtained from the formulations in the study of optimization of salting of the pirarucu blanket. Results expressed as mean ± standard deviation.

¹ CP	Yield, %	Aw	Sodium chloride, %	Moisture, %	Ashes, %
1	58.93	0.7336±0.0066	8.20±0.4830	45.89±2.0689	15.31±1.8934
2	68.20	0.7379±0.0025	11.22±1.7051	46.64±1.3511	18.55±2.6990
3	59.26	0.7546±0.0169	8.56±0.8279	54.58±0.5630	12.89±1.1686
4	66.98	0.7843±0.0254	10.06±1.1775	47.35±0.7784	15.07±0.3169
5	59.83	0.8204±0.0158	6.30±0.6842	48.06±0.7437	14.00±1.9998

6	67.98	0.7927±0.0133	8.90±1.2789	47.81±0.4807	14.21±0.6310
7	59.58	0.7363±0.0018	11.18±0.7626	53.16±1.3898	17.31±0.4843
8	58.41	0.7400±0.0015	14.09±1.6605	57.07±2.7194	19.65±0.9231
9 (CP ¹)	69.77	0.7463±0.0066	10.13±0.2387	50.64±2.0057	12.60±1.6198
10 (CP ¹)	57.52	0.7313±0.0041	12.86±0.5643	45.47±0.6526	17.37±1.5263
11 (CP ¹)	58.74	0.7317±0.0019	14.74±0.1709	40.42±0.2217	21.55±0.1707
12 (CP ¹)	70.59	0.7430±0.0022	12.33±0.4201	50.09±0.3650	16.49±0.8696
13 (CP ¹)	64.57	0.7409±0.0008	11.72±0.4531	49.45±0.5626	16.40±0.1012
14 (CP ¹)	72.16	0.7435±0.0015	11.33±0.1958	52.57±0.3562	15.13±0.1845

*¹ CP: central point as demonstrated on Table 1.



Figure 1. Arrangement of salted pirarucu blankets inside the freezer.

7.4.2 APÊNDICE

Realizou-se registro de acompanhamento do freezer utilizado durante todo o processo de otimização da salga da manta de pirarucu embora esses resultados não pudessem ser correlacionados no próprio estudo. Portanto, eles são descritos aqui como informações adicionais.

1. Monitoramento do termohigrômetro

Dos 21 dias do experimento, nota-se que a temperatura do ambiente da salga manteve-se entre 3.1 e 4.6 °C (média 3.82 ± 0.39 °C) e umidade relativa entre 80 a 89% (média $84.52 \pm 2.38\%$) conforme demonstrado na Tabela 1. Tal resultado atende o preconizado na legislação onde se descreve como temperatura de manutenção de peixe salgado máximo de 4 °C e para peixe salgado seco máximo de 7 °C (Brasil, 2019a).

Table 1. Values of temperature and relative humidity measured by the thermohygrometer during the salting process of the pirarucu blanket created in captivity.

Day	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
1	4.4	80
2	4.4	88
3	4.6	89
4	3.7	85
5	4.5	89
6	3.8	85
7	3.8	85
8	3.4	80
9	3.9	84
10	3.5	83
11	3.1	81
12	3.5	84
13	3.8	85
14	4.1	87
15	3.4	83
16	3.5	84
17	3.9	85
18	4.0	84
19	3.8	84
20	3.6	85
21	3.5	85
Average	3.82	84.5
Standard Deviation	0.39	2.38

LITERATURE CITED

Brasil. (2019a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa No 01, de 15 de janeiro de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que fixa a identidade e as características de qualidade que deve apresentar o peixe salgado e o peixe salgado seco. Brasil, DF. *Diário Oficial da União de 18/01/2019, Seção* (Vol.1, ed. 13, p. 2).