

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

GABRIELLA LEITE MAGALHÃES

**QUALIDADE DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU
(*ARAPAIMA GIGAS*) E DE ENCAPSULADO DO EXTRATO DA
POLPA DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA*)**

GOIÂNIA, GO

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese

2. Nome completo do autor

Gabriella Leite Magalhães

3. Título do trabalho

QUALIDADE DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU (ARAPAIMA GIGAS) E DE ENCAPSULADO DO EXTRATO DA POLPA DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA)

Documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Eliane Teixeira Mársico, Usuário Externo**, em 25/03/2021, às 18:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **GABRIELLA LEITE MAGALHÃES, Discente**, em 26/03/2021, às 08:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1936468** e o código CRC **6FBCE820**.

GABRIELLA LEITE MAGALHÃES

**QUALIDADE DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU
(*ARAPAIMA GIGAS*) E DE ENCAPSULADO DO EXTRATO DA
POLPA DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA*)**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientadora: Prof. Dr^a. Eliane Teixeira Mársico

Coorientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Caliarí

GOIÂNIA, GO

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Magalhaes, Gabriella Leite
QUALIDADE DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU
(ARAPAIMA GIGAS) E DE ENCAPSULADO DO EXTRATO DA
POLPA DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA) [manuscrito] / Gabriella
Leite Magalhaes. - 2021.
VI, 96 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Eliane Teixeira Mársico; co-orientador Dr.
Manoel Soares Soares Júnior; co-orientador Dr. Márcio Caliani.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2021.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Subprodutos. 2. Pescado. 3. Compostos fenólicos. 4. Sonicação.
5. Antioxidante natural. I. Mársico, Eliane Teixeira, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 01/2021 da sessão de Defesa de Dissertação de **Gabriella Leite Magalhães**, que confere o título de Mestra em **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, na área de concentração em **Ciência e Tecnologia de Alimentos**.

Aos quinze dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e um, a partir das 10h, por Videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**QUALIDADE DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU (ARAPAIMA GIGAS) E DE ENCAPSULADO DO EXTRATO DA POLPA DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA)**”. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora Eliane Teixeira Mársico - UFG, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora Eliana de Fátima Marques de Mesquita (UFF), membro titular externo; e Professor Doutor Sérgio Borges Mano (UFF), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Eliane Teixeira Mársico, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos quinze dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO BORGES MANO, Usuário Externo**, em 15/03/2021, às 12:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliane Teixeira Mársico, Usuário Externo**, em 25/03/2021, às 18:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliana de Fátima Marques de Mesquita, Usuário Externo**, em 25/03/2021, às 22:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1936467** e o código CRC **F9799EBB**.

Referência: Processo nº 23070.013371/2021-66

SEI nº 1936467

*Aos meus pais, Maria do Carmo e Carlos, ao meu irmão Lucas, por
acreditarem e apoiarem minha caminhada.*

*Ao Felipe, meu companheiro, por sempre me incentivar, apoiar e trazer leveza
aos meus dias.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, a minha família, ao Felipe e sua família, e todas as pessoas que fazem parte da minha vida e estão sempre torcendo e vibrando cada conquista realizada.

Ao Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais - Labdarsa da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG) pela disponibilidade em realizar todas minhas análises.

A minha orientadora Prof. Dra. Eliane Teixeira Mársico, pela orientação, apoio e me acalmar nos momentos de desespero.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Manoel Soares Soares Junior, por toda contribuição, paciência e ensino no desenvolver do meu trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Márcio Caliari, por contribuir para a realização da minha pesquisa, pelo estágio docência.

Ao Prof. Dr. Ivan Torres do Instituto de Ciências Biológicas - ICB II, por disponibilizar o liofilizador e ajudar na realização da encapsulação.

A Alline Ribeiro por me ajudar no Labdarsa, pelo auxílio nas análises de DSC e RVA, e funcionamento e manuseio do texturômetro.

A Érica Oliveira Ribeiro por me ensinar as análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

As técnicas dos laboratórios da Engenharia de Alimentos, Ana Paula, Jussara e Taís, por toda ajuda prestada.

A Suelen Caroline e Hudimilla Mascarenhas, pela boa convivência, as risadas de desespero e por serem meu apoio.

A Monick Braga pela companhia diária no laboratório, pelos lanchinhos, risadas e correria.

As empresas Peixe Bom Pescados, Sorvetes Vilela e Cristal Alimentos pelas doações de matérias primas para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos- PPGCTA da EA/UFG por todo conhecimento compartilhado para meu crescimento profissional e pessoal.

A Coordenadoria de Apoio ao Pessoal de Ensino Superior pela concessão da bolsa de estudos na categoria mestrado.

Meu muito obrigado!

*“Nós mesmos contribuímos para o que sentimos e percebemos, pois
somos nós que escolhemos aquilo que nos é importante.”*

Jostein Gaarder

QUALIDADE DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU (*ARAPAIMA GIGAS*) E DE ENCAPSULADO DO EXTRATO DA POLPA DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA*)

RESUMO GERAL

O aproveitamento de subprodutos gerados pela indústria de arroz, filetagem de pescado, e o uso de polpa de frutas como antioxidante natural é um meio de agregar valor aos produtos, com apelo na saudabilidade. Os objetivos do presente estudo foram: avaliar como as variáveis, ciclo de lavagem, adição de farinha de arroz (%) e temperatura de gelatinização (°C) influenciava no surimi, com avaliação dos parâmetros de rendimento, umidade, proteína, lipídeos, análise colorimétrica, textura e estabilidade ao congelamento e descongelamento, para otimizar este processo utilizou um delineamento Box-Behnken; selecionar a melhor proporção de solvente (água):polpa de açaí e pH com maior teor de antocianinas, e extrair os compostos bioativos da polpa de açaí com ultrassom e microencapsular este extrato utilizando um delineamento composto central rotacional para otimização do processamento para avaliar o efeito tempo de extração e proporção de maltodextrina:extrato na eficiência de encapsulação, características químicas, atividade antioxidante, cor e morfologia das microcápsulas obtidas, visando desenvolver microcápsulas com elevado teor de compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante. O número de ciclos de lavagem afetou o rendimento (de 77 a 93%), umidade (55-67%), lipídeos (18-35%), proteína (7,15-11,88%), brancura (46,73-64,45), croma (8,86-13,18), ângulo hue (80,79-93,12°), coesividade (0,40-0,61), elasticidade (0,51-0,99 mm) e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas (85,16-96,53%); a concentração de FA afetou a umidade, lipídeos, coesividade, elasticidade e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas; e a temperatura de cozimento da FA afetou a umidade, brancura, croma, coesividade, elasticidade. Na otimização do surimi com três ciclos de lavagem foi possível a remoção das proteínas solúveis em água (7,15%) e o surimi de aparas de pirarucu apresentou um alto rendimento (93,07%). Com o aumento do ciclo de lavagem e adição de amido houve um aumento da umidade (67,61%) quando comparado ao nível mínimo (56%). Foi possível obter um aumento da umidade do surimi com o aumento do número de ciclos de lavagem e adição de amido. Com três ciclos de lavagem foi possível remover as proteínas solúveis em água de forma eficiente, produzindo um surimi com tendência a uma cor amarelo pálida em função do baixo teor de lipídeos. Os maiores teores de antocianinas nos extratos (520,50 mg cianidina-3-glicosídeo.100 g⁻¹) foram determinados com água em pH 2,0 e relação de polpa:água de 1:2. Na encapsulação do extrato proveniente da polpa de açaí verifica-se que com o aumento do material de parede, há aumento da umidade e croma (C*). Quando aumenta o tempo de extração e a proporção de material de parede:núcleo, tem-se uma maior extração de compostos fenólicos. Com tempo de extração de 13 min e proporção de material de parede:núcleo 15,82%, obteve uma maior retenção de antocianinas e teor de compostos fenólicos. O aproveitamento das aparas de pirarucu e de grão quebrados de arroz é viável para produção de um surimi de pirarucu com alto rendimento e alta qualidade física, química e tecnológica, com potencial de ser utilizado como ingrediente de produtos reestruturados, além de contribuir expressivamente com a sustentabilidade das agroindústrias. As microcápsulas desenvolvidas apresentaram resultados favoráveis para a aplicação em alimentos como antioxidante natural.

Palavras-chave: subprodutos; pescado, compostos fenólicos, sonicação, antioxidante natural, microcápsulas.

SURIMI QUALITY OF PIRARUCU PARINGS (*ARAPAIMA GIGAS*) AND AÇAÍ PULP EXTRACT (*EUTERPE OLERACEA*) ENCAPSULATE

ABSTRACT

The use of by-products generated by the rice industry, fish filleting, and the use of fruit pulp as a natural antioxidant is a means of adding value to products, with an appeal to healthiness. The objectives of the present study were: to evaluate how the variables washing cycle, the addition of rice flour (%) and gelatinization temperature (°C) influenced surimi, with the evaluation of the parameters of yield, humidity, protein, lipids, colorimetric analysis, texture and stability to freeze and thaw, to optimize the process, a Box-Behnken design was used; select the best solvent ratio (water): açai pulp and pH with higher anthocyanin content, and extract the bioactive compounds from the açai pulp with ultrasound and microencapsulate this extract using a central rotational compound design to optimize the processing to evaluate the effect extraction time and proportion of maltodextrin: extract in the encapsulation efficiency, chemical characteristics, antioxidant activity, color and morphology of the obtained microcapsules, aiming to develop microcapsules with high content of phenolic compounds, anthocyanins, and antioxidant activity. The number of washing cycles affected the yield (from 77 to 93%), humidity (55-67%), lipids (18-35%), protein (7.15-11.88%), whiteness (46.73 - 64.45), chroma (8.86-13.18), hue angle (80.79-93.12 °), cohesiveness (0.40-0.61), elasticity (0.51-0.99 mm) and stability to freeze and thaw at 4 weeks (85.16-96.53%); AF concentration affected moisture, lipids, cohesiveness, elasticity, and stability to freezing and thawing at 4 weeks; and the cooking temperature of the RF affected the humidity, whiteness, chroma, cohesiveness, elasticity. In the optimization of surimi with three washing cycles, it was possible to remove water-soluble proteins (7.15%) and surimi from pirarucu parings showed a high yield (93.07%). With the increase in the washing cycle and the addition of starch, there was an increase in humidity (67.61%) when compared to the minimum level (56%). It was possible to obtain an increase in the surimi's humidity with an increase in the number of washing cycles and the addition of starch. With three washing cycles, it was possible to remove the water-soluble proteins efficiently, producing surimi with a tendency to a pale yellow color due to the low content of lipids. The highest levels of anthocyanins in the extracts (520.50 mg cyanidin-3-glycoside.100 g⁻¹) were determined with water at pH 2.0 and a pulp: water ratio of 1: 2. In the encapsulation of the extract from the açai pulp, it is verified that with the increase of the wall material, there is an increase in humidity and chroma (C *). When the extraction time and the proportion of wall material: core increases, there is a greater extraction of phenolic compounds. With an extraction time of 13 min and proportion of wall material: core 15.82%, it obtained greater retention of anthocyanins and content of phenolic compounds. The use of broken pirarucu parings and broken rice grains is feasible for the production of pirarucu surimi with high yield and high physical, chemical, and technological quality, with the potential to be used as an ingredient in restructured products, in addition to contributing significantly to the agro-industrial sustainability. The developed microcapsules showed favorable results for application in food as a natural antioxidant.

Keywords: by-products, fish, phenolic compounds, sonication, a natural antioxidant, microcapsules.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Rendimento (%).....	49
Equação 2 - Croma (C*) surimi	50
Equação 3 - Ângulo hue (°) surimi	50
Equação 4 - Brancura surimi	50
Equação 5 - Gotejamento da perda de descongelamento (%)	51
Equação 6 - Acidez titulável em ácido cítrico.....	83
Equação 7 - Croma (C*) polpa e microcápsulas	83
Equação 8 - Ângulo hue (°) polpa e microcápsulas.....	83
Equação 9 - Eficiência de encapsulação (%).....	84
Equação 10 - % descoloração do DPPH.....	85
Equação 11 - Atividade antioxidante equivalente Trolox	85
Equação 12 - Teor de antocianinas (mg L ⁻¹)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Delineamento experimental utilizado para obtenção do surimi proveniente das aparas de pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>), variáveis codificadas e seus valores reais (X_1 : ciclo de lavagem, X_2 : farinha de arroz (%), e X_3 : temperatura de gelatinização da farinha ($^{\circ}\text{C}$).....	48
Tabela 2 - Composição proximal (%) da farinha de grão quebrado de arroz, em base seca (média $\pm$ desvio-padrão).....	52
Tabela 3 - Propriedades térmicas e de pasta da farinha de arroz (FA).....	54
Tabela 4 - Composição química das aparas de pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>), em base úmida ..	56
Tabela 5 - Modelos ajustados, nível de significância (p), coeficiente de correlação (R^2) e falta de ajuste (FA) para o rendimento (%), umidade (%), lipídeos (%), ângulo hue ($^{\circ}$), croma (adimensional), coesividade (adimensional) e elasticidade (mm) de surimi de aparas de pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) submetido a diferentes ciclos de lavagem (x_1), concentração de farinha de arroz (FA) (%) (x_2) e temperatura de cozimento da FA ($^{\circ}\text{C}$) (x_3). Os modelos utilizam os níveis codificados das variáveis.....	58
Tabela 6 – Valores reais, valores previsto (modelo) e erro percentual do ensaio de validação dos modelos de rendimento, umidade, lipídeos, proteína, brancura, croma (C^*), ângulo hue, coesividade, elasticidade e estabilidade ao congelamento e descongelamento.....	66
Tabela 7 - Delineamento experimental utilizado para microencapsulação do extrato da polpa de açaí com maltodextrina, variáveis codificadas e seus valores reais (X_1 : tempo de extração com ultrassom, X_2 : proporção material de parede:núcleo).....	80
Tabela 8 - Teor das antocianinas totais monoméricas (mg L^{-1}) em função do pH e da relação polpa de açaí: água	87
Tabela 9 - Características físico-químicas e cor instrumental da polpa de açaí	88
Tabela 10 - Modelos ajustados para eficiência de encapsulação, umidade, compostos fenólicos, ângulo hue e croma das microcápsulas de extrato de açaí processadas por liofilização em função do tempo de extração em ultrassom (min) (X_1) e proporção de material de parede e núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato) (%) (X_2).....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição química da polpa de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	23
Quadro 2 - Compostos fenólicos e atividade antioxidante (DPPH) das diferentes espécies de Euterpe.....	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão do músculo de pirarucu (A) dorsal; (B) ventilação; (C) ventral; (D) cauda	15
Figura 2 – Estrutura das antocianinas presente no açaí (<i>Euterpe oleracea</i>).....	25
Figura 3 – Estruturas químicas das antocianinas em diferentes valores de pH.....	26
Figura 4 - (A) Aparas de Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>); (B) Amostras da carne de pirarucu após desintegração	44
Figura 5 – Surimi de pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) com 3 ciclos de lavagem, 8% de farinha de arroz, e aquecimento de 95°C por 30 min para geleificação	46
Figura 6 – Geleificação do surimi a 95°C com diferentes proporções de adição de farinha de arroz (FA) (A) 2% FA; (B) 5% FA; (C) 8% FA	47
Figura 7 - Fluxograma do processamento do surimi proveniente das aparas de pirarucu e farinha de arroz (FA).....	49
Figura 8 - (A) Rendimento (%) do surimi de aparas de pirarucu em função do número de ciclos de lavagem; (B) Umidade (%; base úmida) em relação ao número de ciclos de lavagem e concentração de farinha de arroz (FA); (C) em relação a temperatura de cozimento da FA (°C) e concentração de FA (%); e (D) em relação a temperatura de cozimento da FA (°C) e ciclos de lavagem. A terceira variável em cada gráfico foi fixada no respectivo ponto zero. .	59
Figura 9 – (A) Teor de lipídeos e (B) de proteína em surimi de aparas de pirarucu em relação ao número de ciclos de lavagem e percentual de farinha de arroz, e número de ciclos de lavagem, respectivamente.....	61
Figura 10 - (A) Brancura (%) e (B) cromaticidade (adimensional) do surimi de aparas de pirarucu (%); em relação ao número de ciclos de lavagem e temperatura de cozimento da farinha de arroz (°C); (C) ângulo hue (°) em relação ao número de ciclos de lavagem	62
Figura 11 - (A) Coesividade do surimi de aparas de pirarucu em função da temperatura de cozimento da farinha de arroz (FA) (°C) e do número de ciclos de lavagem; (B) coesividade em função da concentração da FA (%) e do número de ciclos de lavagem; e (C) elasticidade em função da concentração da FA (%) e ciclo de lavagem; (D) Estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas em função da concentração da FA (%) e do número de ciclos de lavagem.....	64
Figura 12 - Teste de desejabilidade das propriedades do surimi elaborados com diferentes ciclos de lavagem, adição de farinha de arroz (%), temperatura de gelatinização (°C), considerando maior teor de umidade e ângulo hue como mais desejáveis e menor elasticidade.	65
Figura 13 -Polpa de açaí médio, Xingu Fruit– Castanhal, Pará, Brasil, Safra 2020.	79
Figura 14 - Fluxograma do processo de extração das antocianinas	81
Figura 15 - Fluxograma do processo de microencapsulação dos extratos da polpa de açaí ...	82
Figura 16 - Eficiência de encapsulação (%) em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%).....	91

Figura 17 – (A) umidade (%); (B) compostos fenólicos totais (CFT) (mg ácido gálico equivalente.100g ⁻¹) em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%)	92
Figura 18 - (A) ângulo hue (°); (B) croma (C*) em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%).....	95
Figura 19 – Fotografias das microcápsulas do extrato da polpa de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>), onde: X ₁ : tempo de extração com ultrassom (min); X ₂ : proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%)	95
Figura 20 - Micrografias eletrônicas de varredura das microcápsulas em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%).....	98
Figura 21 - Micrografias eletrônicas de varredura das microcápsulas em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%).....	99

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Dados dos tratamentos relacionados onde rendimento, umidade, proteínas, lipídeos e análises colorimétricas, onde X_1 =ciclo de lavagem; X_2 =farinha de arroz (%); X_3 =temperatura de gelatinização ($^{\circ}\text{C}$)	73
Apêndice B - Dados dos tratamentos relacionados à textura e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 1 e 4 semanas, onde X_1 =ciclo de lavagem; X_2 =farinha de arroz (%); X_3 =temperatura de gelatinização ($^{\circ}\text{C}$)	74
Apêndice C - Dados da microencapsulação do extrato da polpa de açaí, eficiência de encapsulação (%), umidade (%), antocianinas, compostos fenólicos, atividade antioxidante (DPPH e FRAP) e análises colorimétricas, onde X_1 = tempo de extração (min); X_2 = proporção de material de parede:núcleo (%).....	105

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>)	14
2.2 Surimi	15
2.2.1 Obtenção do surimi	15
2.2.2 Crioprotetores	18
2.2.3 Amido / farinha de arroz (FA)	18
2.2.4 Utilização do surimi	21
2.3 Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	22
2.3.1 Compostos fenólicos.....	23
2.3.2 Antocianinas	24
2.4 Encapsulação	27
2.4.1 Aspectos gerais	27
2.4.2 Agentes encapsulantes	28
3. OBJETIVOS	31
3.1 Objetivo geral.....	31
3.2 Objetivos específicos.....	31
REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO 2	41
RENDIMENTO E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE CICLOS DE LAVAGEM, TEOR E TEMPERATURA DE COZIMENTO DA FARINHA DE ARROZ	41
2.1 INTRODUÇÃO	42
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
2.2.1 Obtenção da matéria-prima, ingredientes e reagentes	44
2.2.2 Propriedades térmicas e de pasta da FA	45
2.2.3 Ensaios preliminares.....	45
2.2.4 Delineamento Box-Behnken para otimização da qualidade dosurimi.....	46
2.2.5 Análise de cor instrumental do surimi.....	50
2.2.6 Análises físico-químicas.....	50
2.2.7 Perfil textural	50
2.2.8 Estabilidade ao congelamento e descongelamento.....	51
2.2.9 Análise estatística	51
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52

2.3.1 Composição proximal, propriedades térmicas e de pasta da FA.....	52
2.3.2 Composição química das aparas de pirarucu.....	56
2.3.3 Avaliação do rendimento e da qualidade física, química e tecnológica dos surimis de pirarucu.....	57
2.4. CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	68
CAPÍTULO 3.....	75
QUALIDADE DE MICROENCÁPSULAS OBTIDAS POR LIOFILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE EXTRAÇÃO COM ULTRASSOM E PROPORÇÃO DE MALTODEXTRINA:EXTRATO DE AÇAÍ.....	75
3.1 INTRODUÇÃO	76
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	79
3.2.1 Obtenção da matéria-prima e insumos	79
3.2.2 Seleção da melhor proporção de solvente (água):polpa de açaí e pH da extração.....	79
3.2.3 Delineamento experimental para a extração das antocianinas e microencapsulação	80
3.2.4 Extração das antocianinas.....	80
3.2.5 Microencapsulação do extrato da polpa açaí pelo processo de liofilização	81
3.2.6 Ruptura das microcápsulas	82
3.2.7 Métodos analíticos.....	83
<i>3.2.7.1 Umidade, pH, acidez titulável e cor.....</i>	<i>83</i>
<i>3.2.7.2 Compostos fenólicos totais (CFT)</i>	<i>84</i>
<i>3.2.7.3 Eficiência de encapsulação</i>	<i>84</i>
<i>3.2.7.4 Atividade antioxidantes das microcápsulas</i>	<i>84</i>
<i>3.2.7.5 Antocianinas monoméricas totais da polpa e microcápsulas</i>	<i>85</i>
3.2.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	86
3.2.9 Análise estatística	86
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.3.1 Ensaio preliminar.....	87
3.3.2 Caracterização da polpa de açaí.....	87
3.3.3 Eficiência de encapsulação, umidade, compostos fenólicos e cor das microcápsulas	89
3.3.4 Morfologia das microcápsulas	96
3.3.5 Microcápsula de melhor qualidade para ser aplicada como antioxidante natural	97
3.4 CONCLUSÃO.....	100
REFERÊNCIAS	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O pirarucu (*Arapaima gigas*), peixe dulcícola conhecido como “gigante das águas”, possui características como rendimento de carcaça, ausência de espinhos intramusculares e carne tenra, que propicia a utilização para elaboração de diversos produtos, sendo uma lacuna a falta de conhecimento técnico para seu melhor aproveitamento. Normalmente, na região Norte é comercializado na forma de mantas de pirarucu salgado seco. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a produção de pirarucu em 2019 foi de 1,8 mil toneladas, porém para aumentar a oferta de pirarucus para comercialização há necessidade de avanços na atividade pesqueira e na piscicultura (SOUZA, 2017). Há também a importância de criar novas estratégias para agregar valor comercial aos produtos de beneficiamento do pirarucu, pois é um peixe de alto rendimento que possibilita aproveitar sua carne de diversas formas e diferentes métodos de conservação (LIMA et al., 2017).

A obtenção do surimi pode ser uma forma de aproveitar os resíduos originados da filetagem do Pirarucu. Por “surimi” entende-se uma pasta de peixe ou base proteica, submetida a várias etapas de lavagem, descrita como a principal etapa do processamento, e responsável pelas características do produto final (CORTEZ-VEGA; FONSECA; PRENTICE, 2013; JEYAKUMARI A. et al., 2016; ZHANG et al., 2017). Segundo o RIISPOA (BRASIL, 2020), é o produto congelado obtido a partir de carne mecanicamente separada de peixe, submetida a lavagens sucessivas, drenagem e refino, como adição de aditivos. De uma forma geral, estudos utilizando polpa de pescado de outras espécies para elaboração de produtos como *nuggets*, *fishburguers*, salsichas e outros produtos foram promissores para indústria, com aceitação sensorial pelos julgadores. Entretanto, com pirarucu, peixe com aproveitamento de carcaça expressivo, não há relatos na literatura, tanto para produção de surimi, como de produtos reestruturados derivados.

Os produtos reestruturados derivados de surimi têm como principal ingrediente o amido, responsável pela textura e capacidade de retenção de água de géis de proteína (LI et al., 2017). O processo de reestruturação ocorre através da moagem do músculo de peixe, solubilização das proteínas do pescado com adição de sal e desenvolvimento da pasta de peixe (JEYAKUMARI et al., 2016). O arroz, principal cereal cultivado no mundo, cujo endosperma é constituído de amido e proteínas, gera, durante seu beneficiamento, subprodutos como grãos

quebrados de arroz. Estes são utilizados para produção de farinha de arroz (FA), empregada como ingrediente de alimentos para melhorar a capacidade de absorção de água, o poder de espessamento, as propriedades emulsificantes e reatividade química com enzimas (OLIVEIRA et al., 2019). Desta forma, os grãos quebrados de arroz podem se tornar uma potencial fonte alternativa de amido, a ser aplicado no desenvolvimento de produtos reestruturados gerando, paralelamente, uso sustentável do produto e enriquecimento nutricional.

Dentre os problemas decorrentes do processamento de produtos de origem animal salienta-se a estabilidade das porções lipídica e proteica, que quando oxidadas resultam em perda nutricional, produção de moléculas indesejáveis, alterações sensoriais e escurecimento. Com a finalidade de prevenir ou retardar a oxidação, são adicionados aos alimentos, antioxidantes capazes de desenvolver mecanismos para protegê-los do efeito dos radicais livres (KUMAR et al., 2015; SIMITZIS; DELIGEORGIS, 2018). Uma fonte para obter extratos com propriedades antioxidantes são vegetais e frutas.

O açaizeiro é uma planta do gênero *Euterpe* nativa da Amazônia de consumo popularizado no Brasil e no exterior. A produção de açaí é concentrada na região norte do Brasil (92,1%), e em 2019 foi de 1,6 milhões de toneladas. No entanto, existe uma crescente demanda do mercado e indústria processadora. Atualmente os Estados Unidos é o maior fabricante e exportador mundial de produtos industrializados a base de açaí, com matéria prima produzida no Brasil (CONAB, 2019, 2020a). O açaí contém compostos bioativos naturais, com destaque para a presença de compostos fenólicos e antocianinas, responsáveis pelas propriedades antioxidantes, anti-inflamatória, antiproliferativa e cardioprotetora (YAMAGUCHI et al., 2015).

Antocianinas são compostos fenólicos com alto potencial antioxidante, porém são instáveis à temperatura, pH, luz e oxigênio. Grande parte dos antioxidantes utilizados na inibição da oxidação lipídica, pode apresentar características indesejáveis como baixa solubilidade em água, aromas e odores desagradáveis e instabilidade, podendo ser degradados durante o processamento e armazenamento. A fim de trazer possíveis soluções para estes entraves, utiliza-se o encapsulamento dos compostos antioxidantes, preservando melhor suas características quando aplicado em produtos processados (YAMASHITA et al., 2017; GÓMEZ et al., 2018).

Diante do exposto, o presente estudo objetiva otimizar a elaboração de surimi proveniente das aparas de pirarucu, com diferentes variáveis no número de ciclos de lavagem, adição de farinha de grãos quebrados de arroz (fonte de amido) e temperatura de

gelatinização; realizar a extração dos compostos bioativos da polpa de açaí; e otimizar a microencapsulação deste extrato, com variação de tempo de extração e proporção de material de parede e núcleo, no intuito de disponibilizar alternativas para o desenvolvimento de produtos reestruturados, estimular a sustentabilidade das agroindústrias de filetagem de pirarucu e de benefício de arroz, além de agregar valor ao açaí com o desenvolvimento de novo ingrediente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura foi desenvolvida a partir de aspectos relacionados ao peixe pirarucu, a elaboração de surimi e seus principais ingredientes: crioprotetores e amido, os produtos nos quais o surimi pode ser usado como matéria-prima, e o uso de antioxidantes em alimentos. Também é descrito aspectos relacionados ao açaí e seu potencial como antioxidante natural, devido ao fato de ser uma fruta rica em compostos fenólicos, com destaque para as antocianinas, embora seja altamente instável a luz, pH, oxigênio e temperatura. E finaliza abordando os métodos de encapsulação, com enfoque na liofilização e nos materiais utilizados como parede, como modo de garantir a estabilidade das antocianinas e aplicabilidade em alimentos.

2.1 Pirarucu (*Arapaima gigas*)

Peixe pertencente a ordem Osteoglossiforme, família Arapaimidae, reconhecido mundialmente como um dos maiores peixes dulcícolas, o pirarucu, nome de origem indígena (pira-peixe, urucum-vermelho) é nativo da bacia Amazônica, podendo atingir 3 m de comprimento e até 200 kg de peso, o que lhe rende o título de “Gigante da Amazônia”. Entretanto, devido a interesses comerciais, apoiado por pesquisadores, o cultivo em tanques tem também apresentado crescimento na região centro oeste do Brasil, devido a fatores como aceitação no mercado interno e externo, crescimento de até 12 Kg ao ano e alto rendimento de filé (50 a 65%) (JÚNIOR, 2018). A expressiva aceitação de sua carne está relacionada a coloração rosa atrativa, sabor suave e agradável, e inexistência de espinho, sendo, portanto um dos peixes nativos mais bem avaliados para o consumo (VALLADÃO; GALLANI; PILARSKI, 2018).

Na obtenção do filé, o pirarucu possui maior rendimento quando comparado a outras espécies, em torno de 30-50% (FOGAÇA et al., 2011). Entretanto, a forma mais tradicional de consumo é salgado em mantas, sendo conhecido regionalmente como “bacalhau da Amazônia”. O pirarucu possui alto potencial para a aquicultura, assim como para o processamento e comercialização. O músculo do peixe se divide em quatro áreas: dorsal, ventre, ventrecha e cauda (Figura 1).

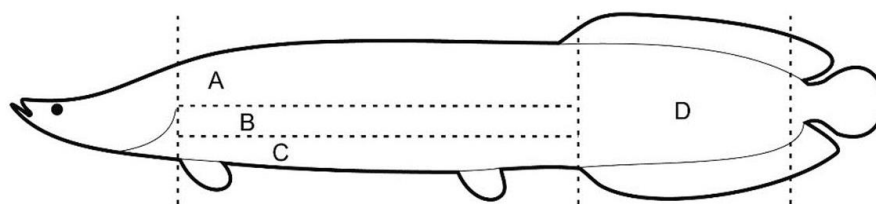


Figura 1 - Divisão do músculo de pirarucu (A) dorsal; (B) ventre; (C) ventrecha; (D) cauda

Fonte: Martins; Martins; Pena (2017).

A região ventrecha possui o maior teor de lipídeos totais quando comparada às demais regiões, apresentando em torno de 17,1%, assim como teor de proteína 25,8% e baixo teor de umidade 52,2%. O músculo do pirarucu é uma fonte proteica de alto valor biológico, pela presença de 48% dos aminoácidos essenciais (MARTINS; MARTINS; PENA, 2017). Segundo Cortegano e colaboradores (2017) a musculatura dorsal e ventrecha é uma excelente fonte de ácidos graxos altamente insaturados, como os ácidos eicosapentaenoico e docosahexaenóico, além disso, ambos músculos possuem menores índices de aterogenicidade (0,53 – 0,59) e trombogenicidade (0,94 – 1,02), indicando efeitos benéficos na prevenção de doenças das artérias coronárias.

2.2 Surimi

Os próximos itens referem-se ao histórico e surgimento do surimi, como ele é obtido, quais proteínas musculares interferem na sua elaboração e características, a importância do uso de aditivos como: crioprotetores e amido (farinha de arroz); e o uso de surimi como base para a elaboração de diversos produtos.

2.2.1 Obtenção do surimi

Produto originário da cultura japonesa, criado por mulheres de pescadores durante o século XVII, o surimi surgiu da necessidade de preservar o peixe para manter um estoque para períodos menos propícios a pesca. O início da comercialização data de 1960 quando ocorreu o processo de congelamento do produto, tendo como única matéria-prima o Polaca do Alasca (VIDAL-GIRAUD; CHATEAU, 2007). Em 1985 surgiram as primeiras empresas produtoras de surimi na Europa, mais especificamente, na França, acreditando no potencial de comercialização do produto.

O surimi é um concentrado de proteína miofibrilar obtido da lavagem de músculos de peixes. Com ótimas propriedades tecnológicas, as proteínas têm aplicabilidade no processamento de alimentos, pois são solúveis, possuem capacidade de retenção de água, de emulsificação, de geleificação e de formação de espuma. As proteínas musculares são divididas em três categorias de acordo com sua solubilidade, sendo elas miofibrilares, sarcoplasmáticas e estromais (MAZORRA-MANZANO et al., 2017).

As proteínas miofibrilares representam 55% das proteínas musculares, sendo responsáveis por formar as miofibrilas, unidade celular básica do tecido muscular. Nelas prevalecem a miosina (55-60%) e actina (15-30%), e proteínas reguladoras como tropomiosina e troponina. Durante a contração e relaxamento muscular ocorre o consumo de ATP, mas as cadeias de actina e miosina formam um complexo, denominado actomiosina quando ocorre falta de ATP, levando ao *rigor mortis* ou enrijecimento muscular. Proteínas miofibrilares tem um ponto isoelétrico (pI) de 5,5, e a temperatura e pH influenciam diretamente na solubilidade em água e em soluções salinas (GUO et al., 2019; MATAK; TAHERGORABI; JACZYNSKI, 2015).

Constituindo de 10 a 15% das proteínas musculares, as proteínas estromais, são compostas por colágeno e elastina, responsáveis por formar o tecido conjuntivo na estrutura muscular. Tem como características não serem solúveis em água, e não são afetadas pelo pH, temperatura e solução salina. Já as proteínas sarcoplasmáticas compreendem de 25 a 30% das proteínas musculares, são solúveis em água, e durante a formação de gel das proteínas miofibrilares podem interferir na reticulação da rede de gel, portanto têm impacto negativo na geleificação (MATAK; TAHERGORABI; JACZYNSKI, 2015).

A lavagem da polpa de carne é a etapa fundamental no preparo de surimi, pois têm como finalidade aumentar a concentração das proteínas miofibrilares e eliminar componentes indesejáveis como sangue, proteínas sarcoplasmáticas, pigmentos, lipídeos e aromas indesejáveis (FOGAÇA et al., 2015; ZHOU; YANG, 2019). Com intuito de atingir uma boa capacidade de formação de gel, a temperatura da água de lavagem deve ser de 10°C ou menos, para alcançar uma melhor solubilidade das proteínas sarcoplasmáticas. A água deve ainda ter como características o pH de aproximadamente 7, e dureza total de 100 mg.Kg⁻¹ ou inferior de CaCO₃ (CODEX ALIMENTARIUS, 2012).

A composição química do surimi é afetada pelo número de ciclos de lavagem, pois as proteínas miofibrilares retém água, aumentando a umidade final. Além disso, a lavagem inibe a degradação da proteína e melhora estabilidade do produto. Em relação a cor, há um aumento da luminosidade (L*) e uma redução no valor (a*) com o aumento do número de ciclos de

lavagem, devido à eliminação de pigmentos coloridos, como a mioglobina e a hemoglobina (FOGAÇA et al., 2015).

O principal fator que é observado em produtos cárneos é a textura do produto final, e a finalidade das proteínas miofibrilares é a formação de gel a fim de garantir esse fator, incluindo a alta nota de percepção sensorial do produto final (ZHANG et al., 2017; ZHOU et al., 2019). A geleificação das proteínas miofibrilares é induzida através do calor, em que a miosina se desdobra e forma ligações intermoleculares (MORENO et al., 2016). Essa estrutura é sustentada por ligações não covalentes, como ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e ligações de dissulfeto (LIN et al., 2020).

No processo de geleificação as proteínas musculares interagem desenvolvendo uma rede contínua tridimensional, onde há o aprisionamento de água formando-se um gel viscoelástico, e isto é responsável pela textura dos alimentos. Além disso, a geleificação é afetada pela espécie do peixe, condições de fragmentação (tempo e temperatura de corte) e a concentração final. O sal também é necessário para propiciar a formação de gel, pois ele é capaz de extrair e solubilizar as proteínas miofibrilares, e também proporciona o sabor salgado e inibe o crescimento de microrganismos (POOWAKANJANA; PARK; PARK, 2015; MAZORRA-MANZANO et al., 2017).

Oliveira e colaboradores (2017) realizaram três ciclos de lavagem em filés de tilápia, sendo uma apenas com água e outra com solução salina alcalina, e observaram que houve uma maior eliminação de lipídeos no tratamento que foi realizado apenas com água, mais eficiente na remoção de proteínas sarcoplasmáticas. Fogaça e autores (2015) avaliaram o efeito dos ciclos de lavagem e adição de amido de tapioca nas características de surimi de carne mecanicamente recuperada de tilápia. Verificaram que, com a lavagem, havia inibição da degradação da proteína e, conseqüentemente, melhoria na estabilidade do produto, e o amido foi capaz de melhorar as propriedades físicas.

Em um estudo utilizando a Cobia (*Rachycentron canadum*) na elaboração do surimi com 2-5 ciclos de lavagem e adição de pirofosfato tetrassódico, e com ou sem adição de cloreto de cálcio, concluiu-se que esses parâmetros afetavam as propriedades do surimi, principalmente com aplicação de 5 ciclos de lavagem e combinação de pirofosfato e cloreto de cálcio, resultando em uma maior brancura e capacidade de retenção de água (HAMZAH; SARBON; AMIN, 2015).

2.2.2 Crioprotetores

A adição de crioprotetores é realizada antes do congelamento do surimi com a finalidade de manter a formação de gel, mesmo quando for submetido a um aquecimento após o descongelamento. A adição também impede a desnaturação das proteínas miofibrilares, aumentando a validade comercial do produto congelado. Os agentes crioprotetores mais conhecidos são açúcar, polifosfatos e sorbitol (CODEX ALIMENTARIUS, 2012). Os crioprotetores químicos agem formando ligações de hidrogênio com as proteínas, substituindo as moléculas de água livre em torno das mesmas, garantindo, desta forma, a estrutura do surimi (SHARMA et al., 2018).

O uso de NaCl e sacarose usado como agentes crioprotetores ocasionam a redução no teor de lipídeos no surimi e remoção de compostos nitrogenados não proteicos (OLIVEIRA et al., 2017). Normalmente é adicionado NaCl na água de lavagem com a finalidade de extrair as proteínas miofibrilares e facilitar a separação de matéria indesejável (HAMZAH; SARBON; AMIN, 2015).

Liu e colaboradores (2014) utilizaram uma mistura crioprotetora comercial de 4% (sacarose/sorbitol, 1:1) no surimi de carpa comum, e obtiveram, nas amostras adicionadas com crioprotetores, uma contagem microbiana inferior. Além disso, os crioprotetores atuaram como aglutinantes de água, promovendo a interação água-membrana lipídica, e prevenindo a oxidação proteica.

Em estudo usando como crioprotetores sorbitol (4%), sacarose (4%) e trifosfato de sódio (0,2%), houve redução no teor total de proteína através do aumento da hidratação, que evitou uma baixa no teor de umidade, e também manteve o perfil de viscosidade. Além disso, sacarose e sorbitol minimizaram a redução na atividade da ATPase de Ca^{2+} durante o armazenamento do produto congelado, retardando a reação de deterioração (MURTHY et al., 2017).

2.2.3 Amido / farinha de arroz (FA)

Um aditivo alimentar muito usado na produção de surimi é o amido, por ser de fácil dispersão, possuir capacidade de absorver água e conferir viscosidade durante o aquecimento. Sobretudo, o amido melhora a força do gel, reduz custos no processamento e confere estabilidade durante o armazenamento do produto congelado (JIA et al., 2018). Os amidos

mais utilizados em surimi são os de trigo, milho, batata, milho ceroso e mandioca, adicionados entre 4 a 12% (HUNT; GETTY; PARK, 2010).

O amido é um polissacarídeo, composto por uma mescla polimérica de dois tipos de α -glicanos, conhecidos por amilose (α -1,4) e amilopectina (α -1,6). Para ter uma excelente funcionalidade tecnológica é necessário verificar sua estrutura molecular, tamanho e peso dos componentes de amilose e amilopectina (MUA; JACKSON, 1997). Os amidos podem ser classificados de acordo com o teor de amilose como: amidos cerosos (menos de 15%), amidos normais (entre 20-35%) e amidos com elevados teores dessa porção (acima de 40%) (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

O teor de amilose contribui com a textura, maciez, coesão, cor, brilho e volume de expansão quando aplicados em produtos alimentícios (FERREIRA et al., 2005); enquanto a amilopectina com o intumescimento dos grânulos de amido, e está relacionada a viscoelasticidade do amido, pois quanto maior o tamanho molecular da amilopectina, mais fraca será a rede de gel formada, ao passo que a amilose inibe o intumescimento (LI et al., 2019).

O amido contribui para elasticidade dos géis devido a interação proteína-polissacarídeo, neutralizando assim a redução da elasticidade provocada pela diminuição da quantidade de proteína miofibrilar das emulsões cárneas. Atua também preenchendo os espaços vazios, revestindo a superfície da rede de proteínas ou ficando aprisionado dentro da rede de proteínas (FAN et al., 2017). O grânulo de amido interfere diretamente na matriz de gel de surimi, pois com o aquecimento os grânulos, se tornam maiores devido à absorção de água, ocasionando o crescimento do conjunto surimi-amido (JIA et al., 2018).

Li e colaboradores (2017) aplicaram 8% de amido nativo de batata na produção de surimi, e determinaram como ocorria o mecanismo de interação entre o amido e a proteína. Os autores demonstraram que a presença de amido de batata poderia promover a formação de ligações cruzadas de proteínas miofibrilares no gel de surimi, ocasionando um aumento na qualidade do gel. Também analisaram como a interação água-amido alterava o estado água-proteína, movendo as interações hidrofóbicas dentro do sistema de gel de surimi.

Por outro lado, o arroz contém alta quantidade de amido, além de proteínas, vitaminas e minerais, e uma pequena quantidade de lipídeos (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). O amido de arroz comumente possui de 20-30% de amilose linear e 70-80% de amilopectina altamente ramificada (LEE; HUN; CHUNG, 2017).

Além do mais, o arroz é um dos cereais comumente mais consumidos mundialmente por cerca de 75% dos habitantes. No Brasil, seu cultivo ocorre em maior parte na região sul

devido as características climáticas (SAVI et al., 2018). Mundialmente foram colhidos em 2018, cerca de 740 milhões de toneladas de arroz por ano (PEANPARKDEE; IWAMOTO, 2019), e o Brasil é um dos maiores produtores perdendo apenas para os países produtores asiáticos (MILANI et al., 2017). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, a produção da safra 2019/20 de arroz em casca foi de 10.961,8 mil de toneladas (CONAB, 2020b).

O arroz é consumido em grande parte na forma de grão, e apenas em pequena quantidade em produtos processados (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). O grão de arroz é constituído pela casca, pericarpo e endosperma, integrado juntamente com o germe. O processamento do arroz consiste na etapa de descascamento e polimento. No descascamento elimina-se a casca de arroz, obtendo o arroz integral e este inclui o farelo, germe e grão, quando o arroz integral é polido obtém-se o arroz branco. Durante seu beneficiamento são gerados subprodutos como palha, casca e farelo de arroz (BIRLA et al., 2017; PEANPARKDEE; IWAMOTO, 2019).

Outro subproduto do beneficiamento do arroz é o grão quebrado, que é uma matéria-prima que pode ser utilizada para o desenvolvimento da FA (BASSINELLO; FERREIRA, 2017). A FA possui em torno de 77% de amido total (ZHU et al., 2011), e uma de suas características quando aplicado em produtos cárneos é a absorção de água, resultando em um produto com maior rendimento (BARBOSA et al., 2006). Além disso, possui sabor suave, coloração branca, hipoalergenicidade, fácil digestão e é um ingrediente atraente para desenvolvimento de novos alimentos (KADAN; BRYANT; PEPPERMAN, 2003).

O farelo e os grãos quebrados de arroz em grande maioria são destinados à alimentação animal, porém possuem benefícios nutricionais ao consumo humano. O farelo é rico em vitaminas, minerais e fibras do arroz integral, já os grãos quebrados polidos são excelente fonte de energia, devido aos carboidratos presentes e proteínas (BASSINELLO; FERREIRA, 2017).

A FA é obtida através da moagem do arroz, onde o grão é submetido a uma força mecânica, e durante esse processo há geração de fricção e energia mecânica, causando uma mudança estrutural nos grânulos de amido, com influência direta nas suas propriedades funcionais e na composição da farinha (ASMEDA; NOORLAILA; NORZIAH, 2016). Dentre os cereais existentes, os grânulos de amido do arroz são os menores, em torno de 3-8 µm, de formato angular e agrupados como grânulos compostos (AMAGLIANI et al., 2016). A estrutura molecular, tamanho e peso das frações amilose e amilopectina apresentam relação

direta com a funcionalidade tecnológica (MUA; JACKSON, 1997), e poderiam ser explorados como fonte de amido no processamento de surimi.

2.2.4 Utilização do surimi

Alguns produtos podem ser desenvolvidos a partir do surimi. Moosavi-Nasab, Asgari e Oliyaei (2019) elaboraram nuggets com base em surimis do peixe rainha (*Scomberoides commersonianus*) submetidos ou não a lavagem, e reportaram que os produtos formulados com surimi lavado apresentaram menor oxidação lipídica e índice de peróxido, quando comparados com os não lavados. Há também registros do emprego do surimi congelado e em pó na elaboração de salsichas (SANTANA; HUDA; YANG, 2015), de kamaboko (Japão) e kani-kama (Coreia, Europa e Estados Unidos) (BASHIR et al., 2017).

Existem estudos nos quais foram adicionados antioxidantes naturais com a finalidade de aumentar a estabilidade de produto derivado de surimi ao longo do armazenamento. Tayel, et al. (2018) aplicaram extratos naturais de romã (*Punica granatum*) e da azedinha (*Hibiscus sabdariffa*) como corantes, conservantes e agentes antimicrobianos em surimi e *fishburger*. Tais extratos foram eficazes na inibição da *Listeria monocytogenes* e aumentaram a validade comercial dos produtos. Priyadarshini et al. (2021) desenvolveram um produto análogo de camarão utilizando um surimi de tilápia, com aplicação de extrato de feijoeiro e de casca de coco para garantir a estabilidade do produto, e relataram um aumento da validade comercial (21 dias) se comparado a amostra controle (12 dias). Zheng et al. (2021) utilizaram um surimi de peixe de água doce proveniente da indústria Fujian Anjing Foods Co., e adicionaram uma alga conhecida por fucoïdano (*Laminaria japonica*), possuidora de características antioxidantes e bacteriostáticas. Concluíram que o uso de fucoïdano em baixa concentração, melhora as propriedades físico-químicas e a estabilidade de armazenamento dos produtos de surimi.

Os antioxidantes são compostos utilizados em pequenas concentrações, capazes de impedir que biomoléculas (proteínas, ácidos nucleicos, lipídios poli-insaturados, açúcares) sofram danos oxidativos via radicais livres (LEOPOLDINI et al., 2004). São comumente adicionados à produtos cárneos a fim de evitar a oxidação lipídica e proteica, inibir o desenvolvimento de sabores desagradáveis e, consequentemente, melhorar a estabilidade da cor. Eles se dividem em sintéticos, como BHA (butil-hidroxi-anisol), BHT (butil-hidroxi-tolueno), PG (propilgalato) e TBHQ (tercil-butil-hidroquinona); e naturais, provenientes de plantas e frutas (KUMAR et al., 2015).

Os antioxidantes sintéticos são possíveis causadores de danos hepáticos e carcinogêneos (BALYAN; SARKAR, 2017). Assim, o estudo dos antioxidantes naturais, objetiva diminuir o uso de antioxidantes sintéticos, que são normalmente usados pelas indústrias alimentícias, trazendo benefícios tecnológicos e nutricionais, além de promover a saudabilidade (JIANG; XIONG, 2016).

Compostos fenólicos possuem atividade antioxidante devido à capacidade de sequestrar radicais livres ou possuírem propriedade redox, assim como atuam como agentes redutores, inibidores de oxigênio singlete, e potenciais quelantes de metais pró-oxidantes (MOHAJER et al., 2016). A inativação dos radicais livres usando fenólicos como antioxidantes (ArOH) ocorre através da transferência de um elétron de hidrogênio para o radical livre ($\text{R}\bullet$), ocorrendo a formação de um radical inativo ($\text{ArO}\bullet$) (LEOPOLDINI; RUSSO; TOSCANO, 2011).

Durante o processamento dos alimentos que serão adicionados de fenólicos é necessário verificar os efeitos de temperatura, pH, força iônica, presença de lipídios insaturados e açúcares redutores, pois esses fatores podem inibir a atividade antioxidante devido à alta instabilidade dos antioxidantes naturais (JIANG; XIONG, 2016).

Normalmente são utilizados extratos vegetais como antioxidantes que são incorporados em produtos cárneos como extratos, pós solúveis em água ou insolúveis em água. Entre as matérias-primas brasileiras com potencial para a produção de extratos ricos em fenólicos, estão alguns frutos ricos nestes compostos, entre eles o Açaí.

2.3 Açaí (*Euterpe oleracea*)

Os açaizeiros pertencem ao gênero *Euterpe*, membros da família *Arecaceae*, destacando-se três espécies: *E. oleracea* “açaí do Pará”, *E. precatória* “açaí do Amazonas” e *E. edulis*. Normalmente as duas primeiras espécies são utilizadas para comercialização (YAMAGUCHI et al., 2015). No Brasil, a produção de açaí se concentra no Pará e Amazonas, estados responsáveis por 90% da produção. No ano de 2017, o açaí se destacou como a terceira fruta mais produzida no país (CONAB, 2019).

Os frutos do açaizeiro possuem formato de bagas e crescimento na forma de cachos, com aproximadamente 1 a 1,5 cm de diâmetro, com coloração variando de vermelho ao preto, e seu consumo se dá na forma de sucos, “smoothies” e polpas. São exportadas para o EUA e Europa como suplementos dietéticos e na forma de polpa (FERREIRA et al., 2016).

Normalmente, o açaí é comercializado na forma de polpa congelada devido a alta perecibilidade. Durante o processamento, a polpa de açaí deve ser pasteurizada para inativação de enzimas (peroxidase e polifenoloxidase), microrganismos indesejáveis e, principalmente, controle do protozoário *Trypanosoma cruzi*, o agente etiológico da doença de Chagas (CARVALHO et al., 2017; COSTA; SILVA; VIEIRA, 2018).

O açaí é caracterizado como alimento funcional devido seu elevado teor de fibra alimentar e polifenóis (CURIMBABA et al., 2020). O fruto se divide em semente (84%), casca (2%) e polpa (10%), e, de acordo com o Quadro 1, é um produto com alto valor energético em função do expressivo teor de lipídeos, sendo os ácidos graxos mais presentes o oléico, palmítico e linoleico (FERREIRA et al., 2016).

Quadro 1 - Composição química da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*)

Constituinte ¹	(FERREIRA et al., 2016)	(COSTA; SILVA; VIEIRA, 2018)
Umidade	94,51	88,34
Proteína	6,75	9,47
Lipídeos	33,49	47,59
Cinzas	3,78	4,41
Carboidratos	56,43	18,73

¹%

O açaí apresenta efeito anti-inflamatório em função do alto nível de proantocianidina, e as antocianinas, combinadas com demais compostos bioativos, exercem potencial para cicatrização de feridas e reparos na pele (XIONG et al., 2020), além de atividade antioxidante com ação em doenças neurodegenerativas, proteção contra aterosclerose, e atua como agente quimiopreventivo (YAMAGUCHI et al., 2015). Pala e colaboradores (2018) caracterizaram o açaí como sendo um alimento funcional, devido à oferta de proteção ao corpo humano contra aterogênese e algumas doenças degenerativas provenientes do estresse oxidativo e metabolismo lipídico.

2.3.1 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos ou polifenóis são metabólitos secundários derivados do ácido chiquímico em amostras de plantas e possuem capacidade de inibir ou retardar a oxidação (ROBARDS et al., 1999; FALOWO; FAYEMI; MUCHENJE, 2014; SINGH; SINGH, 2018).

Tais compostos desempenham papel de proteção às plantas e são capazes de promover a saúde humana atuando como antioxidante, agente antialérgico, anti-inflamatório, anticancerígeno, anti-hipertensivo e antimicrobiano (DAGLIA, 2012; SINGH; SINGH, 2018).

Os compostos fenólicos são divididos em flavonóides (antocianinas, flavonóis, flavanonóis, flavonas e isoflavonas) e não flavonóides (ácidos fenólicos, estilbenos, taninos, cumarinas, lignanas e neolignanas) (CHHIKARA et al., 2018). Além do mais, representam papel fundamental na definição da cor (antocianinas) e na aceitação sensorial da fruta, atuando também como conservantes de alimentos (SINGH; SINGH, 2018).

Os flavonóides são encontrados na forma glicosilada, com uma ou várias frações de açúcar ligadas por meio de um grupo OH ou por ligações carbono-carbono, diferenciados de acordo com a condição de oxidação do anel C, quantidade de hidroxilas e substituição no carbono 3, sendo, nesta forma, mais solúveis em água (ACOSTA-ESTRADA; GUTIÉRREZ-URIBE; SERNA-SALDÍVAR, 2014; JAKOBEK, 2015; LEOPOLDINI; RUSSO; TOSCANO, 2011).

O açaí contém grandes quantidades dessas substâncias bioativas, com destaque para flavonóides (31%), compostos fenólicos (23%), lignóides (11%) e antocianinas (9%) (DE OLIVEIRA; SCHWARTZ, 2018; YAMAGUCHI et al., 2015). O teor de fenólicos é variável conforme a espécie (Quadro 2), com maior teor na espécie *E. precatoria*. Porém, é importante ressaltar que estudos e dados na literatura ainda são limitados, sendo mais comum estudos com *E. edulis*, seguido da *E. oleracea*.

Quadro 2 - Compostos fenólicos e atividade antioxidante (DPPH) das diferentes espécies de Euterpe.

Espécie	Fenólicos totais	DPPH
<i>Euterpe precatoria</i> (KANG et al., 2012)	73	320,3
<i>Euterpe oleracea</i> (KANG et al., 2012)	31,2	133,4
<i>Euterpe edulis</i> (BICUDO; RIBANI; BETA, 2014)	49,09	703,32

¹ (mg GAE/g b.s); ²(μ mol TE/g b.s)

2.3.2 Antocianinas

As antocianinas constituem o grupo de compostos fenólicos mais importante encontrado no açaí (Figura 2), com destaque para cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3-sambubiosídeo e pelargoidina-3-glicosídeo. A concentração destes compostos está

relacionado diretamente com a maturação do fruto, logo, é necessário selecionar corretamente o estágio de maturação, a fim de garantir maiores concentrações de compostos fenólicos pós colheita (YAMAGUCHI et al., 2015). As antocianinas são solúveis em água, possuem potencial de utilização como pigmentos naturais e apresentam atividade antioxidante. No entanto, são altamente instáveis, e parâmetros como pH, temperatura de armazenamento, estrutura química, concentração, luz, oxigênio, solventes, presença de enzimas, flavonóides, proteínas e íons metálicos devem ser considerados durante a extração para garantir sua estabilidade (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009).

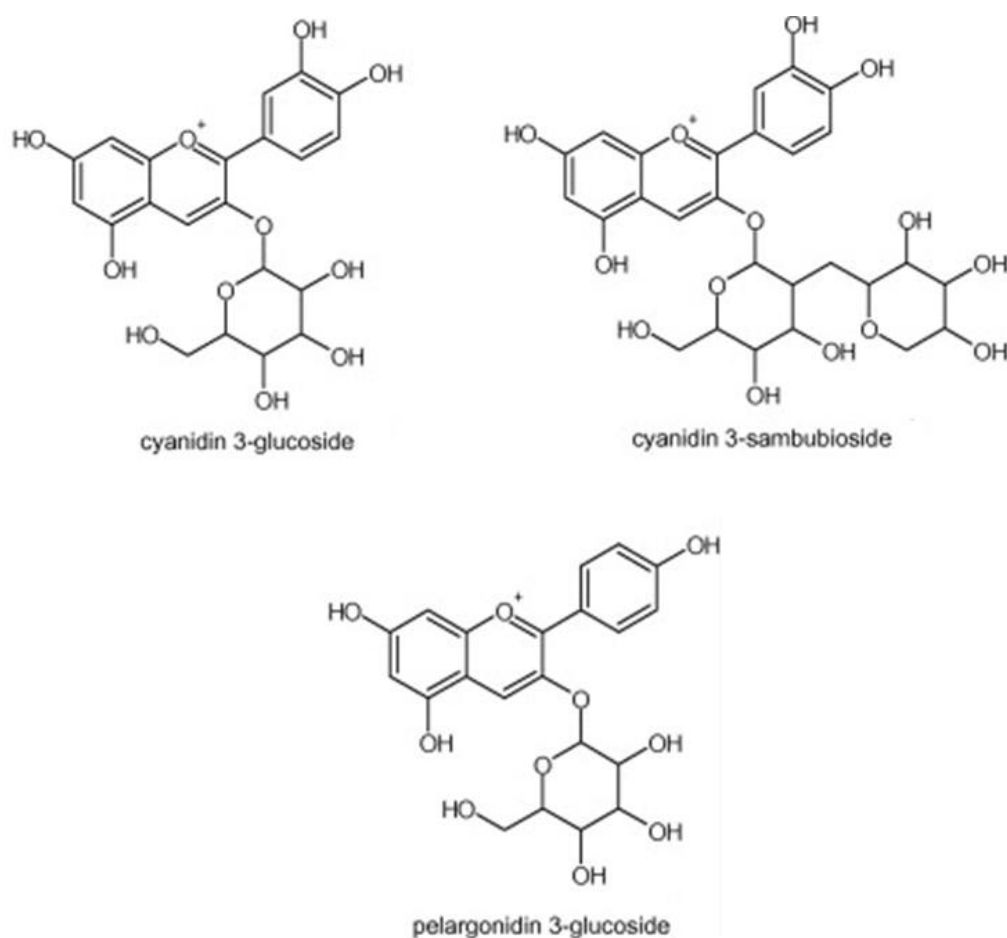


Figura 2 – Estrutura das antocianinas presente no açaí (*Euterpe oleracea*)

Fonte: Yamaguchi et al. (2015)

As estruturas químicas das antocianinas podem ser diferentes entre si dependendo do pH, podendo se caracterizar como o cátion *flavilium* (AH^+), bases quinoidais (A), pseudobase ou carbinol (B) ou chalconas (C) (Figura 3). Quando conjugadas com açúcares e ácidos orgânicos essas estruturas podem gerar diversas cores. O cátion *flavilium* tem elevada

reatividade para reagentes nucleofílicos, logo, a água utilizada como solvente é capaz de garantir a estabilidade e a reatividade das antocianinas (LEVI et al., 2004).

Brito e colaboradores (2017) avaliaram as alterações de cor dos extratos de antocianinas em diferentes condições de pH, variando de 1,0 a 8,0. No extrato de pH 1,0 e 2,0, as antocianinas predominaram na cor vermelha, estando na forma de cátion *flavilium*; em pH 4,0 a 6,0 apresentaram-se na forma incolor, ou seja, na forma de carbinol ou pseudobase; e entre pH 7,0 e 8,0 o extrato de antocianinas mostrou coloração azulada, estando na forma de base quinoidal.

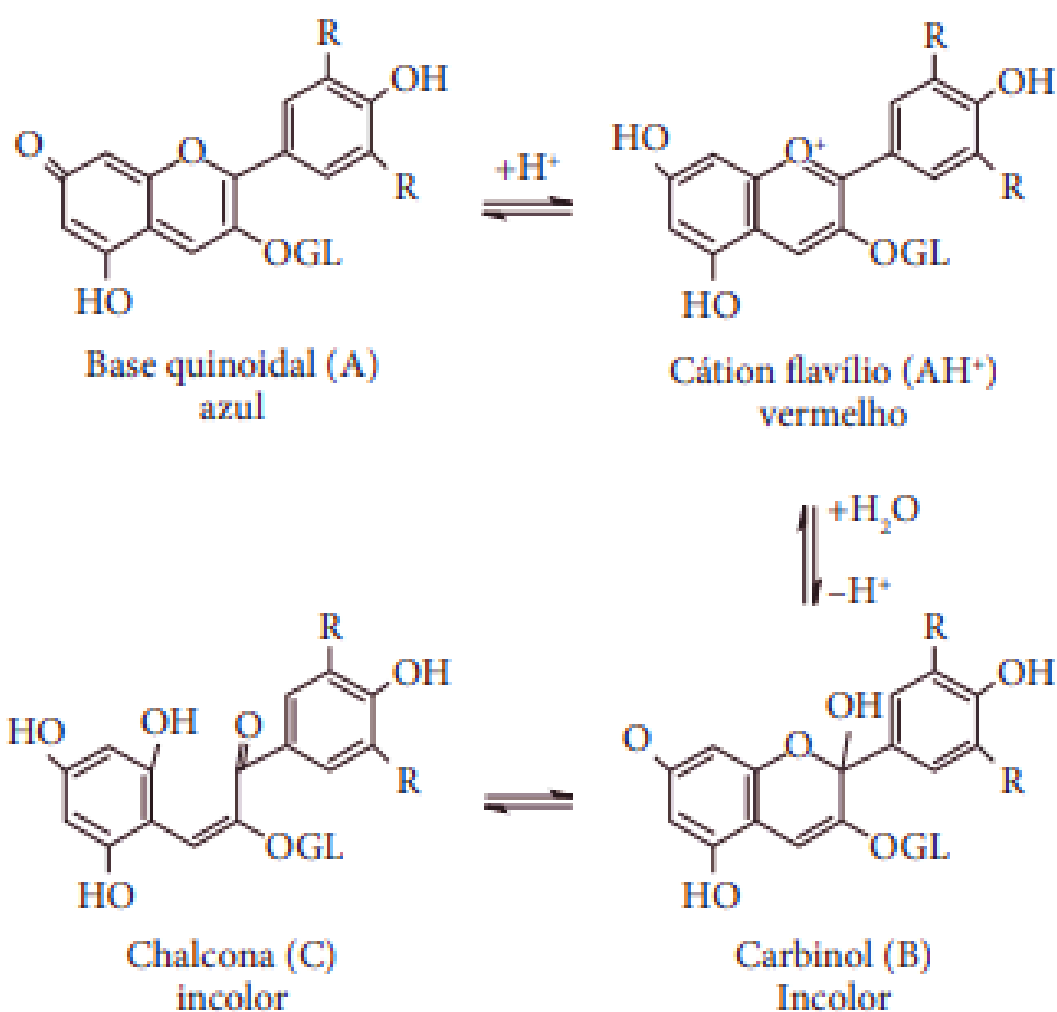


Figura 3 – Estruturas químicas das antocianinas em diferentes valores de pH

Fonte: Bordignon et al.(2009).

O pH influi diretamente na estabilidade das antocianinas, sendo descrito que, com a elevação do valor, há uma redução na preservação do pigmento, pois elas são mais estáveis quando há um aumento do número de metoxilo (CH₃O) e instáveis no momento em que as

hidroxilas (OH) aumentam (SANTOS et al., 2019). A coloração de púrpura a preta do açaí é proveniente das antocianinas. O seu teor aumenta de acordo com a maturação, e é devido a sua presença que a fruta possui alto potencial antioxidante (LESTARIO et al., 2017). A capacidade antioxidante dos polifenóis é devido à doação de hidrogênios e a mudança de posição no anel aromático (SINGH et al., 2016). Entretanto, a estabilidade das antocianinas é reduzida (CAI et al., 2019). Neste contexto, o encapsulamento é uma técnica que permite a adição de antioxidantes naturais em alimentos por garantir a sua estabilidade, além de permitir a liberação controlada e direcionada (LORENZO et al., 2018).

2.4 Encapsulação

2.4.1 Aspectos gerais

A encapsulação é definida como um processo tecnológico usado para incorporar um composto (agente ativo, núcleo) no interior de uma substância conhecida como material de parede, revestimento, agente carreador ou encapsulante (GÓMEZ et al., 2018). As partículas encapsuladas podem ser classificadas de acordo com o tamanho em: macrocápsulas ($> 5000 \mu\text{m}$), microcápsulas ($> 1 \mu\text{m}$ e $< 5000 \mu\text{m}$) ou nanocápsulas ($< 1 \mu\text{m}$) (RIBEIRO; ESTEVINHO; ROCHA, 2019).

A microencapsulação dos compostos fenólicos visa à utilização dessas substâncias como aditivos alimentares, podendo ser utilizada nas indústrias de alimentos para aumentar estabilidade de antocianinas e óleos (CAI et al., 2019). Por meio deste processo, é possível conservar suas propriedades por um tempo de armazenamento maior, visto que ficam protegidos da oxidação, e ainda mascara sabores indesejáveis como o amargor e a adstringência proveniente dos polifenóis (BALLESTEROS et al., 2017).

A técnica de microencapsulação é comumente baseada em processos de secagem, pois geralmente, os compostos bioativos são obtidos a partir de extratos líquidos. As técnicas mais usuais utilizadas para microcápsulas de antioxidantes são os métodos físicos conhecidos por atomização e liofilização, porém há métodos físico-químicos tais como coacervação, lipossomas e geleificação iônica, e também métodos químicos por polimerização e complexação de inclusão molecular (OZKAN et al., 2019).

Na microencapsulação a técnica de liofilização é muito utilizada para compostos sensíveis à temperatura, como as antocianinas (MAHDAVI et al., 2014), cujo processo de

secagem ocorre através do processo de sublimação (SOUZA; GURAK; MARCZAK, 2016), onde os compostos bioativos são homogeneizados juntamente com o material de parede ocasionando a formação de um pó (YAMASHITA et al., 2017).

No processo de secagem por liofilização tem-se uma maior eficiência na encapsulação de compostos fenólicos e flavonóides, além disso, há uma relação área/volume superficial menor se contraposto ao processo de atomização, permitindo que ocorra menor deterioração dos compostos fenólicos (BALLESTEROS et al., 2017).

Baldin et al. (2016) microencapsularam o extrato de resíduo de jabuticaba e aplicaram em salsichas do tipo Bologna com a finalidade de substituir o uso de corante vermelho de cochonilha, e verificaram que esse extrato microencapsulado possuía atividade antimicrobiana e antioxidante, que inibiu a oxidação lipídica. Rezende, Nogueira e Narain (2018) encapsularam o extrato da polpa e do resíduo agroindustrial da acerola e reportaram correlação significativa entre compostos fenólicos e atividade antioxidante, e potencial do produto ser aplicado em alimentos funcionais.

Saikia, Mahnot e Mahanta (2015) extraíram os compostos fenólicos do bagaço da carambola (*Averrhoa carambola*) e encapsularam com maltodextrina 20 DE, e verificaram maior eficiência de encapsulação na técnica por liofilização, além da possibilidade de incorporação do novo ingrediente em diferentes sistemas alimentares com o objetivo de aumentar a propriedade antioxidante.

2.4.2 Agentes encapsulantes

Os materiais de parede necessitam ser de grau alimentício quando aplicados em alimentos, possuir baixa higroscopicidade e biodegradabilidade, formar barreira entre a fase interna e externa devido a formação de filme, além de resistência ao calor (ROCHA et al., 2019). De acordo com Mahdavi e colaboradores (2016), para se ter uma boa eficiência de encapsulação de pós de antocianinas é necessário garantir uma alta retenção dos agentes ativos e quantidades mínimas dos agentes ativos na superfície das partículas em pó.

Comumente os materiais de revestimento são polissacarídeos (maltodextrina, goma arábica, β -ciclodextrina, quitosana, goma xantana, inulina, pectina ou polidextrose), proteínas (gelatina, isolado de proteína de soro de leite ou isolado de proteína de soja), lipídeos (ceras ou emulsificantes), usados isoladamente ou em combinação para melhorar a encapsulação e aumentar sua eficiência. Geralmente é necessário usar um carboidrato ou proteína a fim de

garantir esse efeito (LI et al., 2018; MAHDAVI et al., 2014). Os polissacarídeos são solúveis em solução aquosa e as proteínas são apenas dispersas (ROCHA et al., 2019).

Em relação aos materiais de parede, é fundamental levar em consideração a umidade, pH, solubilidade em água e viscosidade, pois essas propriedades garantem a eficiência de encapsulação e a estabilidade durante o armazenamento. A viscosidade está estritamente relacionada ao peso molecular do material de revestimento, pois baixo peso molecular terá baixa viscosidade em solução, assim durante a secagem retarda a formação de uma superfície semipermeável levando a degradação dos compostos bioativos. Para ser um bom material encapsulante é necessária uma região mais amorfa para encapsular compostos bioativos (RAMAKRISHNAN et al., 2018).

A temperatura de transição vítrea está relacionada à estabilidade do microencapsulado obtido durante seu armazenamento, logo, quanto maior a temperatura de transição vítrea, maior sua estabilidade. Principais fatores que afetam essa temperatura são peso molecular, estrutura química e teor de umidade do material de revestimento (KUCK; PELAYO; NOREÑA, 2016).

Os materiais encapsulantes mais usuais são maltodextrina, goma arábica e amido (LABUSCHAGNE, 2019). Maltodextrina é um amido hidrolisado (LAOKULDILOK; KANHA, 2015), com características de baixa higroscopicidade, alto grau de polaridade que contribui para sua alta solubilidade e não influencia o pH do meio, com capacidade de manter a cor original do compostos encapsulados. Além disso, possui baixa viscosidade, baixo teor de açúcar e, quando em soluções, são incolores (MAHDAVI et al., 2016).

Este material pode ter diferentes graus de dextrose equivalente (DE): 10 DE possui baixo peso molecular se comparado a 20 e 30 DE, devido ao seu alto grau de hidrólise, sendo portanto menos higroscópico (ROCHA et al., 2019).

Na encapsulação do extrato de amora utilizando como material de parede a maltodextrina (10 e 20 DE) e a técnica de liofilização, a maltodextrina de 10 DE proporcionou maior retenção de antocianinas quando comparada à 20 DE, logo quanto maior DE maior foi a perda de antocianinas. Com a adição da maltodextrina (ambas 10 e 20 DE), ocorreu um aumento do pH e uma diminuição na acidez titulável, e também verificou-se que as amostras com alta acidez total titulável detiveram maior quantidade de antocianinas (YAMASHITA et al., 2017). Souza, Gurak e Marczak (2016) em um estudo com diferentes materiais de parede, observaram que o melhor revestimento na proteção das antocianinas foi a maltodextrina, com fotoestabilidade de 226 dias.

Ballesteros e colaboradores (2017) realizaram encapsulamento de compostos fenólicos, os antioxidantes extraídos do pó de café, utilizando as técnicas de atomização e liofilização, e como material de parede maltodextrina 20 DE e goma arábica. Estes autores encontraram os melhores resultados com a utilização de 100% de maltodextrina e da técnica de liofilização, em que se atingiu maior retenção de compostos fenólicos (62%) e flavonóides (73%), e além disso com uma atividade antioxidante entre 73 a 86%.

Tonon, Brabet e Hubinger (2008) encapsularam a polpa de açaí por atomização variando a concentração de maltodextrina (10-30%), o aumento desta variável afetou negativamente o rendimento do processo, pois houve aumento da viscosidade da mistura, e também produziu cápsulas maiores. Ramírez, Giraldo e Orrego (2015) visaram à liofilização do suco de frutas com variação da concentração de encapsulante (10 a 30%) a fim encapsular o ácido gálico, no final concluíram que, com uma baixa concentração de material de parede, foi possível obter um maior teor de ácido gálico.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade física, química e tecnológica de surimi obtidos de aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*) com farinha de arroz e de encapsulado do extrato da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*), visando disponibilizar ingredientes potenciais para o processamento de produtos reestruturados.

3.2 Objetivos específicos

Determinar o rendimento e avaliar a qualidade física, química e tecnológica de surimi de aparas pirarucu, em função do número de ciclos de lavagem, teor e temperatura de cozimento da farinha de arroz, no intuito de valorizar subprodutos industriais e disponibilizar informações sobre um novo ingrediente adequado para o processamento de produtos reestruturados.

Objetivou-se também avaliar a melhor proporção de solvente (água):polpa de açaí e pH para extrair compostos fenólicos, assim como avaliar a eficiência de encapsulação, características químicas, atividade antioxidante, cor e morfologia das microcápsulas obtidas por meio de liofilização em função da proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina:extrato de açaí) e tempo de extração com ultrassom com água acidificada (pH 2,0), visando selecionar microcápsulas com elevado teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante, com potencial para utilização em produtos reestruturados.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, Londres, v. 152, p. 46–55, 2014.
- AMAGLIANI, L.; O'REGAN, J.; KELLY, A. L.; O'MAHONY, J. A. Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. **Journal of Cereal Science**, Londres, v. 70, p. 291–300, 2016.
- ASMEDA, R.; NOORLAILA, A.; NORZIAH, M. H. Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled MR263 rice flour. **Food Chemistry**, Londres, v. 191, p. 45–51, 2016.
- BALDIN, J. C.; MICHELIN, E. C.; POLIZER, Y. J.; RODRIGUES, I.; DE GODOY, S. H. S.; FREGONESI, R. P.; PIRES, M. A.; CARVALHO, L. T.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; DE LIMA, C. G.; FERNANDES, A. M.; TRINDADE, M. A. Microencapsulated jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity. **Meat Science**, Savoy, v. 118, p. 15–21, 2016.
- BALLESTEROS, L. F.; RAMIREZ, M. J.; ORREGO, C. E.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, Londres, v. 237, p. 623–631, 2017.
- BALYAN, U.; SARKAR, B. Aqueous extraction kinetics of phenolic compounds from jamun (*Syzygium cumini* L.) seeds. **International Journal of Food Properties**, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 372–389, 2017.
- BARBOSA, L. D. N.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M. L. P. E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, p. 11–20, 2006.
- BASHIR, K. M. I.; KIM, J.; AN, J. H.; SOHN, J. H.; CHOI, J. Natural Food Additives and Preservatives for Fish-Paste Products: A Review of the Past, Present, and Future States of Research. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 2017, p. 1–31, 2017.
- BASSINELLO, P. Z.; FERREIRA, C. M. Farinha de arroz: Alternativa Alimentar e Econômica. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, 2017.
- BICUDO, M. O. P.; RIBANI, R. H.; BETA, T. Anthocyanins, Phenolic Acids and Antioxidant Properties of Juçara Fruits (*Euterpe edulis* M.) Along the On-tree Ripening Process. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 69, n. 2, p. 142–147, 2014.
- BIRLA, D. S.; MALIK, K.; SAINGER, M.; CHAUDHARY, D.; JAIWAL, R.; JAIWAL, P. K. Progress and challenges in improving the nutritional quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York, v. 57, n. 11, p. 2455–2481, 2017.
- BORDIGNON, C. L.; FRANCESCETTO, V.; NIENOW, A. A.; CALVETE, E.;

REGINATTO, F. H. Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 183–188, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Dispõe sobre Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20134722/do1-2017-03-30-decreto-n-9-013-de-29-de-marco-de-2017-20134698>. Acesso em : 01 dez. 2020.

BRITO, B. de N. DO C.; PENA, R. da S.; LOPES, A. S.; CHISTÉ, R. C. Anthocyanins of Jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-Dependent Color Changes. **Journal of Food Science**, Campinas, v. 82, n. 10, p. 2286–2290, 2017.

CAI, X.; DU, X.; CUI, D.; WANG, X.; YANG, Z.; ZHU, G. Improvement of stability of blueberry anthocyanins by carboxymethyl starch/xanthan gum combinations microencapsulation. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 91, p. 238–245, 2019.

CARVALHO, A. V.; DA SILVEIRA, T. F. F.; MATTIETTO, R. DE A.; DE OLIVEIRA, M. DO S. P.; GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 97, n. 5, p. 1467–1474, 2017.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. DE L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry**, Londres, v. 113, n. 4, p. 859–871, 2009.

CHHIKARA, N.; KAUR, R.; JAGLAN, S.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds and pharmacological and food applications of *Syzygium cumini* - a review. **Food & function**, [S.l.] v. 9, n. 12, p. 6096–6115, 2018.

CODEX ALIMENTARIUS. Code of practice for fish and fishery products, second edition. p. 242, 2012.

CONAB. Análise mensal - Açai (fruto) - Maio de 2019. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, p. 5, 2019.

CONAB. Análise mensal - Açai (fruto) - Dezembro de 2020. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, 2020a.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020**, Brasília, v. 5, p. 1–75, 2020b.

CORTEGANO, C. A. A.; DE GODOY, L. C.; PETENUCCI, M. E.; VISENTAINER, J. V.; AFFONSO, E. G.; GONÇALVES, L. U. Nutritional and lipid profiles of the dorsal and ventral muscles of wild pirarucu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 1, p. 271–276, 2017.

CORTEZ-VEGA, W. R.; FONSECA, G. G.; PRENTICE, C. Optimization of parameters for obtaining surimi-like material from mechanically separated chicken meat using response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 52, n. 2, p. 763–772, 2013.

COSTA, H. C. B.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 239, p. 104–113, 2018.

CURIMBABA, T. F. S.; ALMEIDA-JUNIOR, L. D.; CHAGAS, A. S.; QUAGLIO, A. E. V.; HERCULANO, A. M.; DI STASI, L. C. Prebiotic, antioxidant and anti-inflammatory properties of edible Amazon fruits. **Food Bioscience**, [S.l.], v. 36, p. 1-14, 2020.

DAGLIA, M. Polyphenols as antimicrobial agents. **Current Opinion in Biotechnology**, Londres, v. 23, p. 174-181, 2012.

DE OLIVEIRA, M. do S. P.; SCHWARTZ, G. Açai— Euterpe oleracea. In: **Exotic Fruits**. [s.l.] Elsevier, p. 1–5, 2018.

FALOWO, A. B.; FAYEMI, P. O.; MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid – protein oxidative deterioration in meat and meat products : A review. **Food Research International**, Essex, v. 64, p. 171–181, 2014.

FAN, M.; HU, T.; ZHAO, S.; XIONG, S.; XIE, J.; HUANG, Q. Gel characteristics and microstructure of fish myofibrillar protein/cassava starch composites. **Food Chemistry**, Londres, v. 218, p. 221–230, 2017.

FERREIRA, C. M.; PINHEIRO, B. DA S.; DE SOUSA, I. S. F.; DE MORAES, O. P. Qualidade do arroz no Brasil: evolução e padronização. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, p. 61, 2005.

FERREIRA, D. S.; GOMES, A. L.; DA SILVA, M. G.; ALVES, A. B.; AGNOL, W. H. D.; FERRARI, R. A.; CARVALHO, P. R. N.; PACHECO, M. T. B. Antioxidant Capacity and Chemical Characterization of Açai (Euterpe oleracea Mart.) Fruit Fractions. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 4, n. 5, p. 95–102, 2016.

FOGAÇA, F. H.; SANT'ANA, L. S.; LARA, J. A. F.; MAI, A. C. G.; CARNEIRO, D. J. Restructured products from tilapia industry byproducts: The effects of tapioca starch and washing cycles. **Food and Bioproducts Processing**, Londres, v. 94, p. 482–488, 2015.

FOGAÇA, F. H. DOS S.; DE OLIVEIRA, E. G.; CARVALHO, S. E. Q.; SANTOS, F. J. DE S. Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 95–99, 2011.

GÓMEZ, B.; BARBA, F. J.; DOMÍNGUEZ, R.; PUTNIK, P.; KOVACEVIC, D. B.; PATEIRO, M.; TOLDRÁ, F.; LORENZO, J. M. Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. **Trends in Food Science and Technology**, Cambrigde, v. 82, p. 135–147, 2018.

GUO, X.; SHI, L.; XIONG, S.; HU, Y.; YOU, J.; HUANG, Q.; YIN, T. Gelling properties of vacuum-freeze dried surimi powder as influenced by heating method and microbial transglutaminase. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 99, n. July 2018, p. 105–111, 2019.

HAMZAH, N.; SARBON, N. M.; AMIN, A. M. Physical properties of cobia (Rachycentron canadum) surimi : effect of washing cycle at different salt concentrations. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 52, p. 4773–4784, 2015.

HUNT, A.; GETTY, K. J.; PARK, J. W. Screening of special starches for use in temperature-tolerant fish protein gels. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 33, p. 100–118, 2010.

JAKOBEK, L. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. **Food Chemistry**, Londres, v. 175, p. 556–567, 2015.

JEYAKUMARI, A.; NINAN, G.; JOSHY, C. G.; PARVATHY, U.; ZYNUDEEN, A. A.; LALITHA, K. V. Effect of chitosan on shelf life of restructured fish products from pangasius (*pangasianodon hypophthalmus*) surimi during chilled storage. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 53, n. 4, p. 2099–2107, 2016.

JIA, R.; KATANO, T.; YOSHIMOTO, Y.; GAO, Y.; WATANABE, Y.; NAKAZAWA, N.; OSAKO, K.; OKAZAKI, E. Sweet potato starch with low pasting temperature to improve the gelling quality of surimi gels after freezing. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 81, p. 467–473, 2018.

JIANG, J.; XIONG, Y. L. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products : A review. **Meat Science**, Savoy, v. 120, p. 107–117, 2016.

JÚNIOR, A. V. A. Resultados e Desafios da Produção e Mercado do Pirarucu (*Arapaima gigas*). **Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), XII Simpósio Internacional de Aquicultura**, Natal, 2018. Disponível em: <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2018/11/17-Resultados-e-Desafios-da-Produ%C3%A7%C3%A3o-e-Mercado-do-Pirarucu-Arapaima-gigas-Americo-Vespucio.pdf>. Acesso em: 01 de dez. de 2020.

KADAN, R. S.; BRYANT, R. J.; PEPPERMAN, A. B. Functional properties of extruded rice flours. **Journal of Food Science**, Campinas, v. 68, n. 5, p. 1669–1672, 2003.

KANG, J.; THAKALI, K. M.; XIE, C.; KONDO, M.; TONG, Y.; OU, B.; JENSEN, G.; MEDINA, M. B.; SCHAUSS, A. G.; WU, X. Bioactivities of açai (*Euterpe precatoria* Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to *Euterpe oleracea* Mart. **Food Chemistry**, Londres, v. 133, n. 3, p. 671–677, 2012.

KUCK, L. S.; PELAYO, C.; NOREÑA, Z. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. **Food Chemistry**, Londres, v. 194, p. 569–576, 2016.

KUMAR, Y.; YADAV, D. N.; AHMAD, T.; NARSAIAH, K. Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, Chicago, v. 14, p. 792–812, 2015.

LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International**, Essex, v. 107, p. 227–247, 2019.

LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 405–411, 2015.

LEE, S.; HUN, J.; CHUNG, H. Impact of diverse cultivars on molecular and crystalline

structures of rice starch for food processing. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 169, p. 33–40, 2017.

LEOPOLDINI, M.; MARINO, T.; RUSSO, N.; TOSCANO, M. Antioxidant Properties of Phenolic Compounds : H-Atom versus Electron Transfer Mechanism. **The Journal of Physical Chemistry. A**, Washington, v. 108, n. 22, p. 4916–4922, 2004.

LEOPOLDINI, M.; RUSSO, N.; TOSCANO, M. The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. **Food Chemistry**, Londres, v. 125, n. 2, p. 288–306, 2011.

LESTARIO, L. N.; HOWARD, L. R.; BROWNMILLER, C.; STEBBINS, N. B.; LIYANAGE, R.; LAY, J. O. Changes in polyphenolics during maturation of Java plum (*Syzygium cumini* Lam.). **Food Research International**, Essex, v. 100, p. 385–391, 2017.

LEVI, M. A. B.; SCARMINIO, I. S.; POPPI, R. J.; TREVISAN, M. G. Three-way chemometric method study and UV-Vis absorbance for the study of simultaneous degradation of anthocyanins in flowers of the *Hibiscus rosa-sinensis* species. **Talanta**, Londres, v. 62, p. 299–305, 2004.

LI, H.; LEI, N.; YAN, S.; YANG, J.; YU, T.; WEN, Y.; WANG, J.; SUN, B. The importance of amylopectin molecular size in determining the viscoelasticity of rice starch gels. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 212, p. 112–118, 2019.

LI, T.; ZHAO, J.; HUANG, J.; ZHANG, W.; HUANG, J.; FAN, D.; ZHANG, H. Improvement of the Quality of Surimi Products with Overdrying Potato Starches. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 2017, p. 1–5, 2017.

LI, Y.; WU, L.; WENG, M.; TANG, B.; LAI, P.; CHEN, J. Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* Lindl.). **Powder Technology**, Lausanne, v. 340, p. 459–464, 2018.

LIMA, A. F.; RODRIGUES, A. P. O.; LIMA, L. K. F. de; MACIEL, P. O.; REZENDE, F. P.; FREITAS, L. E. L. de; DIAS, M. T.; BEZERRA, T. A. Alevinagem, recria e engorda do pirarucu. Embrapa Pesca e Aquicultura, Brasília, p. 1 - 152, 2017.

LIN, W.; HAN, Y.; LIU, F.; HUANG, H.; LI, L.; YANG, S.; YANG, X.; WU, Y. Effect of lipid on surimi gelation properties of the three major Chinese carp. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 100, n. 13, p. 4671–4677, 2020.

LIU, Q.; CHEN, Q.; KONG, B.; HAN, J.; HE, X. The influence of superchilling and cryoprotectants on protein oxidation and structural changes in the myofibrillar proteins of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 57, n. 2, p. 603–611, 2014.

LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; KOVACEVIC, D. B.; SHPIGELMAN, A.; GRANATO, D.; FRANCO, D. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. **Food Research International**, Essex, v. 106, p. 1095–1104, 2018.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation

optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin.

International Journal of Biological Macromolecules, Guildford, v. 85, p. 379–385, 2016.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, [S.l.], v. 32, p. 509–518, 2014.

MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. DA S. Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 37, n. 4, p. 651–656, 2017.

MATAK, K. E.; TAHERGORABI, R.; JACZYNSKI, J. A review: Protein isolates recovered by isoelectric solubilization/precipitation processing from muscle food by-products as a component of nutraceutical foods. **Food Research International**, Essex, v. 77, p. 697–703, 2015.

MAZORRA-MANZANO, M. A.; RAMÍREZ-SUÁREZ, J. C.; MORENO-HERNÁNDEZ, J. M.; PACHECO-AGUILAR, R. Seafood proteins. In: **Proteins in Food Processing: Second Edition**. Second Edi ed. [S.l.] Elsevier Ltd., p. 445–475, 2017.

MILANI, P.; CARNAHAN, E.; KAPOOR, S.; ELLISON, C.; MANUS, C.; SPOHRER, R.; VAN DER BERG, G.; WOLFSON, J.; KREIS, K. Social Marketing of a Fortified Staple Food at Scale : Generating Demand for Fortified Rice in Brazil. **Journal of Food Products Marketing**, Binghamton, v. 23, n. 8, p. 955–978, 2017.

MOHAJER, S.; TAHA, R. M.; RAMLI, R. B.; MOHAJER, M. Phytochemical constituents and radical scavenging properties of *Borago officinalis* and *Malva sylvestris*. **Industrial Crops & Products**, Amsterdam, v. 94, p. 673–681, 2016.

MOOSAVI-NASAB, M.; ASGARI, F.; OLIYAEI, N. Quality evaluation of surimi and fish nuggets from Queen fish (*Scomberoides commersonnianus*). **Food Science & Nutrition**, Dunedin, v. 7, p. 3206–3215, 2019.

MORENO, H. M.; HERRANZ, B.; PÉREZ-MATEOS, M.; SÁNCHEZ-ALONSO, I.; BORDERÍAS, J. A. Products New Alternatives in Seafood Restructured Products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York, v. 8398, p. 237–248, 2016.

MUA, J. P.; JACKSON, D. S. Relationships between Functional Attributes and Molecular Structures of Amylose and Amylopectin Fractions from Corn. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Londres, v. 45, n. 1987, p. 3848–3854, 1997.

MURTHY, L. N.; PHADKE, G. G.; SIDDIAH, V. K.; BORAIH, R. K.; VENKATARAMAPPA, C. M. Effect of frozen storage and cryoprotectants on functional properties of tilapia (*Oreochromis Mossambicus*) fish. **International Journal of Advanced Research**, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 1597–1606, 2017.

OLIVEIRA, A. R.; RIBEIRO, A. E. C.; OLIVEIRA, E. R.; MENDES, A. C. DA S.; JÚNIOR, M. S. S.; CALIARI, M. Broken rice grains pregelatinized flours incorporated with lyophilized açai pulp and the effect of extrusion on their physicochemical properties. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 56, n. 3, p. 1337–1348, 2019

OLIVEIRA, D. L. DE; GRASSI, T. L. M.; SANTO, E. F. DO E.; CAVAZZANA, J. F.;

MARCOS, M. T. DE S.; PONSANO, E. H. G. Washings and cryoprotectants for the production of Tilapia Surimi. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 37, n. 3, p. 432–436, 2017.

OZKAN, G.; FRANCO, P.; DE MARCO, I.; XIAO, J.; CAPANOGLU, E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, Londres, v. 272, p. 494–506, 2019.

PALA, D.; BARBOSA, P. O.; SILVA, C. T.; DE SOUZA, M. O.; FREITAS, F. R.; VOLP, A. C. P.; MARANHÃO, R. C.; DE FREITAS, R. N. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) dietary intake affects plasma lipids, apolipoproteins, cholesteryl ester transfer to high-density lipoprotein and redox metabolism: A prospective study in women. **Clinical Nutrition**, [S.l.], v. 37, n. 2, p. 618–623, 2018.

PEANPARKDEE, M.; IWAMOTO, S. Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 86, p. 109–117, 2019.

POOWAKANJANA, S.; PARK, J. D.; PARK, J. W. Elucidating Comminution Steps to Enhance the Value of Surimi from Tropical Fish. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, Londres, v. 24, n. 7, p. 698–711, 2015.

PRIYADARSHINI, M. B.; XAVIER, K. A. M.; DHANABALAN, V.; NAYAK, B. B.; BALANGE, A. K. Development of ready-to-cook shrimp analogue from surimi: Effect of natural plant extracts on the chemical quality during refrigerated storage. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 135, p. 1-9, 2021.

RAMAKRISHNAN, Y.; ADZAHAN, N. M.; YUSOF, Y. A.; MUHAMMAD, K. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**, Lausanne, v. 328, p. 406–414, 2018.

RAMÍREZ, M. J.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. **Powder Technology**, Lausanne, v. 277, p. 89–96, 2015.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, Londres, v. 254, p. 281–291, 2018.

RIBEIRO, A. M.; ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Microencapsulation of polyphenols - the specific case of the microencapsulation of Sambucus Nigra L. extracts - A review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 105, p. 454-467, 2019.

ROBARDS, K.; PRENZLER, P. D.; TUCKER, G.; SWATSITANG, P.; GLOVER, W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, Londres, v. 66, 1999.

ROCHA, J. D. C. G.; DE BARROS, F. A. R.; PERRONE, I. T.; VIANA, K. W. C.; TAVARES, G. M.; STEPHANI, R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, Lausanne, v. 343, p.

317–325, 2019.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. **Food Chemistry**, Londres, v. 171, p. 144–152, 2015.

SANTANA, P.; HUDA, N.; YANG, T. A. Physicochemical properties and sensory characteristics of sausage formulated with surimi powder. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 52, p. 1507-1515, 2015.

SANTOS, S. S.; RODRIGUES, L. M.; COSTA, S. C.; MADRONA, G. S. Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. **Food Packaging and Shelf Life**, Amsterdam, v. 20, 2019.

SAVI, G. D.; PIACENTINI, K. C.; ROCHA, L. O.; CARNIELLI-QUEIROZ, L.; FURTADO, B. G.; SCUSSEL, R.; ZANONI, E. T.; MACHADO-DE-ÁVILA, R. A.; CORRÊA, B.; ANGIOLETTI, E. Incidence of toxigenic fungi and zearalenone in rice grains from Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 270, p. 5–13, 2018.

SHARMA, S.; GUPTA, S.; KUMAR, M.; MAURYA, P. K.; KUMAR, R.; MAJUMDAR, R. K. Potential of carrot concentrated protein as a natural cryoprotectant in fish surimi during frozen storage. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 917–923, 2018.

SIMITZIS, P. E.; DELIGEORGIS, S. G. **Agroindustrial By-Products and Animal Products: A Great Alternative for Improving Food-Quality Characteristics and Preserving Human Health**. [s.l.] Elsevier Inc., v. 13, 2018.

SINGH, B.; SINGH, J. P. Review Insights into the phenolic compounds present in jambolan (*Syzygium cumini*) along with their health-promoting effects. **International Journal of Food Science and Technology**, Christchurch, v. 53, p. 2431–2447, 2018.

SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N.; NIM, L.; SHEVKANI, K.; KAUR, H.; ARORA, D. S. In vitro antioxidant and antimicrobial properties of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit polyphenols. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 65, p. 1025–1030, 2016.

SOUZA, A. C. P.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F. Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace. **Food and Bioprocess Technology**, Londres, v. 102, p. 186–194, 2016.

SOUZA, A. R. B. DE. Piscicultura de pirarucu. In: **Coleção Criar**. Brasília, DF: Embrapa, p. 169, 2017.

TAYEL, A. A.; ALMABADY, N. A.; SOROUR, N. M.; DIAB, A. M. Application of natural plant extracts as colorants, preservatives, and anti-listerial agents in processed fish products. **Journal of Food Safety**, Londres, v.38, p. 1-7, 2018.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch — composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, Londres, v. 39, p. 151–165, 2004.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the

physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 88, n. 3, p. 411–418, 2008.

VALLADÃO, G. M. R.; GALLANI, S. U.; PILARSKI, F. South American fish for continental aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, [S.l.], p. 351–369, 2018.

VIDAL-GIRAUD, B.; CHATEAU, D. World Surimi Market. **FAO. Globefish research programme**, v. 89, p. 125, 2007.

VILLAMIL, O.; VÁQUIRO, H.; SOLANILLA, J. F. Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. **Food Chemistry**, Londres, v. 224, p. 160–171, 2017.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. DE. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184–1192, 2008.

XIONG, J.; MATTA, F. V.; GRACE, M.; LILA, M. A.; WARD, N. I.; FELIPE-SOTELO, M.; ESPOSITO, D. Phenolic content, anti-inflammatory properties, and dermal wound repair properties of industrially processed and non-processed acai from the Brazilian Amazon. **Food and Function**, [S.l.], v. 11, n. 6, p. 4903–4914, 2020.

YAMAGUCHI, K. K. DE L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; DA VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, Londres, v. 179, p. 137–151, 2015.

YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; DOS SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 84, p. 256–262, 2017.

ZHANG, T.; XU, X.; JI, L.; LI, Z.; WANG, Y.; XUE, Y.; XUE, C. Phase behaviors involved in surimi gel system: Effects of phase separation on gelation of myofibrillar protein and kappa-carrageenan. **Food Research International**, Essex, v. 100, p. 361–368, 2017.

ZHENG, M.; LIU, X.; CHUAI, P.; JIANG, Z.; ZHU, Y.; ZHANG, B.; NI, H.; LI, Q. Effects of crude fucoidan on physicochemical properties, antioxidation and bacteriostasis of surimi products. **Food Control**, Kidlington, v. 122, p.1-9, 2021.

ZHOU, Y.; YANG, H. Effects of calcium ion on gel properties and gelation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein isolates processed with pH shift method. **Food Chemistry**, Londres, v. 277, p. 327–335, 2019.

ZHU, L. J.; LIU, Q.; WILSON, J. D.; GU, M.; SHI, Y. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 86, n. 4, p. 1751–1759, 2011.

CAPÍTULO 2

RENDIMENTO E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE SURIMI DE APARAS DE PIRARUCU EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE CICLOS DE LAVAGEM, TEOR E TEMPERATURA DE COZIMENTO DA FARINHA DE ARROZ

RESUMO

A produção de surimi pode ser uma forma de aproveitar os resíduos originados da filetagem do pirarucu e do beneficiamento do arroz. O objetivo desta pesquisa foi determinar o rendimento e avaliar a qualidade de surimi de aparas pirarucu, em função do número de ciclos de lavagem, concentração e temperatura de cozimento da farinha de arroz (FA), no intuito de valorizar subprodutos industriais e disponibilizar um ingrediente adequado para o processamento de produtos reestruturados. O número de ciclos de lavagem afetou o rendimento (de 77 a 93%), umidade (55-67%), lipídeos (18-35%), proteína (7,15-11,88%), brancura (46,73-64,45), cor (8,86-13,18), ângulo hue (80,79-93,12°), coesividade (0,40-0,61), elasticidade (0,51-0,99 mm) e estabilidade ao congelamento com 4 semanas (85,16-96,53%); a concentração de FA afetou a umidade, lipídeos, coesividade, elasticidade e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas; e a temperatura de cozimento da FA a umidade, brancura, cor, coesividade, elasticidade. Os modelos para coesividade e estabilidade foram preditivos para umidade, proteína, brancura, cor, ângulo hue, coesividade e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas de armazenamento. É possível obter um aumento da umidade com o aumento do número de ciclos de lavagem e adição de amido. Com três ciclos de lavagem é possível remover as proteínas solúveis em água de forma eficiente, produzindo um surimi com tendência a uma cor amarelo pálida em função do baixo teor de lipídeos. O surimi de maior desejabilidade foi aquele processado com 3 ciclos de lavagem, 6% de FA e 85°C de temperatura de cozimento da FA. Apesar das lavagens, o pirarucu é um peixe que possui alto rendimento para elaboração de surimi. O aproveitamento das aparas de pirarucu e de grão quebrados de arroz é viável para produção de um surimi de pirarucu com alto rendimento e alta qualidade física, química e tecnológica, com potencial de ser utilizado como ingrediente de produtos reestruturados, além de contribuir com a melhora na sustentabilidade das agroindústrias, devido ao aproveitamento dos subprodutos estudados.

Palavras-chave: *Arapaima gigas*, *Oryza sativa* L., aproveitamento de subprodutos; pasta de pescado; valor nutricional, propriedades funcionais.

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem sido destaque na produção dos peixes continentais e, dentre as espécies com maior expressão, destaca-se o pirarucu (*Arapaima gigas*), espécie nativa com grande potencial para desenvolvimento da aquicultura brasileira. Esta espécie é promissora por fatores como aceitação no mercado interno e externo, crescimento de até 12 Kg ao ano e alto rendimento de filé (50 a 65%) (JÚNIOR, 2018). O pirarucu pode atingir 3 m de comprimento e até 200 kg de peso, o que lhe rende o título de “Gigante da Amazônia”.

O país produziu em 2019, 1,9 mil toneladas de pirarucu em cativeiro (dados preliminares). O maior produtor da Região Norte é Rondônia, com quase mil toneladas; seguido do Pará, com 272 toneladas e do Tocantins, com 205 toneladas.. Esta produção tem sido responsável pelo abastecimento do mercado, uma vez que a pesca está em declínio (IBGE, 2019).

O pirarucu normalmente é consumido na forma de filés ou salgado seco, e a expressiva aceitação de sua carne está relacionada a coloração rosa atrativa, sabor suave e agradável, e inexistência de espinho, sendo, portanto um dos peixes nativos mais bem avaliados para o consumo (VALLADÃO; GALLANI; PILARSKI, 2018).

Durante a obtenção dos filés de pirarucu, 30 a 50% do peixe é aproveitado, e o restante dá origem a diversos subprodutos, como carcaça, vísceras, pele e aparas (MAZORRA-MANZANO et al., 2017). A elaboração de surimi de aparas de pirarucu poderia ser um meio de aproveitamento dos subprodutos gerados na industrialização desta espécie. De acordo com os padrões de identidade e qualidade de pescado e seus derivados, o surimi é definido como um produto proveniente da carne mecanicamente separada de peixe que é submetida a diversos ciclos de lavagem, drenagem e refino, e por fim a adição de aditivos (BRASIL, 2017).

Embora as proteínas miofibrilares de peixes de água doce apresentem baixas propriedades de geleificação (PRIYADARSHINI et al., 2018), alguns estudos têm utilizado essas espécies na obtenção de surimi, como a carpa prateada (LI et al., 2017; GUO et al., 2019; ZHOU et al., 2019) e carpa chinesa (LIN et al., 2020). No entanto, não existem registros da utilização de pirarucu, ou de seus subprodutos na obtenção de surimi.

O número de ciclos de lavagem e a adição de amido são alguns dos fatores que influenciam diretamente na qualidade e propriedades físicas do surimi. A lavagem atua na qualidade tecnológica e sensorial do produto final, sendo uma etapa indispensável na

elaboração, devido a remoção de proteínas sarcoplasmáticas, concentração das proteínas miofibrilares e, conseqüentemente, remoção de gordura (FOGAÇA et al., 2015).

O amido contribui para elasticidade dos géis devido a interação proteína-polissacarídeo, neutralizando assim a redução da elasticidade provocada pela diminuição da quantidade de proteína miofibrilar das emulsões cárneas. Atua também preenchendo os espaços vazios, revestindo a superfície da rede de proteínas ou ficando aprisionado no interior da mesma (FAN et al., 2017). O grânulo de amido interfere diretamente na matriz de gel de surimi, pois com o aquecimento, os grânulos se tornam maiores devido à absorção de água, ocasionando o crescimento do conjunto surimi-amido (JIA et al., 2018).

Os amidos mais utilizados em surimi são do trigo e da batata (LI et al., 2017; JIA et al., 2020), da batata doce (JIA et al., 2018), e da mandioca (FOGAÇA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017). Entretanto outras fontes de amido são promissoras, como a FA. Este cereal é o mais consumido mundialmente por cerca de 75% dos habitantes, em 2018 foram colhidas cerca de 740 milhões de toneladas (PEANPARKDEE; IWAMOTO, 2019), enquanto a produção da safra 2019/20 no Brasil foi de 10.961,8 mil de toneladas (CONAB, 2020b).

Durante o beneficiamento do arroz são gerados subprodutos como os grãos quebrados (PEANPARKDEE; IWAMOTO, 2019), que é uma matéria-prima que pode ser utilizada para o desenvolvimento da FA (BASSINELLO; FERREIRA, 2017). A FA possui sabor suave, coloração branca, hipoalergenicidade, fácil digestão e é um ingrediente atraente para desenvolvimento de novos alimentos (KADAN; BRYANT; PEPPERMAN, 2003). Os grãos quebrados de arroz em geral são destinados à alimentação animal, porém poderiam ser mais explorados como alimento humano.

O objetivo desta pesquisa foi determinar o rendimento e avaliar a qualidade física, química e tecnológica de surimi de aparas pirarucu, em função do número de ciclos de lavagem, teor e temperatura de cozimento da FA, no intuito de valorizar subprodutos industriais e disponibilizar informações sobre um novo ingrediente adequado para o processamento de produtos reestruturados.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Obtenção da matéria-prima, ingredientes e reagentes

As aparas de pirarucu (Figura 4A) foram doadas pela empresa Peixe Bom Pescados, localizada na cidade de Goianésia, Goiás, Brasil. Estas foram imediatamente transportadas até a planta de processamento em caixa isotérmica com gelo artificial sob temperatura de $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, moídas com disco de 5 mm em moedor de carne elétrico (Omega, TA 32x, Cardano Al Campo, Itália) (Figura 4B), acondicionadas em sacos de polietileno, e armazenadas em freezer a -18°C , até a realização das análises e processamento dos surimis.

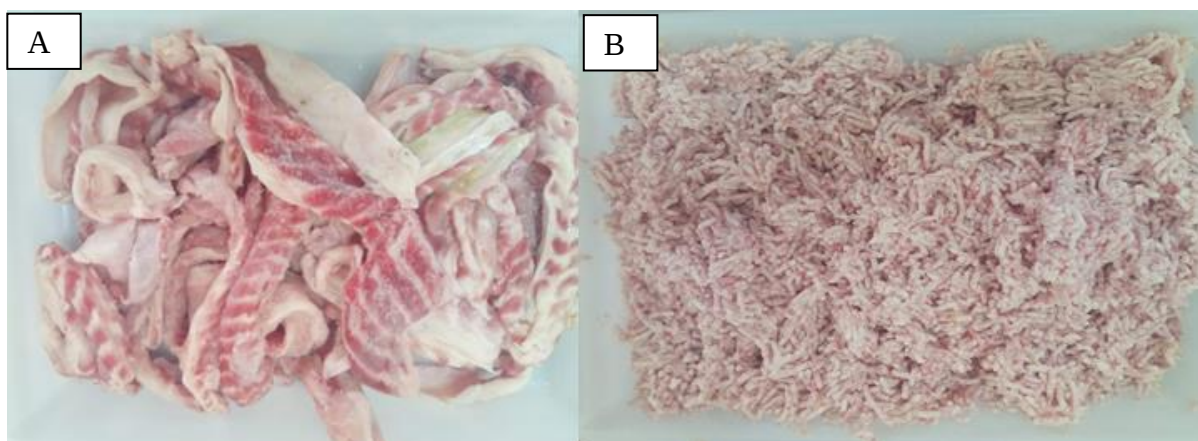


Figura 4 - (A) Aparas de Pirarucu (*Arapaima gigas*); (B) Amostras da carne de pirarucu após desintegração

Os grãos quebrados de arroz foram gentilmente cedidos pela indústria de beneficiamento de arroz Cristal Alimentos, situada no município de Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. Os grãos quebrados foram moídos em moinho de rotor tipo ciclone (Tecnal, TE-651/2, Piracicaba, Brasil). Após a moagem, a farinha foi peneirada em tamis de 80 mesh, acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas em freezer a -18°C , até a realização das análises e utilização nos produtos experimentais. Os crioprotetores utilizados foram açúcar cristal (Cristal Alimentos®), sal refinado, mistura de estabilizante e emulsificante para produtos cárneos cozidos composto por tripolifosfato de sódio (INS 451i) e polifosfato de potássio (INS 452ii) (Kerry®, Três Corações, Minas Gerais). Todos os reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram da marca Synth® e Neon®, e apresentaram pureza para análise (P.A.).

2.2.2 Propriedades térmicas e de pasta da FA

As propriedades térmicas foram determinadas com calorímetro diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), conforme a metodologia descrita por Jia et al. (2020). A amostra foi pesada (ao redor de 2,2 mg em base seca) em porta-amostra de alumínio, e em seguida adicionou-se 6 μL de água destilada. O porta-amostra foi selado em prensa específica e mantido por 24 h a temperatura de 25 °C, para uniformizar a distribuição da água. A amostra foi aquecida de 20 °C a 120 °C a uma taxa de 10 °C min^{-1} e utilizou-se um porta-amostra vazio como referência. As temperaturas de gelatinização (inicial, de pico e final) e a variação da entalpia (ΔH) durante o aquecimento foram determinadas com auxílio do aplicativo TA Universal Analysis.

As propriedades de pasta da foram determinadas com o Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 450, Huddinge, Suécia), de acordo com a metodologia 162 “Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyse” da International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 1996). Utilizou-se uma suspensão de 3,5 g de amostra em 25 mL de água destilada. O processo ocorreu a uma temperatura mínima de 50 °C e máxima de 95 °C a uma taxa de 10 °C min^{-1} . Os parâmetros avaliados foram: temperatura de pasta (TP), pico de viscosidade (PV), viscosidade final (VF), viscosidade de quebra (QV) e tendência à retrogradação (TR). Os dados foram expressos em Rapid Visco Units (RVU) obtidos por meio do software computacional TCW3, ThermoCline for Windows v3.

2.2.3 Ensaios preliminares

Ensaios preliminares de preparação do surimi de aparas de pirarucu foram realizados a fim de verificar como seria a interação amido-proteína durante o aquecimento para promover a etapa de geleificação. As aparas de pirarucu trituradas passaram por 3 ciclos de lavagem utilizando proporção 1:3 (aparas:água) durante 20 min, sendo 10 min de agitação e 10 min em repouso, seguido da adição de 8% de farinha de grão quebrado arroz, com a homogeneização realizada em uma batedeira doméstica. Em seguida, a carne lavada e adicionada de amido e crioprotetores foi aquecida a 95°C por 30 min para induzir geleificação. Nestas condições, verificou-se que a consistência formada não seria adequada para chegar ao produto final, como mostra a Figura 5.



Figura 5 – Surimi de pirarucu (*Arapaima gigas*) com 3 ciclos de lavagem, 8% de farinha de arroz, e aquecimento de 95°C por 30 min para geleificação

Para diminuir a separação da gordura em um segundo teste, a homogeneização das aparas de pirarucu lavadas, FA e crioprotetores foi realizada utilizando um cutter. Neste ensaio, verificou-se uma melhor homogeneização, porém ainda não foi possível obter consistência adequada para obtenção do produto final, como mostra Figura 6. Diante dos resultados obtidos, e para obter as características adequadas, optou-se por realizar a gelatinização prévia do amido, com uma concentração de 35% (m/v), seguida da sua adição às aparas de pirarucu lavadas.

2.2.4 Delineamento Box-Behnken para otimização da qualidade do surimi

Delineamento experimental do tipo Box-Behnken (BOX; BEHNKEN, 1960) foi utilizado para avaliar o efeito das variáveis número de ciclos de lavagem (X_1), concentração de FA (X_2) e temperatura de cozimento da FA (X_3), sobre nas propriedades físico-químicas e tecnológicas do surimi de aparas de pirarucu. Cada variável independente foi estudada em três níveis (+1, 0 e -1), totalizando 15 experimentos (Tabela 1).

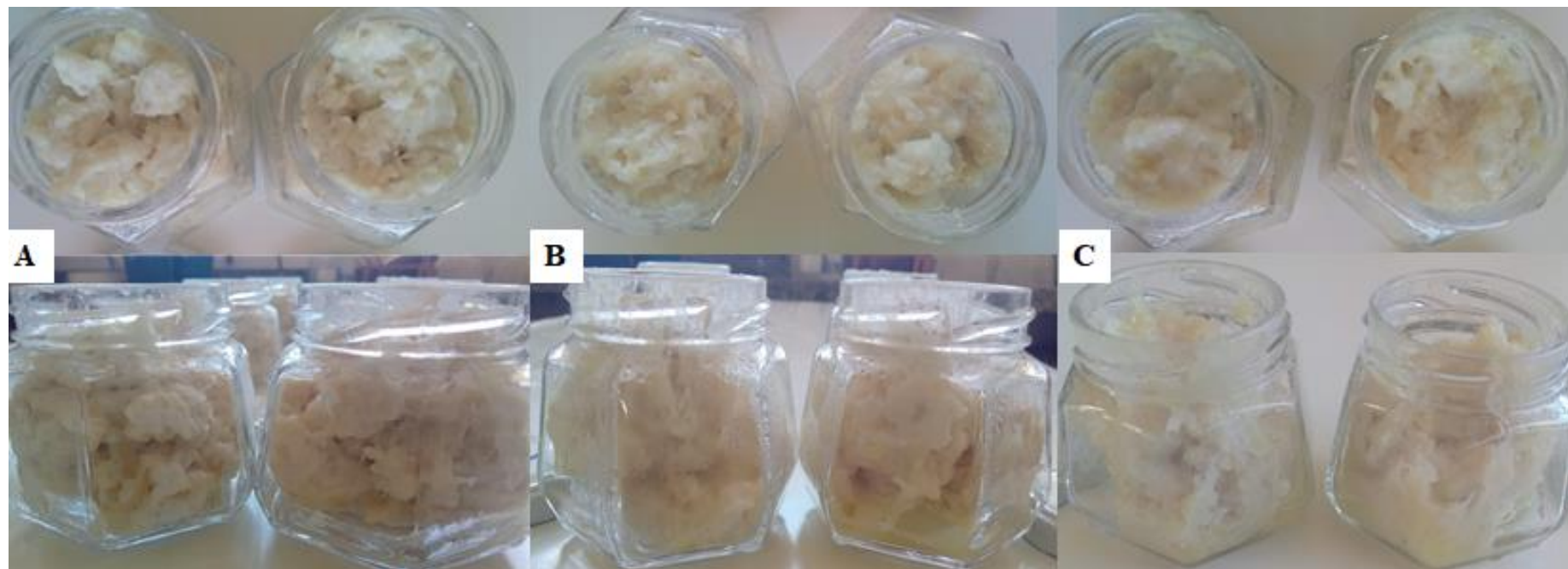


Figura 6 – Geleificação do surimi a 95°C com diferentes proporções de adição de farinha de arroz (FA) (A) 2% FA; (B) 5% FA; (C) 8% FA

Tabela 1 - Delineamento experimental utilizado para obtenção do surimi proveniente das aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*), variáveis codificadas e seus valores reais (X₁: ciclo de lavagem, X₂: farinha de arroz (%), e X₃: temperatura de gelatinização da farinha (°C))

Experimento	Variáveis codificadas			Variáveis reais		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0	1	2	70
2	-1	1	0	1	8	70
3	1	-1	0	5	2	70
4	1	1	0	5	8	70
5	0	0	0	3	5	70
6	-1	0	-1	1	5	55
7	-1	0	1	1	5	95
8	1	0	-1	5	5	55
9	1	0	1	5	5	95
10	0	0	0	3	5	70
11	0	-1	-1	3	2	55
12	0	-1	1	3	2	95
13	0	1	-1	3	8	55
14	0	1	1	3	8	95
15	0	0	0	3	5	70

A escolha dos níveis ocorreu com base em pesquisas anteriormente realizadas, ciclos de lavagem (FOGAÇA et al., 2015), concentração de FA (LI et al., 2017) e temperatura de cozimento (OLIVEIRA et al., 2019) da FA. As aparas de pirarucu foram descongeladas a 4 °C por 24 h. Após descongelamento, foram submetidas à lavagem na proporção 1:3 (aparas:água). O número de ciclos de lavagem variou conforme o delineamento experimental. Para a lavagem foi utilizada água corrente e gelada (aproximadamente 4 °C). Adicionou-se 0,2% de cloreto de sódio, a cada ciclo de lavagem. As amostras foram agitadas na água durante 10 min e deixadas em repouso por mais 10 min, para que ocorresse a separação da gordura, ficando esta sobrenadante. O excesso de gordura foi retirado com auxílio de uma escumadeira e, para remover o excesso de água, utilizou-se um tecido conhecido popularmente como “tecido volta ao mundo”, específico para prensar queijos (Figura 7).

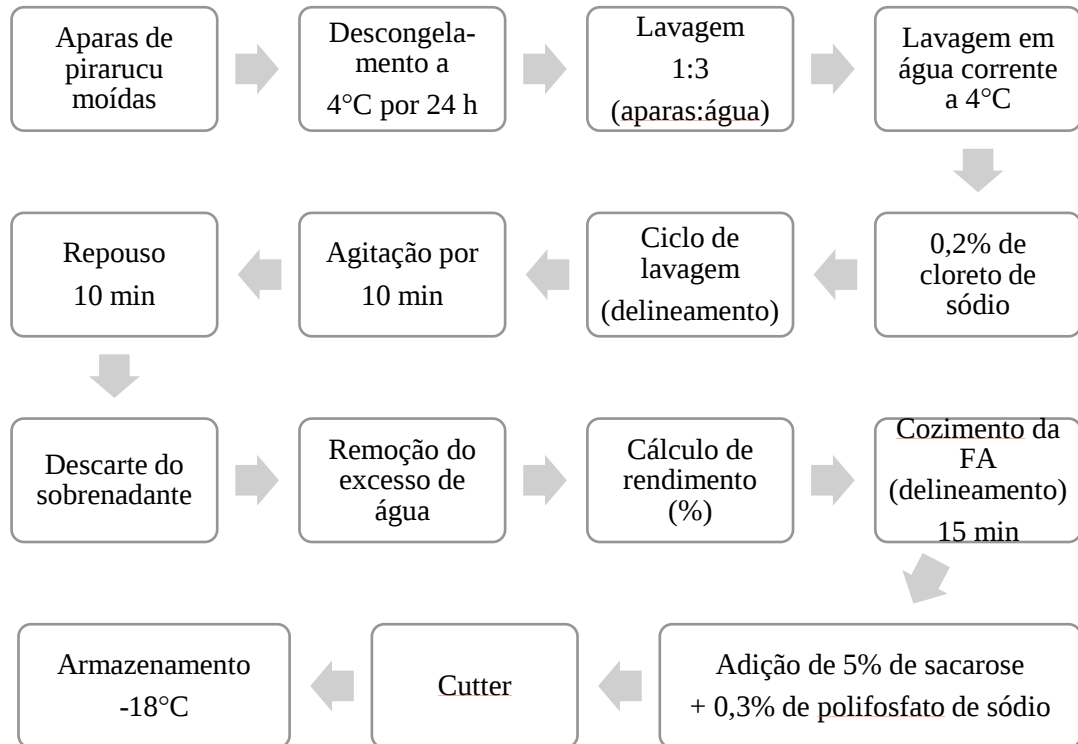


Figura 7 - Fluxograma do processamento do surimi proveniente das aparas de pirarucu e farinha de arroz (FA)

O rendimento referente ao ciclo de lavagem foi realizado através do peso inicial das aparas do pirarucu e peso após a lavagem, utilizando a Equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

O cozimento da FA, utilizando 35% (m/v), foi induzida conforme o delineamento, utilizando um banho maria digital (Tecnal, TE-056-MAG, Piracicaba, Brasil), aquecendo por 15 min. Após aquecimento, as amostras foram resfriadas por 5 min para cessar a cocção, adicionadas de crioprotetores (5% de sacarose e 0,3% de polifosfato de sódio), e homogeneizados em cutter (Robot Coupe, R 602 V.V., Borgonha, França) por 2 min. Em seguida, as amostras foram embaladas em sacos plásticos, submetidas ao congelamento a uma temperatura de -18 °C, obtendo-se o “surimi” congelado. Para cada ensaio foram obtidas como respostas, rendimento, atividade de água, umidade, proteínas, lipídeos, análise colorimétrica, perfil textural e estabilidade ao congelamento e descongelamento.

2.2.5 Análise de cor instrumental do surimi

A cor das amostras foi medida com colorímetro (Konica Minolta, BC-10, Osaka, Japão), com a escala CIE Lab (L^* , a^* e b^*). A medida da cor foi expressa em termos de luminosidade L^* [0 (preto) para 100 (branco)] e os parâmetros de cromaticidade a^* [verde (-) para vermelho (+)] e b^* [azul (-) para amarelo (+)]. A partir dos resultados de L^* , a^* e b^* foram calculados os parâmetros croma (C^*) ou intensidade de cor, ângulo Hue (H°) ou tonalidade (0° - cor vermelho, 90° - cor amarelo, 180° - cor verde e 270° - cor azul), e a brancura, por meio das Equação 2, 3 e 4, respectivamente (PARK, 1994).

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Ângulo Hue} (^\circ) = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Brancura} = L^* - 3b^* \quad (\text{Equação 4})$$

2.2.6 Análises físico-químicas

A atividade de água foi determinada utilizando o AquaLab digital (AquaLab, Series 3TE, São José dos Campos, São Paulo). Para as aparas de pirarucu e FA foi realizada a composição proximal, enquanto para o surimi apenas umidade, proteínas e lipídeos. A umidade foi determinada em estufa com circulação de ar a 105°C até peso constante; o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, e o teor de proteína bruta foi determinado com a sua multiplicação pelo fator 6,25; a extração de lipídeos pelo aparelho Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo P.A.; o teor de cinzas por método gravimétrico após incineração em forno mufla a 550°C . Todas as análises foram realizadas conforme metodologia da AOAC (2012), em triplicata.

2.2.7 Perfil textural

A amostra foi compactada em um cilindro com 50 mm de diâmetro e altura de 25 mm. O perfil textural (dureza, gomosidade, adesividade, elasticidade, coesividade) do surimi foi determinado com analisador de textura (Stable Micro Systems, TA.HD.plus, Godalming,

UK), equipado com probe cilíndrica de 20 mm de diâmetro, software *Exponent Lite.*, e velocidade de pré-teste, teste e pós-teste ajustada em 2, 1 e 5 mm s⁻¹. O tipo de trigger foi definido como automático com força de disparo de 50 m N. A taxa de aquisição de dados de 200 pps (PRIYADARSHINI et al., 2017), e cinco leituras por experimento.

2.2.8 Estabilidade ao congelamento e descongelamento

A pasta de surimi foi compactada até 25 mm utilizando um cilindro com diâmetro de 50 mm e estes foram armazenados em sacos plásticos. As amostras foram congeladas em freezer convencional. Em um período de 1 e 4 semanas, essas amostras foram descongeladas a 4 °C “overnight”. O cálculo do gotejamento foi realizado de acordo com a proporção do peso do gotejamento após armazenamento congelado em relação ao peso total da amostra (JIA et al., 2020) (Equação 5).

$$\text{Gotejamento do descongelamento(\%)} = \frac{\text{Peso do gotejamento (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

2.2.9 Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados por variância e regressão múltipla e visualizados por gráficos de superfície de resposta. O ajuste das equações dos modelos obtidos foi expresso pelo coeficiente de determinação R², e a significância estatística foi determinada pelo teste F. Os modelos foram validados por meio de um novo experimento, na qual o tratamento selecionado foi produzido, em três repetições, e as análises de cada resposta foi obtida em triplicata, visando calcular o erro percentual entre os valores estimados pelos modelos ajustados e os valores reais obtidos nas determinações analíticas. Os dados foram analisados com o auxílio do software Statistica[®] 7.0 (Statsoft[®], versão 7.0, Tulsa, EUA).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Composição proximal, propriedades térmicas e de pasta da FA

As propriedades químicas e físicas das farinhas de grão de arroz são importantes, pois interferem nas propriedades de viscosidade, temperatura de gelatinização do amido e absorção de água (LUH; LIU, 1991). A farinha apresentou um teor de umidade de 9,06% (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição proximal (%) da farinha de grão quebrado de arroz, em base seca (média $\pm$ desvio-padrão)

Componente ¹	Teor ¹
Umidade	9,06 $\pm$ 0,11
Lipídeos	1,28 $\pm$ 0,04
Proteína	9,26 $\pm$ 0,15
Cinzas	0,96 $\pm$ 0,04
Carboidratos	88,49 $\pm$ 0,22
¹ (%)	

Na legislação brasileira não há um padrão de identidade e qualidade para FA, apenas para farinha de trigo, porém de acordo com a instrução normativa, o teor de umidade deve ser no máximo de 15% (BRASIL, 2005). Além de a umidade ser um fator importante para o armazenamento da farinha, pois com esse teor é possível o armazenamento em temperatura ambiente sem causar danos ao produto (FITRIANI; PERMANA; SETIABOMA, 2019), também influencia na capacidade de viscosidade da farinha, pois quanto maior a umidade menor será a viscosidade (DAUTANT et al., 2007).

Pereira, Zhou e Zang (2016) reportaram um teor de lipídeos de 1,57% para FA, semelhante ao encontrado neste estudo (1,28%). De acordo com Lin e colaboradores (2011), o arroz contém em torno de 1-3% de lipídeos. O teor de lipídeos influencia também na viscosidade, por meio de duas interações simultâneas. A primeira é a formação do complexo amilose-lipídeo, que é responsável pelo aumento da viscosidade. Entretanto, devido ao seu efeito lubrificante, a presença de lipídeos (ou o aumento do teor de lipídeos) pode levar a uma diminuição da viscosidade (DAUTANT et al., 2007).

As moléculas de proteína interferem diretamente nas propriedades de pasta da farinha, pois juntamente com o amido elas formam uma rede de ligação, responsável pela maior

capacidade de retenção de água (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016). O teor de proteína determinado na FA foi de 9,26% (Tabela 2). De acordo com Lin e colaboradores (2011), o arroz contém em torno de 8% de proteínas; Fitriani, Permana e Setiaboma (2019) encontraram teor de 8,48%; Ascheri et al. (2016) encontraram 9,89% de proteína. Tal variação pode ser explicada devido o teor de proteína ser afetado pelas características genotípicas, adubação nitrogenada, radiação solar e temperatura (BASSINELLO; FERREIRA, 2017).

Pereira, Zhou e Zhang (2016) e Tumuluru et al. (2013) determinaram teor de cinzas de 1,02% e 0,93%, respectivamente, valores próximos aos obtidos no presente estudo (0,96%) (Tabela 2). Tumuluru et al. (2013) encontraram para FA um teor de 78,69% de carboidratos, enquanto Fitriani, Permana e Setiaboma (2019) obtiveram 80,953%, enquanto nas condições do presente estudo, foi verificado valor superior (88,49%). Os carboidratos são os componentes majoritários do arroz (cerca de 90%), e correspondem ao amido, açúcares livres e fibras (BASSINELLO; FERREIRA, 2017; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

Amidos e farinhas de cereais normalmente são adicionados em produtos cárneos a fim de melhorar a textura dos produtos (PEREIRA; ZHOU; ZHANG, 2016). O tamanho da partícula durante o cozimento da FA pode atuar como barreira física para transferência de calor, pois quanto maiores às partículas de farinha, maior a barreira física (HASJIM; LI; DHITAL, 2013). Setyawati e colaboradores (2016), obtiveram para a FA, uma temperatura inicial (61,42 °C), temperatura de pico (70,17 °C), temperatura final (75,74 °C) e entalpia (8,327 J g⁻¹). As partículas da farinha avaliada por estes autores, no entanto, possuíam granulometria de 25 *mesh*, tamanho maior ao utilizado neste trabalho (80 *mesh*), o que pode justificar os maiores valores para as propriedades térmicas encontradas por esses autores em relação ao determinado no presente estudo (Tabela 3).

A entalpia de gelatinização é dada pela transição de fase do grânulo de amido durante o aquecimento com o excesso de água, que passa de um estado cristalino para um amorfo. A porção de amilopectina é responsável por formar a região cristalina, logo, quanto maior a quantidade de amilopectina, maior será a energia gasta para desordenar (SETYAWATI et al., 2016). A entalpia também tem relação com a moagem da farinha, pois quanto menor o tamanho das partículas, menor será a entalpia; assim como a temperatura de gelatinização (LI; DHITAL; HASJIM, 2014). Quando se compara o tamanho das partículas deste estudo (80 *mesh*) com a da farinha de grão quebrado de arroz utilizado por Setyawati e colaboradores (2016) (com maiores partículas de 25 *mesh*) se confirma esta teoria, pois eles atingiram maior entalpia (8,327 J g⁻¹) e temperaturas de gelatinização inicial (61,43 °C), de pico (70,17 °C) e final (75,74 °C) que neste estudo (Tabela 3).

Tabela 3 - Propriedades térmicas e de pasta da farinha de arroz (FA)

Propriedade	Valor
Temperatura inicial de gelatinização ¹	60,12 ± 0,53
Temperatura de pico de gelatinização ¹	63,88 ± 0,00
Temperatura final de gelatinização ¹	69,71 ± 0,04
Entalpia de gelatinização (ΔH) ²	5,72 ± 0,06
Temperatura de pasta ²	65,20 ± 0,07
Viscosidade de pico ³	212,50 ± 0,82
Viscosidade de quebra (breakdown) ³	169,67 ± 0,59
Tendência a retrogradação (setback) ³	148,13 ± 3,95
Viscosidade final ³	317,79 ± 3,36

¹(°C); ² (J g⁻¹); ³(RVU)

Além disso, componentes como proteínas, cinzas, fibras e lipídeos tendem a reduzir também a entalpia de gelatinização (ASMEDA; NOORLAILA; NORZIAH, 2016). A temperatura inicial, de pico e final de gelatinização da FA foi respectivamente de 60,12 °C, 63,88 °C e 69,71°C, enquanto a entalpia de gelatinização de 5,72 J g⁻¹ (Tabela 3). Provavelmente, os baixos valores encontrados na análise térmica podem ter relação com o fato da FA possuir quantidade considerável de outros componentes (Tabela 2).

Os valores de viscosidade de pico, viscosidade de quebra (“breakdown”) e viscosidade final determinados para a FA foram de 212,15, 169,67 e 317,79 RVU, respectivamente (Tabela 3). Kim e Shin (2014) reportaram para FA com granulometria de 80 *mesh* temperatura de pasta de 70,40 °C, viscosidade de pico 308,8 RVU, viscosidade de quebra 140,7 RVU e viscosidade final 284,5 RVU. De acordo com esses autores, os valores variaram à medida que o tamanho das partículas diminuiu. A correlação entre a temperatura de pasta e o tamanho de partícula da farinha é provavelmente devido à maior barreira física de partículas maiores de farinha para transferência de calor e difusão de água, enquanto que entre a viscosidade final e o tamanho de partícula da farinha é provavelmente devido aos efeitos de outros componentes não amiláceos em grãos/farinha (principalmente proteínas e polissacarídeos não amiláceos) na viscosidade da pasta e inchaço do grânulo (LI; DHITAL; HASJIM, 2014). Em comparação aos resultados encontrados por Kim e Shin (2014) com uso de farinha na mesma granulometria (80 *mesh*), observou-se que os autores obtiveram uma

maior temperatura de pasta e viscosidade de pico, porém menores viscosidade de quebra, viscosidade final e tendência a retrogradação, logo obtiveram um gel menos viscoso devido a baixa viscosidade final. Uma maior viscosidade final indica uma estrutura de gel rígida durante o resfriamento (ASMEDA; NOORLAILA; NORZIAH, 2016). A viscosidade final da FA aumenta devido à formação de uma pasta ou gel viscoso entre as moléculas de amido durante o resfriamento (KIM; SHIN, 2014). A FA, por possuir lipídeos e proteínas, tende a apresentar valor menor de viscosidade de pico, pois esses componentes tendem a diminuir o poder de dilatação.

No processo de resfriamento, inicia-se o processo de retrogradação da amilose. Com a diminuição da temperatura e as ligações de hidrogênio entre as cadeias das moléculas se formam novamente, o que provoca um aumento significativo da viscosidade (LIN et al., 2011). Nesse estudo foi observado uma tendência de retrogradação de 148,13 RVU (Tabela 3), se comparado aos estudos de Kim e Shin (2014) que alcançaram um valor de 116,4 RVU, logo o valor encontrado (148,13 RVU) forma um gel mais rígido durante o resfriamento, pois quanto maior o *setback*, mais rígido o gel formado.

As propriedades térmicas e de pasta influenciam na geleificação do surimi, pois quando se adiciona amido ao surimi, há uma complementação devido à capacidade de intumescimento do amido, assim formando um gel de surimi mais compacto e forte (KONG et al., 2016). Se houver um amido com alta temperatura de gelatinização, haverá falta de intumescimento do amido e, conseqüentemente, uma força de gel de surimi menor (HUNT; GETTY; PARK, 2009), o que não é o caso da FA utilizada neste trabalho.

Jia et al. (2018) trabalharam com dois diferentes tipos de amido, sendo um de batata doce nativo (NS) e outro também de batata doce nativo, porém com baixa temperatura de pasta e tendência de retrogradação lenta (NSL), ambos com diferentes temperaturas de gelatinização, 76 e 53,4 °C, respectivamente. Esses autores observaram que o surimi adicionado com NSL obteve melhor propriedade de geleificação, pois teve um efeito protetor na estrutura do gel e reduziu os danos dos grânulos de amido após o congelamento e descongelamento. Portanto, comparando os resultados obtidos nesta pesquisa com os resultados do estudo citado acima, a FA possui uma temperatura de gelatinização intermediária, logo ela é capaz de manter as propriedades de geleificação do surimi.

2.3.2 Composição química das aparas de pirarucu

O teor de umidade foi majoritário nas aparas de pirarucu, seguidos pelos lipídeos, proteína e cinzas (Tabela 4). A composição proximal do pirarucu varia conforme a sua região, que é dividida em quatro partes: dorso, ventre, ventrecha e cauda. No estudo conduzido por Martins e colaboradores (2017), os autores encontraram um teor de umidade variando de 52,2 a 78,2%, teor de proteína de 17,8 a 25,8%, teor de lipídeos de 1,0 a 17,1% e cinzas de 0,9 a 1,2%, de acordo com as diferentes áreas do pescado. O menor teor de umidade encontrado foi para a região de ventrecha, similar ao percentual encontrado neste estudo (54,69%).

Tabela 4 - Composição química das aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*), em base úmida

Componente ¹	Teor ¹
Umidade	54,69 ± 2,33
Lipídeos	31,89 ± 0,48
Proteína	19,78 ± 0,73
Cinzas	0,71 ± 0,03
¹ (%)	

O constituinte majoritário, excetuando-se a umidade, foi a porção lipídica, com 31,89 %, valor que difere daqueles obtidos por Martins e colaboradores(2017), onde a porção proteica foi a de maior expressão (25,8%). Porém, de acordo com os autores, a ventrecha é conhecida como a região de acúmulo de gordura do peixe, que apresenta menor teor de umidade, e consequentemente uma maior tendência a oxidação lipídica. Pelo alto teor de lipídeos obtido neste estudo, provavelmente as aparas são provenientes da região da ventrecha, região de acúmulo de gordura do pirarucu.

Coutinho e colaboradores (2019) avaliariam a composição centesimal do filé de pirarucu de piscicultura e obtiveram para umidade, proteína, cinzas e lipídeos, valores de 75,84, 20,97, 1,15 e 1,48%, respectivamente. Estes dados diferem dos dados apresentados no presente estudo, o que se justifica pela variação na composição de lipídeos e proteínas em peixes de criação, pois fatores como alimentação e atividade muscular interferem diretamente nesses componentes, além da espécie, estação, ambiente, dieta, idade e sexo. Como as aparas utilizadas neste estudo foram provenientes da piscicultura, o teor de lipídeos se justifica pois, além da menor mobilidade, esses animais são alimentados com ração.

Cortegano et al. (2017) avaliaram a região do dorso e ventre de pirarucu de origem silvestre e obtiveram para o dorso 79,52 % de umidade, 0,59 % de cinzas, 13,09 % de proteínas e 6,38 % lipídeos; para região ventral, 76,07 % de umidade, 0,74 % de cinzas, 14,5 % de proteínas e 8,26 % de lipídeos. Em todos os estudos citados eles consideraram o *Arapaima gigas* um peixe de gordura média (4 – 8% de gordura corporal). Em todos os trabalhos reportados foi possível observar que o teor de proteínas do pirarucu é similar aos valores obtidos no presente estudo, o que difere entre eles são os teores de lipídeos e umidade. O teor de lipídeos influencia diretamente na estabilidade da emulsificação e na força do gel do surimi, porém, quando esses teores são excessivos, atuam na redução dessas propriedades (LIN et al., 2020). Dessa forma, os principais componentes que influenciam na qualidade e elaboração de surimi são o teor de lipídeos e umidade da matriz utilizada, sendo então necessário realizar o ajuste do teor de umidade antes da adição de amido (KONG et al., 2016).

2.3.3 Avaliação do rendimento e da qualidade física, química e tecnológica dos surimis de pirarucu

Os dados experimentais determinados para rendimento, atividade de água, umidade, proteínas, lipídeos, textura e cor em função do número de ciclos de lavagem, teor de FA e temperatura de cozimento da FA estão apresentados nos Apêndice A e B. Os modelos de regressão múltipla ajustados foram significativos ($p < 0,05$), para rendimento, umidade, proteínas, lipídeos, coesividade, elasticidade, ângulo hue e brancura, e nestes modelos a falta de ajuste não foi significativa ($p < 0,05$) (Tabela 5).

O rendimento somente variou (de 76 a 93%) em função do número de ciclos de lavagem (Tabela 5), diminuindo em função do aumento do número de ciclos (Figura 8A). Como era de se esperar o ciclo de lavagem apresentou efeito significativo, pois para o cálculo de rendimento é realizado a pesagem antes da lavagem e após o final do ciclo de lavagem. Hamzah, Sarbon e Amin (2015) utilizando a cobia (*Rachycentron canadum*), para obtenção do surimi, 2 a 5 ciclos de lavagem e mesma proporção de peixe:água para lavagem (1:3), reportaram um rendimento de 61 a 73%, valores inferiores se comparado ao rendimento do pirarucu para produção de surimi nesta pesquisa.

Tabela 5 - Modelos ajustados, nível de significância (p), coeficiente de correlação (R^2) e falta de ajuste (FA) para o rendimento (%), umidade (%), lipídeos (%), ângulo hue (°), croma (adimensional), coesividade (adimensional) e elasticidade (mm) de surimi de aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*) submetido a diferentes ciclos de lavagem (x_1), concentração de farinha de arroz (FA) (%) (x_2) e temperatura de cozimento da FA (°C) (x_3). Os modelos utilizam os níveis codificados das variáveis

Resposta	Modelo ajustado	p	R^2	FA
Umidade	$y=64,77+4,31x_1-2,84x_1^2+1,15x_2-1,54x_3^2$	0,0039	0,97	0,41
Lipídeos	$y=26,40+7,77x_1^2-3,80x_2^2$	0,038	0,71	0,96
Proteína	$y=11,213-0,456x_1$	0,000	0,86	0,99
Brancura	$y=58,51+5,32x_1-3,21x_1^2+3,82x_3^2$	0,022	0,89	0,24
Croma (C*)	$y=10,11-1,45x_1+0,98x_1^2-0,89x_3^2$	0,0016	0,93	0,32
Ângulo Hue	$y=80,97+2,56x_1$	0,000000	0,95	0,57
Coesividade	$y=0,483+0,022x_1+0,049x_1^2+0,030x_3+0,034x_1x_2-0,063x_1x_3$	0,024	0,82	0,60
Elasticidade	$y=0,665-0,091x_1+0,075x_1^2-0,092x_2+0,062x_3-0,106x_1x_3$	0,00038	0,96	0,33
Estabilidade ao congelamento	$Y=90,43-3,54x_1-2,09x_2$	0,025	0,68	0,22
Rendimento	$y=94,86-2,4717x_1$	0,003	0,51	0,36

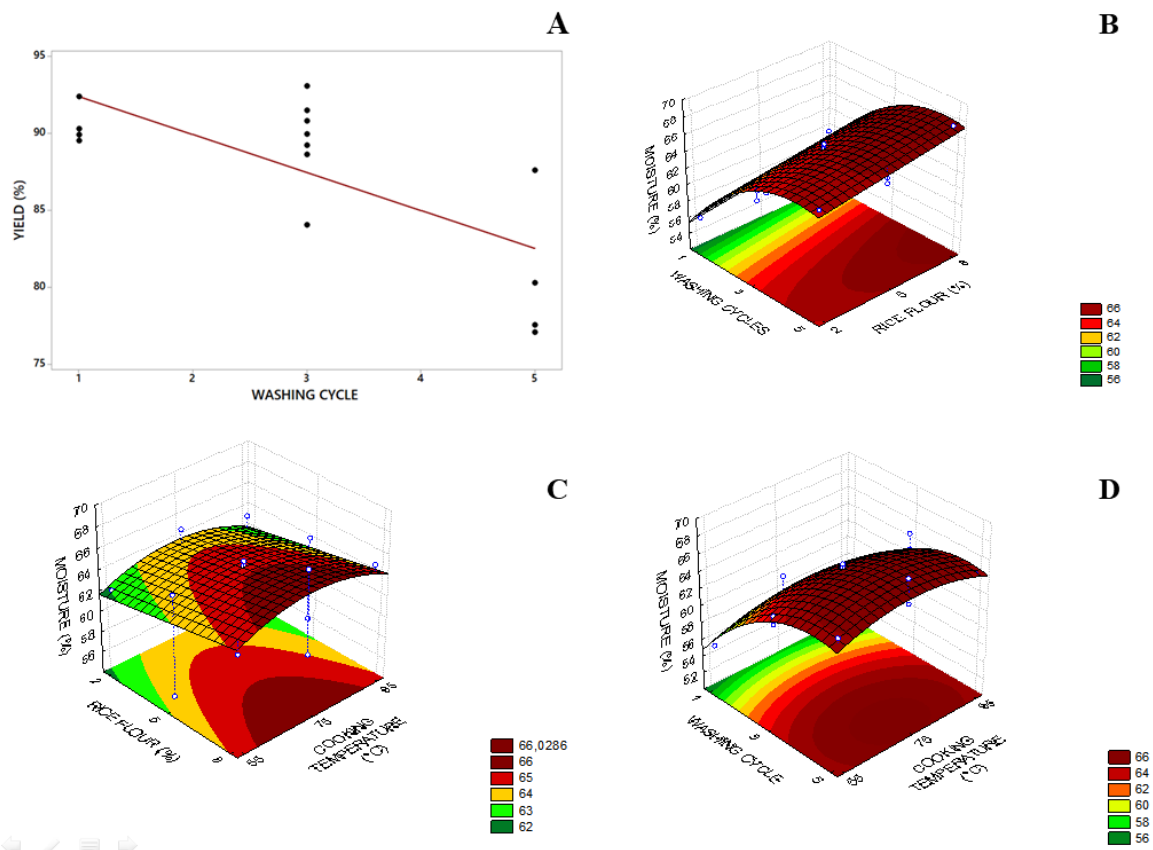


Figura 8 - (A) Rendimento (%) do surimi de aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*) em função do número de ciclos de lavagem; (B) Umidade (%; base úmida) em relação ao número de ciclos de lavagem e concentração de farinha de arroz (FA); (C) em relação a temperatura de cozimento da FA (°C) e concentração de FA (%); e (D) em relação a temperatura de cozimento da FA (°C) e ciclos de lavagem. A terceira variável em cada gráfico foi fixada no respectivo ponto zero.

O rendimento na elaboração de surimi varia conforme a espécie de peixe utilizada, concentração de proteínas sarcoplasmática, excesso de lavagem (SURASANI, 2018), porém no caso das aparas de pirarucu nas condições do presente estudo, há um alto teor de lipídeos de difícil redução apenas com os ciclos de lavagem.

O modelo ajustado para umidade apresentou efeito linear positivo significativo para as variáveis de ciclo de lavagem e concentração de FA, além de efeitos quadráticos negativos significativos para as variáveis de ciclo de lavagem e temperatura. Desta forma, quando se fixou uma temperatura de gelatinização de 70 °C, o máximo valor de umidade (66%) na área do gráfico foi encontrado para adição de farinha de 4 a 8% e de 3 a 5 ciclos de lavagem (Figura 8B).

Nos gráficos de superfície de resposta verificou-se também que fixando-se a concentração de FA em 5% foi encontrada o máximo de umidade (66%) com temperatura de

cozimento da FA de 55 a 95 °C e de 3 a 5 ciclos de lavagem (Figura 8C). Enquanto, com o número de ciclos de lavagem fixado em 3 ciclos a região de máxima umidade (66,02%) foi determinada com temperatura de cozimento da FA entre 65 e 85°C e concentração de FA de 5,5 e 8% (Figura 8D).

De acordo com Oliveira e colaboradores (2017), a umidade do surimi pode ser influenciada pelos ciclos de lavagem, presença de sais na solução de lavagem e também pela falta de padronização na drenagem da solução utilizada para lavagem, corroborando com este estudo em relação ao número de ciclos de lavagem. Fogaça e colaboradores (2013) obtiveram para surimi de carne mecanicamente recuperada de tilápia, com diferentes tratamentos, ciclos de lavagem (1, 3 e 5), sem a adição de amido e com adição de 10 e 20% de amido, e verificaram que a umidade (65 a 80%) aumentava com os ciclos de lavagem e diminuía com a adição de amido. Foi semelhante ao encontrado no presente estudo, pois a umidade aumentou com os ciclos de lavagem, porém com a adição de amido até 8% houve um aumento da umidade, oposto ao relatado pelo referenciado acima. Quando fixou a temperatura de gelatinização em 75°C (Figura 8B), o ciclo de lavagem em 3 (Figura 8C) e a concentração da FA em 5% (Figura 8D), foi quando obteve os maiores valores de umidade (66%).

Jia e colaboradores (2020) utilizaram em seu trabalho um surimi de Escamudo do Alasca (*Gadus chalcogrammus*) cujo teor de umidade foi de 74,5%. Liu e colaboradores (2014) obtiveram um surimi de carpa comum (*Cyprinus carpio*), com e sem adição de crioprotetores, nos quais a umidade foi de 74,45 e 77,19%, respectivamente. Portanto, seria necessária a adição de mais água, pois comparado aos estudos supracitados, a umidade do surimi de aparas de pirarucu deste foi menor, possivelmente prejudicando a interação amido-proteína, devido ao aspecto observado nos testes preliminares, um gel bem rígido de difícil modelagem para elaboração de um produto reestruturado. Logo, para aumentar o teor de umidade e possibilitar a melhoria desta interação, pode-se aumentar a proporção de água utilizada na lavagem, havendo disponibilidade de água para geleificação, não sendo necessária à prévia gelatinização do amido.

O modelo ajustado para o teor de lipídeos do surimi de aparas de pirarucu apresentou efeito quadrático positivo para ciclo de lavagem e negativo para FA, enquanto a temperatura de cozimento da FA não apresentou efeito significativo para esta resposta (Tabela 5). O teor de lipídeo mínimo (22%) foi encontrado entre 2 e 4 ciclos de lavagem e concentração de FA próximo de 2% ou 8% (Figura 9A).

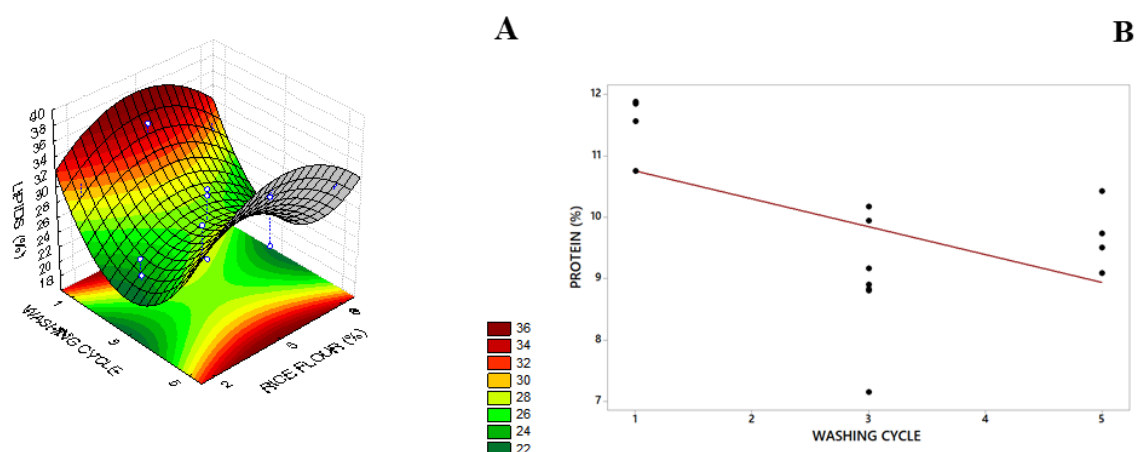


Figura 9 – (A) Teor de lipídeos e (B) de proteína em surimi de aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*) em relação ao número de ciclos de lavagem e percentual de farinha de arroz, e número de ciclos de lavagem, respectivamente

Um alto teor de lipídeo no processamento de surimi é indesejado, em função dos efeitos negativos durante a geleificação. Os ácidos graxos insaturados impedem as interações não covalentes da miosina, fundamentais para formação de gel (LIN et al., 2020).

No modelo ajustado para proteína apenas o efeito linear negativo do número de ciclo de lavagem foi significativo (Tabela 5). Em relação ao teor de proteína, os valores determinados em surimi de aparas de pirarucu, com concentração de 5% de FA e 3 ciclos de lavagem, variaram entre 9 e 12% (Figura 9B), sendo os maiores valores obtidos com 1 ciclo e, os menores, com 5 ciclos de lavagem. Com esse resultado inferimos que foi possível remover as proteínas sarcoplasmáticas, uma vez que as aparas deste peixe possuíam 19,78% de proteína (Tabela 4).

Oliveira e colaboradores (2017) avaliando surimi de tilápia (*Oreochromis niloticus*), com 3 ciclos de lavagem e variando a adição de crioprotetores, determinaram uma faixa de valores entre 11,38% e 13,56% de proteína; enquanto Liu e colaboradores (2014) reportaram para surimi de carpa prateada (*Cyprinus carpio*) sem e com amido, teores de proteína de 18,83% e 18,06%, respectivamente. Ambos os estudos apresentaram resultados superiores ao obtidos neste trabalho, cabendo contextualizar que as amostras de tilápias foram obtidas de piscicultura, enquanto a carpa prateada, de origem selvagem, sendo as amostras de cultivo as que se assemelharam aos resultados observados no presente estudo (9 a 12%).

Em relação a cor, apenas houve ajuste para os modelos de brancura, croma e ângulo hue. O número de ciclos de lavagem apresentou efeitos linear positivo e quadrático negativo,

e a temperatura de cozimento da FA efeito quadrático positivo para brancura. Os mesmos efeitos significativos para brancura também foram para croma, entretanto com sinais opostos (Tabela 5), pois quanto maior a brancura da amostra, menos intensa foi a sua cor. Somente o efeito linear positivo do número de ciclo de lavagens foi significativo para o ângulo hue. A área do gráfico com o valor máximo de brancura (64%) situou-se entre 3 e 5 ciclos de lavagem e, temperatura de cozimento da FA, abaixo de 65°C ou acima de 85°C (Figura 10A).

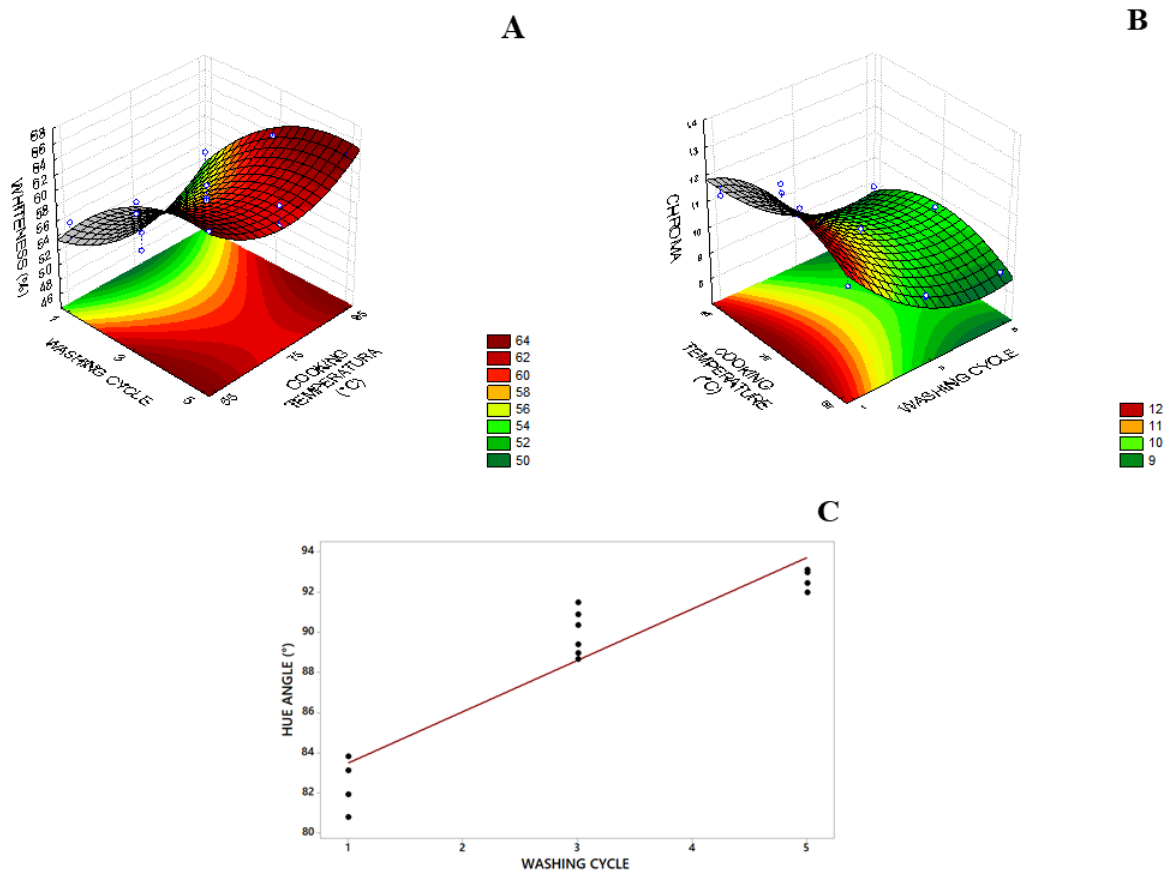


Figura 10 - (A) Brancura (%) e (B) cromaticidade (adimensional) do surimi de aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*) (%); em relação ao número de ciclos de lavagem e temperatura de cozimento da farinha de arroz (°C); (C) ângulo hue (°) em relação ao número de ciclos de lavagem

O aumento proporcional de brancura das amostras com o aumento do número de ciclos de lavagem, pode ser justificado pela remoção das proteínas sarcoplasmáticas (mioglobina e hemoglobina) no processo (HAMZAH; SARBON; AMIN, 2014), pois a remoção destas proteínas tende a clarear o surimi. Geralmente, em um surimi, é esperado um alto valor de brancura, o que foi possível verificar com 3 e 5 ciclos de lavagem. Liu, Nie e Chen (2014) em seus estudos, obtiveram uma variação de brancura para o surimi de carpa

prateada de 46,89 a 62. No presente estudo, os valores de brancura foram ligeiramente superiores e variaram entre 50 e 64%, provavelmente devido a cor natural dos peixes utilizados. Por meio do gráfico de superfície de resposta (Figura 10B), o valor mínimo de croma (9) foi obtido com 3 a 5 ciclos de lavagem e temperatura de cozimento da farinha de arroz de 55 a 65 °C ou de 85 a 95 °C, correlacionando inversamente com a brancura.

Segundo Angiolillo, Conte e Nobile (2015), o índice croma (C^*) é relacionado à saturação ou intensidade de cor, e o ângulo hue é relacionado a tonalidade da cor e 0° corresponde a cor vermelha, 90° a cor amarela, 180° a cor verde e 270° a cor azul. Como o surimi de aparas de pirarucu apresentou baixa intensidade de cor (C^*) e elevada brancura, possui qualidade adequada em relação a cor. O ângulo hue do surimi de aparas de pirarucu apresentou valores entre 83 e 93° (Figura 10C), indicando uma variação de cor próxima ao amarelo pálido.

Para a textura dos surimis de aparas de pirarucu foi possível ajustar modelo apenas para coesividade e elasticidade (Tabela 5). Quanto à coesividade, o número de ciclo de lavagens e temperatura de cozimento da FA exibiram efeito linear positivo e efeito quadrático positivo para número de ciclo de lavagem, além disso, foi possível verificar uma interação entre ciclo de lavagem e concentração de FA; e interação entre ciclo de lavagem e temperatura de cozimento da FA. Para uma concentração de FA fixada em 5%, um valor máximo de coesividade de 0,62 foi obtido com 1 a 2 ciclos de lavagem e temperatura de cozimento da FA entre 85 e 95°C, ou de 4 a 5 ciclos de lavagem e temperatura entre 55 e 65°C (Figura 11A). Com uma temperatura de cozimento da FA fixada em 70°C, foi atingido um valor máximo de coesividade de 0,60 com adição de farinha entre 7% e 8% e 4 a 5 ciclos de lavagem (Figura 11B). O número de ciclos de lavagem e a concentração da FA apresentou efeito linear negativo sobre a elasticidade, assim como a temperatura de cozimento da FA efeito linear positivo, o número de ciclos de lavagem efeito quadrático, além da interação entre ciclos de lavagem e temperatura de cozimento da FA (Tabela 5). Valor máximo de elasticidade (0,9) pode ser obtido com 2% de FA e 1 ciclos de lavagem a uma temperatura de cozimento da FA fixa de 70°C (Figura 11C).

Liu, Nie e Chen (2014) reportaram valores de 0,67 a 0,69 para coesividade e valores de 0,88 a 0,90 elasticidade em surimi de carpa prateada, com e sem adição de amido, valores ligeiramente superiores aos verificados para o surimi de aparas de pirarucu.

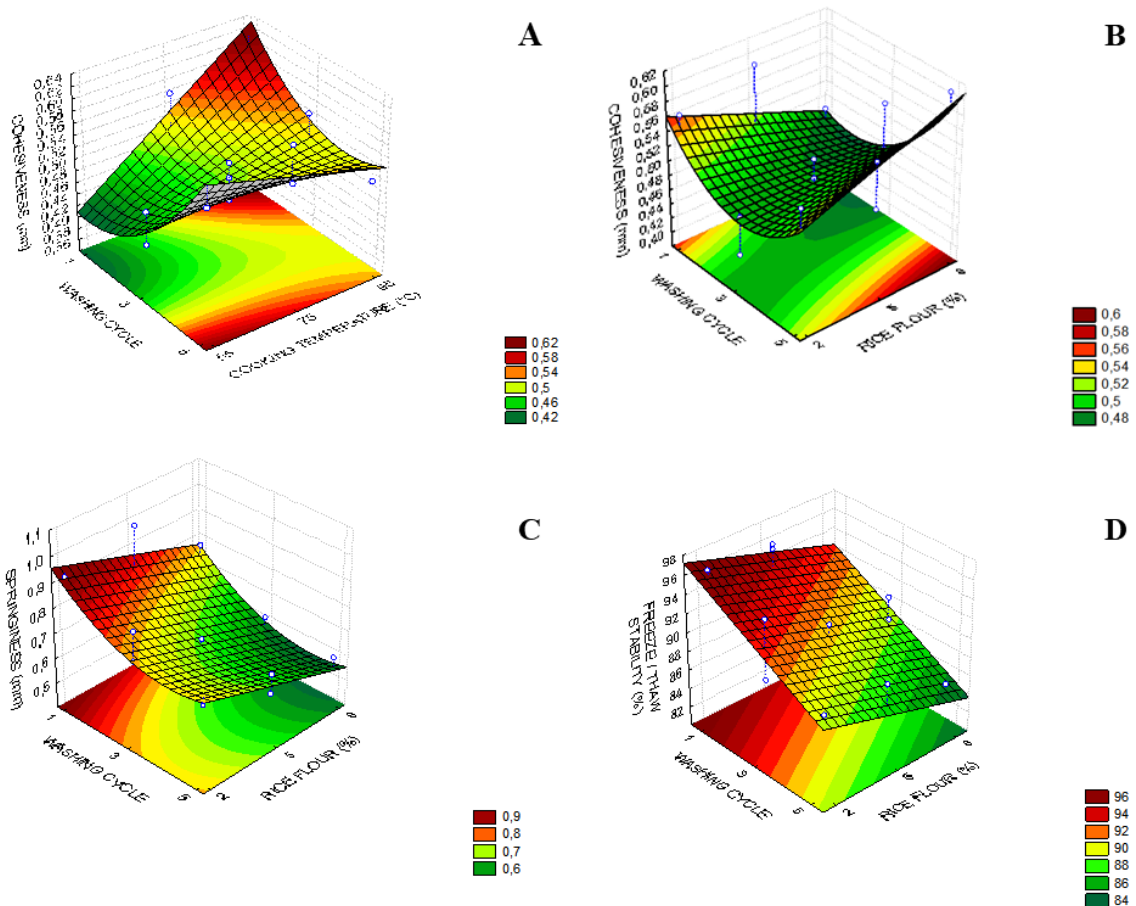


Figura 11 - (A) Coesividade do surimi de aparas de pirarucu (*Arapaima gigas*) em função da temperatura de cozimento da farinha de arroz (FA) (°C) e do número de ciclos de lavagem; (B) coesividade em função da concentração da FA (%) e do número de ciclos de lavagem; e (C) elasticidade em função do concentração da FA (%) e ciclo de lavagem; (D) Estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas em função da concentração da FA (%) e do número de ciclos de lavagem

De acordo com estes autores, a coesividade indica a recuperação da amostra após a primeira compressão e, o termo elasticidade, aponta como a altura original recuperada após a primeira compressão. Quando se tem valores de coesividade próximo a 0,70 e elasticidade de 0,90, aponta características de materiais viscoelásticos, que é o caso do surimi. Porém objetivando um produto reestruturado proveniente do surimi, é desejado que ele tenha baixa viscoelasticidade. O surimi de aparas de pirarucu quando comparado ao de carpa prateada supracitado, possui baixa coesividade necessitando de menos força e é menos elástico e de fácil modelagem para elaboração do produto reestruturado.

Quanto a estabilidade de congelamento e descongelamento em 4 semanas, o número de ciclo de lavagem e o teor de farinha de arroz apresentaram um efeito linear negativo

(Tabela 5). Com uma temperatura de cozimento da farinha de arroz fixada em 70°C, o valor máximo de estabilidade ao congelamento e descongelamento foi 96% quando o teor de farinha de arroz variou entre 2 a 3% e apenas 1 ciclo de lavagem (Figura 11D). Jia et al. (2020) trabalharam com o surimi de Polaca do Alasca e adicionaram amido de batata e de trigo (5%), observando que a perda de gotejamento era menor em surimi com amido de grânulos pequenos do que o amido nativo, além disso verificaram que após o congelamento e descongelamento os cristais de gelo derreteram e a perda por gotejamento foi liberada do surimi, porém no desenvolvimento de surimi de aparas de pirarucu não foi possível observar esse fenômeno, e uma explicação é devido composição do Polaca Alasca (umidade de 74,5% e lipídeo de 0,4%), enquanto do surimi de pirarucu é compostos por baixa umidade e alto teor de lipídeo.

Para o teste de desejabilidade obteve-se um resultado de um surimi que possuíse maior umidade e ângulo hue, menores valores de elasticidade, porém a desejabilidade obtida não coincidiu com nenhum ensaio realizado no delineamento. O gráfico indicou, valores reais de 3 ciclos de lavagem, 6% de FA e 85 °C de temperatura de cozimento da FA (Figura 12).

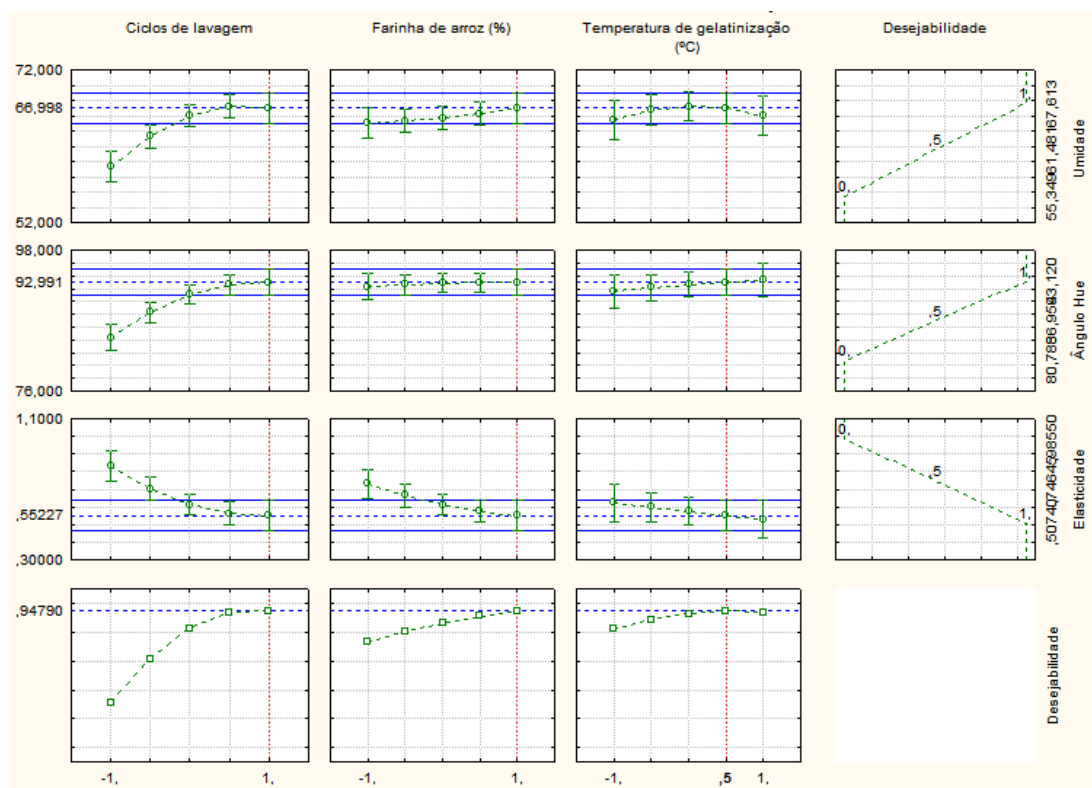


Figura 12 - Teste de desejabilidade das propriedades do surimi (*Arapaima gigas*) elaborados com diferentes ciclos de lavagem, adição de farinha de arroz (%), temperatura de gelatinização (°C), considerando maior teor de umidade e ângulo hue como mais desejáveis e menor elasticidade.

Considerando que na validação dos modelos matemáticos ajustados se estabeleceu um erro máximo de 10%, verificou-se que apenas os modelos para rendimento, lipídeos e elasticidade superaram este limite (Tabela 6). Portanto os modelos para umidade, proteína, brancura, cora, ângulo hue, coesividade e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas de armazenamento podem ser considerados preditivos.

Tabela 6 – Valores reais, valores previstos (modelo) e erro percentual do ensaio de validação dos modelos de rendimento, umidade, lipídeos, proteína, brancura, cora (C*), ângulo hue, coesividade, elasticidade e estabilidade ao congelamento e descongelamento.

Característica	Valor real (experimental)	Valor modelo (previsto)	Erro (%)
Rendimento ¹	74,73	89,59	20
Umidade ¹	66,27	62,17	6
Lipídeos ¹	15,93	20,93	31
Proteína ¹	8,38	8,99	7
Brancura ¹	56,15	61,54	10
Cora (C*) ²	10,45	9,41	10
Ângulo hue ³	93,08	89,88	3
Coesividade ²	0,46	0,46	1
Elasticidade ⁴	0,47	0,72	54
Estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas ¹	91,60	92,94	1

¹%; ²adimensional; ³(°); ⁴mm

2.4. CONCLUSÃO

O número de ciclos de lavagem afetou o rendimento, a umidade, o teor de lipídeos, o teor proteínas, a brancura, cor, ângulo hue, coesividade, elasticidade e estabilidade ao congelamento com 4 semanas; o teor de farinha de arroz afetou a umidade, lipídeos, coesividade, elasticidade e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 4 semanas; e a temperatura de cozimento da farinha de arroz afetou a umidade, brancura, cor, coesividade, elasticidade. É possível obter um aumento da umidade com o aumento do número de ciclos de lavagem e adição de amido; com três ciclos de lavagem foi possível remover as proteínas solúveis em água de forma eficiente, produzindo um surimi com tendência a uma cor amarelo pálida em função do baixo teor de lipídeos. O surimi de maior desejabilidade foi aquele processado com 3 ciclos de lavagem, 6% de FA e 85°C de temperatura de cozimento da FA. Apesar das lavagens, o pirarucu é um peixe que possui alto rendimento para elaboração de surimi. O aproveitamento das aparas de pirarucu e de grão quebrados de arroz é viável para produção de um surimi com alto rendimento e alta qualidade física, química e tecnológica, com potencial de ser utilizado como ingrediente de produtos reestruturados, além de contribuir com a melhorar a sustentabilidade da agroindústrias, devido ao aproveitamento dos subprodutos estudados.

REFERÊNCIAS

- AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Assessment of Proximate Compositions and Functional Properties of Blends of Broken Rice and Wheat Flours. **Sarhad Journal of Agriculture**, Peshawar, v. 32, n. 3, p. 142–150, 2016.
- ANGIOLILLO, L.; CONTE, A.; NOBILE, M. A. D. Technological strategies to produce functional meat burgers. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 62, n. 2, p. 697-703, 2015.
- AOAC. Association of official analytical chemists. **Official methods of analysis - AOAC International**. 19 th ed. Maryland, 2012.
- ASCHERI, D. P. R.; CAVALCANTE, L. H.; ASCHERI, J. L.R.; DE CARVALHO, C. W. P. Physical-chemical characterization of pre-cooked mixed rice flour and barley bagasse. **Semina: Ciencias Agrarias**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 737–750, 2016.
- ASMEDA, R.; NOORLAILA, A.; NORZIAH, M. H. Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled MR263 rice flour. **Food Chemistry**, Londres, v. 191, p. 45–51, 11 ago. 2016.
- BASSINELLO, P. Z.; FERREIRA, C. M. Farinha de arroz: Alternativa Alimentar e Econômica. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás (GO), 2017.
- BOX, G. E. P.; BEHNKEN, D. W. Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables. **Technometrics**, Alexandria, v. 2, n. 4, p. 455–475, 1960.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 8, de 2 junho de 2005 - Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>. Acesso em: 14 set. 2020.
- BRASIL. **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Dispõe sobre Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20134722/do1-2017-03-30-decreto-n-9-013-de-29-de-marco-de-2017-20134698>. Acesso em : 01 dez. 2020.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020**, Brasília, v. 5, p. 1–75, 2020b.
- CORTEGANO, C. A. A.; GODOY, L. C. de; 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 1, p. 271–276, 2017.
- COUTINHO, N. M.; CANTO, A. C. V. da 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**, Campinas, v. 22, 2019.

DAUTANT, F. J.; SIMANCAS, K. SANDOVAL, A. J.; MULLER, A. J. Effect of temperature, moisture and lipid content on the rheological properties of rice flour. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 78, n. 4, p. 1159–1166, 2007.

FAN, M.; HU, T.; ZHAO, S.; XIONG, S.; XIE, J.; HUANG, Q. Gel characteristics and microstructure of fish myofibrillar protein/cassava starch composites. **Food Chemistry**, Londres, v. 218, p. 221–230, 2017.

FITRIANI, V.; PERMANA, L.; SETIABOMA, W. Chemical and Physical Characterization of Cereal Flakes Formulated with Broken Rice and Banana Flour. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, v. 258, n. 1, 2019.

FOGAÇA, F. H.; SANT'ANA, L. S.; LARA, J. A. F.; MAI, A. C. G.; CARNEIRO, D. J. Restructured products from tilapia industry byproducts: The effects of tapioca starch and washing cycles. **Food and Bioprocess Technology**, Londres, v. 94, p. 482–488, 2015.

FOGAÇA, F. H. S.; TRINCA, L. A.; BOMBO, A. J.; SANT'ANA, L. S. Optimization of the Surimi Production from Mechanically Recovered Fish Meat (MRFM) Using Response Surface Methodology. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 36, n. 3, p. 209–216, 2013.

GUO, X.; SHI, L.; XIONG, S.; HU, Y.; YOU, J.; HUANG, Q.; YIN, T. Gelling properties of vacuum-freeze dried surimi powder as influenced by heating method and microbial transglutaminase. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 99, p. 105–111, 2019.

HAMZAH, N.; SARBON, N. M.; AMIN, A. M. Physical properties of cobia (*Rachycentron canadum*) surimi: effect of washing cycle at different salt concentrations. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 52, p. 4773–4784, 2015.

HASJIM, J.; LI, E.; DHITAL, S. Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 92, n. 1, p. 682–690, 2013.

HUNT, A.; GETTY, K. J. K.; PARK, J. W. Roles of Starch in Surimi Seafood: A Review. **Food Reviews International**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 299–312, 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Pecuária Municipal. Produção da aquicultura. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado>. Acesso em: 06 fev. 2021.

ICC - International Association for Cereal Science and Technology. **Standard 162 - Rapid pasting method using the newport rapid viscoanalyser**. Vienna, p.10, 1996.

JIA, R.; KATANO, T.; YOSHIMOTO, Y.; GAO, Y.; WATANABE, Y.; NAKAZAWA, N.; OSAKO, K.; OKAZAKI, E. Sweet potato starch with low pasting temperature to improve the gelling quality of surimi gels after freezing. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 81, p. 467–473, 2018.

JIA, R.; KATANO, T.; YOSHIMOTO, Y.; GAO, Y.; NAKAZAWA, N.; OSAKO, K.; OKAZAKI, E. Effect of small granules in potato starch and wheat starch on quality changes of direct heated surimi gels after freezing. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 104, n. p. 1–8, 2020.

JÚNIOR, A. V. A. Resultados e Desafios da Produção e Mercado do Pirarucu (*Arapaima gigas*). **Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), XII Simpósio Internacional de Aquicultura**, Natal, 2018. Disponível em: <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2018/11/17-Resultados-e-Desafios-da-Produ%C3%A7%C3%A3o-e-Mercado-do-Pirarucu-Arapaima-gigas-Americo-Vespucio.pdf>. Acesso em: 01 de dez. de 2020.

KADAN, R. S.; BRYANT, R. J.; PEPPERMAN, A. B. Functional properties of extruded rice flours. **Journal of Food Science**, Campinas, v. 68, n. 5, p. 1669–1672, 2003.

KIM, J. M.; SHIN, M. Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 526–532, 2014.

KONG, W.; ZHANG, T.; FENG, D.; XUE, Y.; WANG, Y.; LI, Z.; YANG, W.; XUE, C. Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 56, p. 20–28, 2016.

LI, E.; DHITAL, S.; HASJIM, J. Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties. **Starch - Stärke**, Alemanha, v. 66, n. 1–2, p. 15–27, 2014.

LI, T.; ZHAO, J.; HUANG, J.; ZHANG, W.; HUANG, J.; FAN, D.; ZHANG, H. Improvement of the Quality of Surimi Products with Overdrying Potato Starches. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 2017, p. 1–5, 2017.

LIN, Q.; XIAO, H.; FU, X.; TIAN, W.; LI, L.; YU, F. Physico-Chemical Properties of Flour, Starch, and Modified Starch of Two Rice Varieties. **Agricultural Sciences in China**, [S.l.], v. 10, n. 6, p. 960–968, 2011.

LIN, W.; HAN, Y.; LIU, F.; HUANG, H.; LI, L.; YANG, S.; YANG, X.; WU, Y. Effect of lipid on surimi gelation properties of the three major Chinese carp. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 100, n. 13, p. 4671–4677, 2020.

LIU, H.; NIE, Y.; CHEN, H. Effect of Different Starches on Colors and Textural Properties of Surimi-Starch Gels. **International Journal of Food Properties**, [S.l.], v. 17, n. 7, p. 1439–1448, 2014.

LIU, Q.; CHEN, Q.; KONG, B.; HAN, J. HE, X. The influence of superchilling and cryoprotectants on protein oxidation and structural changes in the myofibrillar proteins of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 57, n. 2, p. 603–611, 2014.

LUH, B. S.; LIU, Y.-K. Rice Flours in Baking. In: **Rice Production**. Boston, MA: [s.n.], 1991.

MARTINS, M. G.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. da S. Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 37, n. 4, p. 651–656, 2017.

MAZORRA-MANZANO, M. A.; RAMÍREZ-SUÁREZ, J. C.; MORENO-HERNÁNDEZ, J. M.; PACHECO-AGUILAR, R. Seafood proteins. In: **Proteins in Food Processing: Second Edition**. Second Edi ed. [S.l.] Elsevier Ltd., p. 445–475, 2017.

OLIVEIRA, A. R.; RIBEIRO, A. E. C.; OLIVEIRA, E. R.; MENDES, A. C. da S.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M. Broken rice grains pregelatinized flours incorporated with lyophilized açai pulp and the effect of extrusion on their physicochemical properties. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 56, n. 3, p. 1337–1348, 2019.

OLIVEIRA, D. L. de; GRASSI, T. L. M.; SANTO, E. F. do E.; CAVAZZANA, J. F.; MARCOS, M. T. de S.; PONSANO, E. H. G. Washings and cryoprotectants for the production of Tilapia Surimi. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 37, n. 3, p. 432–436, 2017

PARK, J. A. E. W. Functional Protein Additives in Surimi Gels. **Journal of Food Science**, Oregon, v. 59, n. 3, p. 525–527, 1994.

PEANPARKDEE, M.; IWAMOTO, S. Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 86, p. 109–117, 2019.

PEREIRA, J.; ZHOU, G.-H.; ZHANG, W.-G. Effects of Rice Flour on Emulsion Stability, Organoleptic Characteristics and Thermal Rheology of Emulsified Sausage. **Journal of Food and Nutrition Research**, [S.l.], v. 4, n. 4, p. 216–222, 2016.

PRIYADARSHINI, B.; XAVIER, K. A. M.; NAYAK, B. B.; DHANAPAL, K.; BALANGE, A. K. Instrumental quality attributes of single washed surimi gels of tilapia : Effect of different washing media. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 86, p. 385–392, 2017.

PRIYADARSHINI, B.; XAVIER, M.; NAYAK, B. B.; APANG, T.; BALANGE, A. K. . Quality Characteristics of Tilapia Surimi: Effect of Single Washing Cycle and Different Washing Media. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, [S.l.], v. 27, n. 5, p. 643–655, 2018.

SANTOS, J. D. S. L.; MÁRSICO, E. T.; CINQUINI, M. A.; SILVA, F. A. DA.; JUNIOR, C. A. C.; MONTEIRO, M. L. G. Physicochemical and sensory characterization of three different portions from commercial pirarucu (*Arapaima gigas*) fillets. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, 2018.

SETYAWATI, J. D.; AHSAN, S. F.; ONG, L. K.; SOETAREDJO, F. E.; ISMADJI, S.; JU, Y.. Production of glutinous rice flour from broken rice via ultrasonic assisted extraction of amylose. **Food Chemistry**, Londres, v. 203, p. 158–164, 2016.

SURASANI, V. K. R. Acid and alkaline solubilization (pH shift) process: a better approach for the utilization of fish processing waste and by-products. **Environmental Science and Pollution Research**, Alemanha, v. 25, p. 18345-18363, 2018.

TUMULURU, J. S.; SOKHANSANJ, S.; BANDYOPADHWAY, S.; BAWA, A. S. Changes in Moisture, Protein, and Fat Content of Fish and Rice Flour Coextrudates during Single-Screw Extrusion Cooking. **Food and Bioprocess Technology**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 403–415, 2013.

VALLADÃO, G. M. R.; GALLANI, S. U.; PILARSKI, F. South American fish for continental aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, Reino Unido, p. 351–369, 2018.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria (RS), v. 38, n. 4, p. 1184–1192, 2008.

ZHOU, X.; CHEN, H.; LYU, F.; LIN, H.; ZHANG, Q. DING, Y. Physicochemical properties and microstructure of fish myofibrillar protein-lipid composite gels: Effects of fat type and concentration. **Food Hydrocolloids**, Wrexham, v. 90, p. 433–442, 2019.

Apêndice A - Dados dos tratamentos relacionados onde rendimento, umidade, proteínas, lipídeos (base úmida) e análises colorimétricas, Onde X_1 = número de ciclos de lavagem; X_2 = farinha de arroz (%); X_3 = temperatura de gelatinização (°C)

Tratamento	Valores reais			Variáveis Respostas						
	x_1	x_2	x_3	Rendimento ¹	Umidade ¹	Proteínas ¹	Lipídeos ¹	Hue angle ²	Croma ³	Brancura ¹
1	1	2	70	90,26	56,00 ± 0,23	11,84 ± 0,59	27,31 ± 0,98	80,79 ± 0,54	12,86 ± 0,62	49,26 ± 2,23
2	1	8	70	89,88	59,73 ± 0,44	10,75 ± 0,42	29,38 ± 0,55	83,13 ± 0,85	13,18 ± 0,67	46,73 ± 2,25
3	5	2	70	87,57	64,87 ± 0,50	9,50 ± 0,20	34,65 ± 0,70	93,12 ± 0,67	9,80 ± 0,46	60,02 ± 1,72
4	5	8	70	80,29	67,61 ± 0,27	9,74 ± 0,24	31,24 ± 0,75	92,99 ± 0,84	9,00 ± 0,30	62,65 ± 1,21
5	3	5	70	88,60	64,71 ± 0,18	10,17 ± 0,21	30,20 ± 0,78	88,98 ± 0,49	9,92 ± 0,54	58,95 ± 2,41
6	1	5	55	92,39	55,35 ± 0,54	11,55 ± 0,33	32,36 ± 0,55	81,95 ± 2,00	11,07 ± 0,41	55,86 ± 2,01
7	1	5	95	89,52	56,31 ± 0,10	11,88 ± 0,41	34,33 ± 1,69	83,83 ± 0,54	11,27 ± 0,41	55,68 ± 1,30
8	5	5	55	77,55	65,00 ± 0,59	10,42 ± 0,25	33,90 ± 0,87	91,99 ± 0,85	8,86 ± 0,40	64,45 ± 1,53
9	5	5	95	77,09	64,36 ± 0,94	9,09 ± 0,27	35,03 ± 0,04	92,46 ± 0,95	9,10 ± 0,29	63,00 ± 1,15
10	3	5	70	93,07	65,16 ± 0,48	7,15 ± 0,15	29,35 ± 6,87	90,37 ± 0,47	10,24 ± 0,44	58,50 ± 1,66
11	3	2	55	84,04	62,10 ± 0,35	8,90 ± 0,36	25,43 ± 0,67	89,39 ± 1,34	9,30 ± 0,44	63,24 ± 1,94
12	3	2	95	90,80	63,23 ± 0,85	9,94 ± 0,47	23,19 ± 1,19	88,68 ± 1,66	9,20 ± 0,48	62,52 ± 1,90
13	3	8	55	89,20	63,06 ± 0,35	8,82 ± 0,40	22,70 ± 0,39	89,39 ± 1,15	9,34 ± 0,40	61,90 ± 0,40
14	3	8	95	91,45	65,01 ± 0,52	8,80 ± 0,34	18,02 ± 0,88	91,48 ± 0,79	9,50 ± 0,35	59,14 ± 3,05
15	3	5	70	89,95	63,92 ± 0,84	9,16 ± 0,27	20,74 ± 0,14	90,89 ± 0,43	9,68 ± 0,41	60,59 ± 1,62

¹%; ² (°); ³ adimensional

Apêndice B - Dados dos tratamentos relacionados à textura e estabilidade ao congelamento e descongelamento com 1 e 4 semanas. Onde X_1 = número de ciclos de lavagem; X_2 = farinha de arroz (%); X_3 = temperatura de gelatinização (°C)

Tratamento	Valores reais			Variáveis respostas						
	x_1	x_2	x_3	Dureza ¹	Coesividade ²	Gomosidade ¹	Mastigabilidade ¹	Elasticidade ²	1 semana ³	4 semanas ³
1	1	2	70	4,89±0,13	0,56±0,09	2,74±0,39	2,68±0,38	0,92±0,13	96,67±0,07	96,53±0,15
2	1	8	70	4,52±0,20	0,49±0,03	2,20±0,15	2,15±0,15	0,78±0,06	90,46±0,05	87,65±2,03
3	5	2	70	5,00±0,26	0,55±0,04	2,73±0,15	2,64±0,11	0,72±0,06	89,24±0,81	88,81±2,00
4	5	8	70	4,27±0,11	0,61±0,04	2,60±0,12	2,50±0,14	0,59±0,07	88,63±0,90	85,16±0,48
5	3	5	70	5,16±0,27	0,45±0,02	2,32±0,23	2,27±0,17	0,67±0,07	81,79±0,45	88,97±2,54
6	1	5	55	6,15±0,23	0,40±0,05	2,45±0,25	2,44±0,25	0,64±0,07	96,11±0,14	96,31±0,39
7	1	5	95	4,21±0,08	0,59±0,15	2,48±0,60	2,40±0,55	0,99±0,14	96,08±0,14	95,71±0,32
8	5	5	55	4,46±0,15	0,56±0,04	2,51±0,27	2,45±0,27	0,68±0,03	82,91±1,48	85,33±1,25
9	5	5	95	5,43±0,20	0,50±0,03	2,72±0,22	2,62±0,21	0,60±0,05	91,22±2,01	88,54±1,26
10	3	5	70	5,19±0,28	0,49±0,06	2,52±0,28	2,47±0,25	0,64±0,06	90,34±1,10	91,19±0,69
11	3	2	55	3,93±0,11	0,43±0,02	1,68±0,07	1,60±0,06	0,74±0,06	86,36±1,03	88,68±0,38
12	3	2	95	6,31±0,19	0,48±0,01	3,03±0,14	2,93±0,16	0,85±0,14	90,49±2,57	94,96±0,03
13	3	8	55	3,96±0,15	0,48±0,09	1,92±0,40	1,88±0,38	0,51±0,07	87,83±0,96	90,95±1,13
14	3	8	95	4,55±0,22	0,55±0,07	2,48±0,29	2,38±0,28	0,62±0,04	90,16±0,16	88,52±0,98
15	3	5	70	6,05±0,32	0,51±0,08	3,10±0,45	2,95±0,43	0,63±0,10	88,19±1,36	89,12±1,96

¹ (N); ² adimensional; ³ (%)

CAPÍTULO 3

QUALIDADE DE MICROENCÁPSULAS OBTIDAS POR LIOFILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE EXTRAÇÃO COM ULTRASSOM E PROPORÇÃO DE MALTODEXTRINA:EXTRATO DE AÇAÍ

RESUMO

A polpa de açaí é um alimento com elevado teor de compostos fenólicos e potencial de utilização como antioxidante natural, porém sua estabilidade poderia ser aumentada pelo processo de encapsulação por liofilização. O objetivo desta pesquisa foi selecionar o extrato com maior teor de antocianinas da polpa de açaí variando a quantidade de solvente e pH para desenvolvimento das microcápsulas. Estimar o efeito das variáveis no processo de microencapsulação: tempo de extração (min) e diferentes proporções de material de parede:núcleo, na eficiência de encapsulação, umidade, compostos fenólicos, atividade antioxidante, análise colorimétrica e morfologia das microcápsulas, para desenvolver um antioxidante natural para aplicação em produtos reestruturados. Ensaios preliminares foram realizados para avaliar a melhor proporção de polpa de açaí:água destilada (1:0,5, 1:2 e 1:3) e pH (2,0; 4,0 e 6,0) para extração das antocianinas (metodologia no item 3.2.4). Para avaliar o efeito do tempo de extração e proporção de material de parede:extrato de polpa de açaí na qualidade das microcápsulas, foi utilizado um delineamento composto central rotacional. Os maiores teores de antocianinas nos extratos (520,50 mg cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1}) foram determinados com água em pH 2,0 e relação de polpa:água de 1:2. Na encapsulação do extrato proveniente da polpa de açaí verifica-se que com o aumento do material de parede, há aumento da umidade e cor (C*). Quando aumenta tempo de extração e a proporção de material de parede:núcleo, tem-se uma maior extração de compostos fenólicos. Na microscopia eletrônica por varredura (MEV) o tratamento 1, com tempo de extração de 13 min e proporção de material de parede:núcleo 15,82%, apresentou a melhor estrutura em relação aos demais tratamentos, e o uso de material de parede contribui para maior retenção de antocianinas. As condições escolhidas para obtenção das microcápsulas com melhor potencial para utilização como corante natural são: tempo de extração com ultrassom, de 13 min e proporção maltodextrina: extrato de polpa de açaí de 15,82 %.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, sonicação, cor, compostos fenólicos, antocianinas, atividade antioxidante.

3.1 INTRODUÇÃO

Os açaizeiros pertencem ao gênero *Euterpe*, membros da família *Arecaceae*, destacando-se três espécies: *E. oleracea* “açaí do pará”, *E. precatoria* “açaí do Amazonas” e *E. edulis*. Normalmente as duas primeiras espécies são utilizadas para comercialização (YAMAGUCHI et al., 2015). O Brasil no ano de 2017 produziu 216.071 ton de açaí, porém a produção se concentra no Pará (126.027 ton) e Amazonas (65.638 ton), estados responsáveis por 90% da produção. No ano de 2017, o açaí se destacou como a terceira fruta mais produzida no país (CONAB, 2019).

O açaí é uma fruta tipo baga roxa proveniente da região amazônica brasileira. Com alto valor nutricional, características funcionais e nutraceuticas, esta fruta tem se popularizado e tornou-se altamente consumida no mundo todo. O fruto inteiro, incluindo casca e polpa, é rico em compostos bioativos, e pode ser utilizado na obtenção de extratos com propriedades antioxidantes (FERREIRA et al., 2016). Entre as substâncias bioativas do açaí, se destacam os flavonóides (31%), compostos fenólicos (23%), lignóides (11%) e antocianinas (9%) (DE OLIVEIRA; SCHWARTZ, 2018). As antocianinas constituem o grupo de compostos fenólicos mais importante encontrado no açaí, com destaque para cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3-sambubiosídeo e pelargoidina-3-glicosídeo. O teor destes compostos está relacionado diretamente com a maturação do fruto, logo, é necessário selecionar corretamente o estágio de maturação, a fim de garantir maiores concentrações de compostos fenólicos pós-colheita (YAMAGUCHI et al., 2015).

O açaí é altamente perecível, e uma das alternativas para preservar sua riqueza em compostos bioativos, é por meio do processo de microencapsulação, que é capaz de garantir a estabilidade dos compostos frente à temperatura, pH, luz e oxigênio (YAMASHITA et al., 2017). A microencapsulação é definida como um processo de retenção do agente ativo envolto por um material de parede (MAHDAVI et al., 2014).

Uma das tecnologias de obtenção das microcápsulas mais utilizadas é a liofilização, devido a maior eficiência de encapsulamento, atividade antioxidante e estabilidade das antocianinas (SHARIF; KHOSHNOUDI-NIA; JAFARI, 2020). A liofilização consiste em uma técnica onde ocorre a desidratação das substâncias congeladas por sublimação, e é mais eficiente no encapsulamento de compostos fenólicos, devido ao uso de baixas temperaturas (SOUZA; GURAK; MARCZAK, 2016).

A liofilização tem sido utilizado na microencapsulação de extratos de casca de uva

(KUCK; PELAYO; NOREÑA, 2016), jabuticaba (BALDIN et al., 2016; SOUZA; GURAK; MARCZAK, 2016), subprodutos de amora-preta (YAMASHITA et al., 2017), com boa preservação dos compostos bioativos, estabilidade ao longo do armazenamento, alta retenção das antocianinas e promissores nas aplicações em alimentos. Não há estudos que tenham utilizado a liofilização para encapsular extrato de açaí, apenas polpa de açaí encapsulada (*Euterpe edulis M.*) (MAZUCO et al., 2018) e avaliação das propriedades estruturais e físico-químicas de polpa de açaí liofilizada (OLIVEIRA et al., 2020).

Os materiais de parede necessitam ser de grau alimentício quando aplicados em alimentos, possuir baixa higroscopicidade e biodegradabilidade, formar barreira entre a fase interna e externa devido a formação de filme, além de resistência ao calor (ROCHA et al., 2019). De acordo com Mahdavi e colaboradores (2016), para se ter uma boa eficiência de encapsulação de pós de antocianinas é necessário garantir uma alta retenção dos agentes ativos e quantidades mínimas dos agentes ativos na superfície das partículas em pó.

Os materiais encapsulantes mais usuais são maltodextrina, goma arábica e amido (LABUSCHAGNE, 2019). Maltodextrina é um amido hidrolisado (LAOKULDILOK; KANHA, 2015), com características de baixa higroscopicidade, alto grau de polaridade que contribui para sua alta solubilidade e não influencia o pH do meio, com capacidade de manter a cor original dos compostos encapsulados. Além disso, possui baixa viscosidade, baixo teor de açúcar e, quando em soluções, são incolores (MAHDAVI et al., 2016).

Tonon, Brabet e Hubinger (2008) encapsularam a polpa de açaí por atomização variando a concentração de maltodextrina (10-30%), observando que o aumento desta variável afetou negativamente o rendimento do processo, pois houve aumento da viscosidade da mistura, e também produziu cápsulas maiores. A extração assistida por ultrassom (EAU) é um meio de extração das antocianinas e compostos fenólicos. Essa técnica consiste no rompimento da parede celular dos tecidos vegetais, com transferência dos compostos provocado pela cavitação induzida pelas ondas de ultrassom em um meio líquido (RODRIGUES et al., 2015). Não há dados na literatura sobre a encapsulação com maltodextrina do extrato de açaí, obtido com auxílio de ultrassom, utilizando o método de liofilização.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi variar a quantidade de solvente e pH, na obtenção do extrato da polpa de açaí com maior teor de antocianinas, para produção das microcápsulas. Determinar o efeito das variáveis no processo de microencapsulação, tempo de extração (min) e diferentes concentrações do material de parede no núcleo, na

extração de compostos fenólicos, eficiência de encapsulação, atividade antioxidante, análise colorimétrica e morfologia das microcápsulas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Obtenção da matéria-prima e insumos

A polpa de açaí médio (ou tipo B, 12% de sólidos totais) (Xingu Fruit – Castanhal, Pará, Brasil) (Figura 13), a maltodextrina 9-12 Dextrose Equivalente (DE) (Vogler Ingredientes – São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil) e o ácido cítrico anidro (Cargill® - São Paulo, São Paulo, Brasil) foram gentilmente doadas pela indústria Sorvetes Vilela, localizada na cidade de Ceres, Goiás, Brasil. Todos os reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram da marca Synth®, Neon® e Sigma®, e apresentaram pureza para análise (P.A.).



Figura 13 - Polpa de açaí médio, Xingu Fruit– Castanhal, Pará, Brasil, Safra 2020.

Fonte: (Arquivo pessoal)

3.2.2 Seleção da melhor proporção de solvente (água):polpa de açaí e pH da extração

Ensaio preliminares foram realizados para avaliar a melhor proporção de polpa de açaí:água destilada (1:0,5, 1:2 e 1:3) e pH (2,0; 4,0 e 6,0) para extração das antocianinas

(metodologia no item 3.2.4). Delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 3 x 3 (pH e relação polpa:água) e 3 repetições originais foi utilizado.

3.2.3 Delineamento experimental para a extração das antocianinas e microencapsulação

Para avaliar o efeito do tempo de extração com ultrassom e proporção de material de parede (maltodextrina):extrato de polpa de açaí na qualidade das microcápsulas, foi utilizado um delineamento composto central rotacional (DCCR), com dois fatores e cinco níveis, totalizando 11 experimentos (Tabela 7). A variação do tempo de extração foi definida a partir da condição de operação do equipamento e a proporção material de parede:núcleo, conforme Franceschinis et al. (2014) e Yamashita et al. (2017).

Tabela 7 - Delineamento experimental utilizado para microencapsulação do extrato da polpa de açaí com maltodextrina, variáveis codificadas e seus valores reais (X₁: tempo de extração com ultrassom, X₂: proporção material de parede:núcleo)

Experimento	Variáveis codificadas		Valores reais	
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
T1	-1	-1	13	15,82
T2	1	-1	52	15,82
T3	-1	1	13	44,18
T4	1	1	52	44,18
T5	0	0	32,5	30
T6	0	0	32,5	30
T7	0	0	32,5	30
T8	-1,41	0	5	30
T9	0	+1,41	32,5	50
T10	+1,41	0	60	30
T11	0	-1,41	32,5	10

3.2.4 Extração das antocianinas

A polpa de açaí foi descongelada a 4°C por 24 h. A extração de antocianinas da polpa de açaí foi realizada em um recipiente livre de luz e oxigênio. Para obter o extrato foi utilizado banho de ultrassom (Unique, USC – 1850, Indaiatuba, São Paulo, Brasil), com

frequência de 25 kHz, à temperatura ambiente (Figura 14), com tempo de extração variando conforme delineamento experimental (Tabela 7).

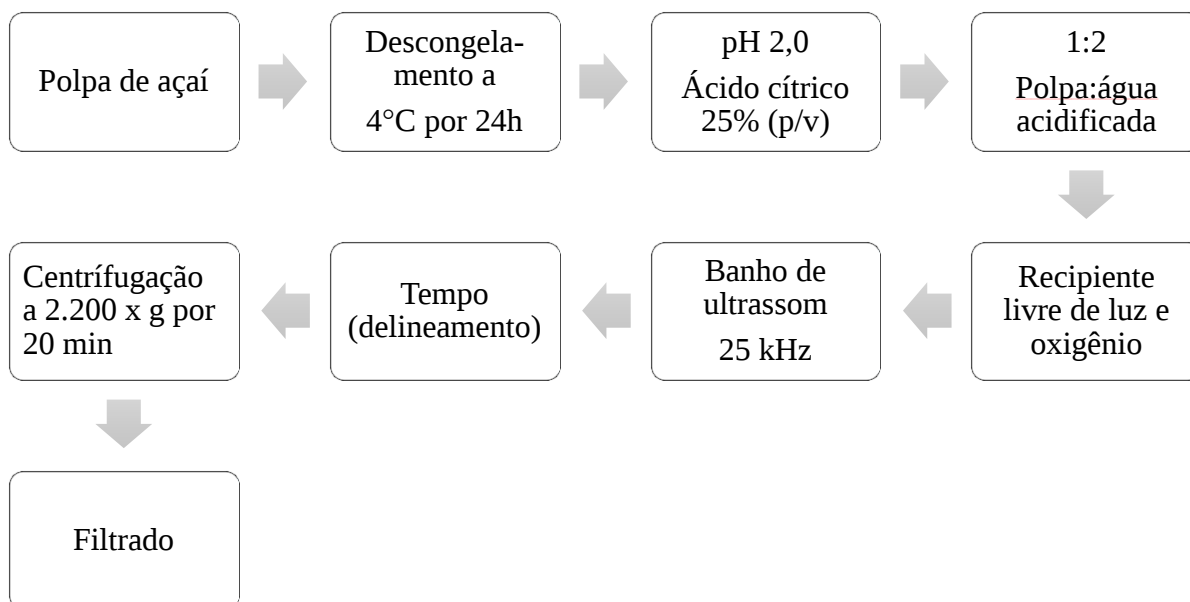


Figura 14 - Fluxograma do processo de extração das antocianinas

Água acidificada (pH 2,0) foi utilizada como solvente na proporção 1:2 polpa de açaí:água (m/v). Para acidificação da água utilizou ácido cítrico 25% (m/v) (LIMA et al., 2019; PASSOS et al., 2015). Após a extração, o extrato foi levado a uma centrífuga (Daiki, DT 4500, China) por 20 min a 2.200 x g. O sobrenadante foi separado e filtrado, e a este foi adicionado o material de parede.

3.2.5 Microencapsulação do extrato da polpa açaí pelo processo de liofilização

Após extração (subitem 3.2.4), o material de parede (maltodextrina 9-12 DE) foi disperso no extrato da polpa de açaí por meio de um agitador magnético (Tecnal, TE-0851, Piracicaba, Brasil), e o material de parede e núcleo foram homogeneizados por aproximadamente 1 h, as proporções material de parede:núcleo foram adicionadas conforme determinadas no delineamento experimental (Tabela 7). As dispersões foram congeladas utilizando um ultracongelador a -80 °C e, em seguida, foram liofilizadas (Liobras, L101, São Carlos, São Paulo) por 48 h. Por fim, as amostras foram trituradas em um almofariz com pistilo e armazenadas em freezer horizontal a -18 °C até a realização das análises (Figura 15). Como resposta para cada um dos ensaios foram determinados: umidade, antocianinas totais,

compostos fenólicos totais, atividade antioxidante pelo método DPPH e por FRAP, eficiência de microencapsulação, parâmetros instrumentais de cor, e a morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

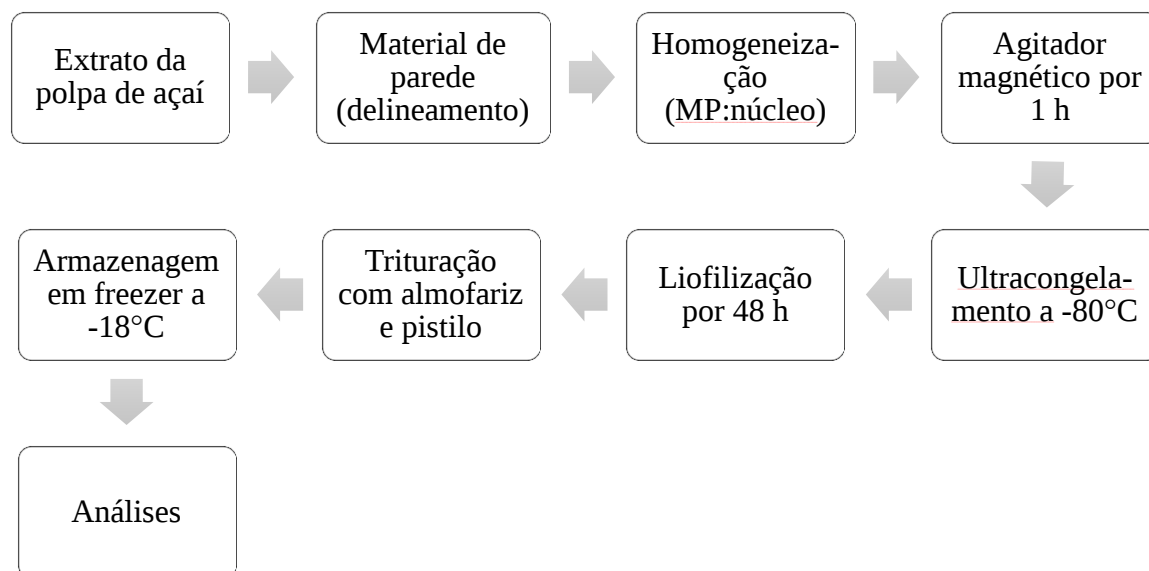


Figura 15 - Fluxograma do processo de microencapsulação dos extratos da polpa de açaí

3.2.6 Ruptura das microcápsulas

As microcápsulas foram rompidas conforme a metodologia descrita por Nori e colaboradores (2011). Uma amostra de microcápsulas foi pesada (0,2 g) e adicionada de 2,0 mL de citrato de sódio a 10% (m/v), e em seguida foi realizado o ajuste de pH 8,0 com solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Em seguida, homogeneizou-se o preparado em um agitador de tubos (Phoenix, AP56, Piracicaba, São Paulo, Brasil) por 2 min, adicionou-se 5,0 mL de álcool etílico P.A., e agitou-se novamente por cerca de 2 min. As cápsulas rompidas foram centrifugadas a 2.200 x g por 20 min. O extrato de microcápsulas rompidas foi analisado em relação ao teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante (DPPH e FRAP), e eficiência de encapsulação.

3.2.7 Métodos analíticos

3.2.7.1 Umidade, pH, acidez titulável e cor

O teor de umidade da polpa e das microcápsulas foi determinado por secagem em estufa a 105 °C, até peso constante, de acordo com a metodologia nº 950.46 da AOAC (2012). A determinação de pH foi realizada em potenciômetro calibrado a 25°C com soluções tampão de pH 4 e pH 7, segundo a AOAC (2012), método nº 943.71. A leitura foi realizada diretamente na polpa de açaí. A acidez total titulável (ATT) foi determinada por volumetria potenciométrica de acordo com o método 312/IV do Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). Amostras de polpa de 5 g foram pesadas, diluídas, homogeneizadas em 100 mL de água destilada por 2 min, e tituladas com solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ até uma faixa de pH (8,2-8,4). A acidez titulável foi calculada de acordo com a Equação 6.

$$\text{Acidez titulável em ácido cítrico} = \frac{V \times F \times M \times PM}{10 \times P \times n} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: V = volume de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ gasto na titulação; F = fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹; M = molaridade da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹; PM = peso molecular do ácido (192 g) e P = número de g da amostra; n = número de hidrogênios ionizáveis (3).

A cor instrumental da polpa e das microcápsulas foram analisadas utilizando um colorímetro (Konica Minolta, BC-10, Osaka, Japão), no sistema Cielab (L*, a* e b*) e calculadas de acordo com as Equação 7 e 8.

$$C^* = [(a)^2 + (b)^2]^{1/2} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\text{Ângulo Hue}(\circ) = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Equação 8})$$

Em que: L* é o grau de luminosidade da cor, a* é o grau de variação entre o verde (-) e o vermelho (+), b* é o grau de variação entre o azul (-) e o amarelo (+), C* é o croma ou

intensidade de cor e o ângulo hue (°) (0° - cor vermelho, 90° - cor amarelo, 180° - cor verde e 270° - cor azul).

3.2.7.2 Compostos fenólicos totais (CFT)

Para a realização das análises de CFT foi utilizado o extrato proveniente da ruptura das cápsulas de acordo com o item 3.2.6. Os CFT das microcápsulas foram determinados de acordo com o método proposto por Waterhouse (2002), utilizando um espectrofotômetro (Bel Spectro, S-2000, Piracicaba, Brasil) a 750 nm. Uma curva padrão de ácido gálico (0 a 100 µg mL⁻¹) foi construída para estimar a concentração de CFT no extrato ($y = 0,0088x - 0,0231$, $R^2=0,9967$), e o resultado foi expresso em mg equivalente ácido gálico por 100 g de microcápsulas.

3.2.7.3 Eficiência de encapsulação

Para determinação da eficiência de encapsulamento, foi realizada a extração dos compostos fenólicos na superfície das microcápsulas (NORI et al., 2011). Pesou-se 0,2 g de microcápsulas e adicionou 2 mL de álcool etílico P.A. Em seguida, a amostra foi homogeneizada em um agitador de tubos e centrifugada a 2.200 x g por 10 min. Logo após, quantificou-se os CFT do sobrenadante no espectrofotômetro, conforme a metodologia descrita no subitem 3.2.7.2, os CFT foram extraídos das cápsulas rompidas conforme o item 3.2.6, e quantificados de acordo com a metodologia descrita no subitem 3.2.7.2. A eficiência de encapsulação foi obtida através da Equação 9.

$$\text{Eficiência de encapsulação(\%)} = \frac{(\text{CFT} - \text{CFS})}{\text{CFT}} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Na qual: CFT = compostos fenólicos totais; CFS = compostos fenólicos da superfície.

3.2.7.4 Atividade antioxidantes das microcápsulas

Para a realização das análises de atividade antioxidante, foi utilizado o extrato proveniente da ruptura das cápsulas de acordo com o item 3.2.6. A atividade antioxidante foi estimada pelo método da captura do radical livre DPPH (2,2 – difenil – 1 – picrilhidrazila), conforme a metodologia de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), modificado por

Borguini (2006). O método foi baseado na medida do grau de descoloração do radical DPPH ($0,05 \text{ mmol.L}^{-1}$) pela atividade de antioxidante, utilizando um espectrofotômetro, a 517 nm. Os extratos foram preparados até uma concentração de $0,2 \text{ mgmL}^{-1}$, obtendo os resultados em % de descoloração utilizando a seguinte Equação 10.

$$\% \text{ descoloração DPPH} = \left[1 - \left(\frac{\text{Absorbância}_{\text{amostra}} - \text{Absorbância}_{\text{branco da amostra}}}{\text{Absorbância}_{\text{controle}}} \right) \right] * 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde: a absorbância da amostra continha apenas amostra e metanol, e absorbância controle apenas metanol e DPPH. Como padrão foi utilizado Trolox a $0,1 \text{ mg.mL}^{-1}$.

Depois de obtido a % descoloração do DPPH, foi expresso em concentração inibitória (IC_{50}), definido como inibição de 50% do radical livre utilizando um antioxidante (HANGUN-BALKIR; MCKENNEY, 2012). Para obter a atividade antioxidante em equivalente trolox, foi utilizada a Equação 11, conforme Xiao e colaboradores (2020).

$$\text{AAET} = \frac{\text{IC}_{50\text{Trolox}}}{\text{IC}_{50\text{Amostra}}} \quad (\text{Equação 11})$$

A atividade antioxidante pelo método de redução do ferro (FRAP) foi efetuada conforme metodologia Rufino e colaboradores (2006), utilizando um espectrofotômetro, a 595 nm. Para obter a curva padrão, foi utilizada solução de sulfato ferroso 2 mM ($500\text{-}2000 \text{ }\mu\text{M}$) e os resultados foram expressos como μmol de sulfato ferroso por g de microcápsula.

3.2.7.5 Antocianinas monoméricas totais da polpa e microcápsulas

A obtenção do extrato da polpa de açaí para realização da análise de antocianinas monoméricas totais foi realizada conforme a metodologia de Albarici, Freitas e Pessoa (2009). Utilizou-se uma relação 1:2 de polpa de açaí:água destilada, a polpa foi agitada por 40 min com agitador magnético. Em seguida, a mistura foi centrifugada a $5512,5 \times g$ por 20 min. As antocianinas totais das microcápsulas foram obtidas conforme Idham, Muhamad e Sarmidi (2012). Amostra de 0,1 g de microcápsulas foi pesada, adicionada de 1 mL de água destilada, e homogeneizada até a destruição da membrana das cápsulas. Em seguida, adicionou-se 9 mL de álcool etílico P.A., e agitou-se por 5 min em um agitador magnético. Após obtenção do extrato da polpa de açaí e ruptura das microcápsulas, a análise de antocianinas monoméricas totais foi realizada conforme metodologia Giusti e Wrolstad (2001) pelo método colorimétrico por diferencial de pH. As medidas de absorbância foram realizadas em um espectrofotômetro

a 520 e 700 nm, os resultados foram expressos em mg de cianidina-3-glicosídeo equivalente 100 g^{-1} , utilizando a Equação 12.

$$\text{Teor de antocianina (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000}{(\epsilon \times 1)} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde: $A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1,0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4,5}$; PM: peso molecular – $449,2 \text{ g mol}^{-1}$; FD: fator de diluição; ϵ : capacidade de absorção molar – $26\,900 \text{ L cm}^{-1}\text{mol}^{-1}$; 1=caminho ótico (cm).

3.2.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As microcápsulas foram espalhadas em fita dupla face de carbono, fixadas sobre um suporte metálico (stub). Posteriormente foram levadas ao sputtering (Denton Vacuum, Desk V, New Jersey, Estados Unidos) para metalização com ouro, com um tempo de deposição sobre a amostra de 120 seg, sob uma corrente elétrica de 15 mA, formando uma camada de 30 nm de espessura. A morfologia das microcápsulas foi observada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Jeol, JSM – 6610, Tóquio, Japão), equipado com EDS (ThermoScientific, NSS Spectral Imagens, Tóquio, Japão), a 1000x de amplitude, operando com 8 kV.

3.2.9 Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados por variância (ANOVA), análise de regressão múltipla e gráficos de superfície de resposta. Os modelos ajustados foram avaliados por meio do coeficiente de determinação (R^2), nível de significância (p) e falta de ajuste (FA). Os dados foram avaliados com o auxílio do software STATISTICA[®] 7.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Ensaio preliminar

Realizou-se testes preliminares com o objetivo de verificar o teor de antocianinas em extratos obtidos em diferentes valores de pHs do solvente, e com diferentes concentrações de polpa de açaí:solvente. Os maiores teores de antocianinas foram encontrados em extratos com solvente em pH 2,0, enquanto os extratos obtidos com pH 4 e 6 não diferiram entre si ($p > 0,05$). Em extratos com pH 2 determinou-se praticamente o dobro de antocianinas em relação aos melhores resultados verificados nos demais valores de pH avaliados. Para pH 4 e 6 a extração de antocianinas foi maior ($p < 0,05$) com a relação de polpa:água de 1:3, seguida de 1:2 (Tabela 8). Diante destes resultados, escolheu-se trabalhar com 1 de polpa de açaí para 2 de água acidificada, devido menor consumo de água.

Tabela 8 - Teor das antocianinas totais monoméricas (mg L^{-1}) em função do pH e da relação polpa de açaí: água

Relação polpa:água	Antocianinas totais monoméricas (mgL^{-1})		
	pH 2,0	pH 4,0	pH 6,0
1:0,5	$435,93 \pm 4,01^{bA}$	$197,91 \pm 3,98^{bB}$	$204,97 \pm 16,64^{bB}$
1:2	$520,50 \pm 9,44^{aA}$	$159,33 \pm 33,71^{cB}$	$191,37 \pm 15,60^{bB}$
1:3	$512,32 \pm 36,78^{aA}$	$252,49 \pm 8,71^{aB}$	$253,83 \pm 24,54^{aB}$

Letras diferentes em uma mesma coluna e maiúsculas na mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$)

O objetivo da acidificação do solvente é aumentar a eficiência de extração das antocianinas e estabilização das mesmas. No entanto, Vieira e colaboradores (2019), acidificando o solvente até pH 2, também não conseguiram atingir maior extração das antocianinas no açaí. Logo, neste trabalho, foi utilizada a combinação de extração com solvente acidificado em banho de ultrassom.

3.3.2 Caracterização da polpa de açaí

Alto teor de umidade (87,77%) foi determinado na polpa de açaí (Tabela 9). O valor obtido foi similar ao teor de umidade (88,34%) reportado por Costa e colaboradores (2018), que também caracterizaram uma amostra de açaí tipo médio, com 11-14% de sólidos totais.

Tabela 9 - Características físico-químicas e cor instrumental da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*)

Característica	Média ± Desvio-padrão
Umidade ¹ (b.u.)	87,77 ± 0,10
pH ²	4,99 ± 0,01
Acidez ³	0,21 ± 0,01
Sólidos solúveis ⁴	4,67 ± 0,21
Luminosidade (L*) ²	23,70 ± 0,94
Croma (C*) ²	8,28 ± 0,38
Ângulo hue (H°) ⁵	19,55 ± 1,04
Antocianinas monoméricas totais ⁶ (b.u)	156,29 ± 7,79

¹%; ²adimensional; ³g ácido cítrico 100 g⁻¹; ⁴°Brix; ⁵(°); ⁶mg cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹

Os valores de pH (4,99), acidez titulável (0,21 g ácido cítrico 100 g⁻¹) e sólidos solúveis (4,67 °Brix) encontrados neste estudo (Tabela 9) foram semelhantes aos reportados por Siqueira e colaboradores (2018) na polpa de açaí, de 5,16; 0,19 g ácido cítrico 100 g⁻¹ e 4,50 °Brix, respectivamente.

A coordenada L* determina o quão claro ou escuro é a amostra, sendo os valores próximos a 0 (preto) e 100 (branco); o ângulo hue próximo a 0° indica uma coloração vermelha e croma (C*) significa saturação, sendo que, quanto mais próximo de zero, menos brilhante, com cores mais apagadas, e menos saturada a amostra (VIEIRA et al., 2019). Neste estudo foi obtido um valor de 23,70 para luminosidade (L*), 19,55° para tonalidade (H°) e 8,28 para croma (C*) (Tabela 9). Lucas, Zambiasi e Costa (2018) obtiveram para polpa de açaí valor de L* 22,17, C* de 3,97, e H° de 15,63, próximos aos obtidos neste estudo. Vieira e colaboradores (2019) em estudo com extratos de diversas frutas e vegetais, encontraram correlação entre L*, C*, H° e o teor de antocianinas, concluindo que, quanto mais baixo o valor de L*, maior o teor de antocianinas.

Silva e demais autores (2016) avaliando polpa congelada de açaí, reportaram um valor de 135,15 mg de cianidina-3-glicosídeo 100g⁻¹ e L* de 27,89, ou seja valor ligeiramente inferior de antocianinas e ligeiramente superior de L*, em relação aos determinados neste estudo (Tabela 9). O que corrobora com a correlação negativa entre L* e o teor de

antocianinas da polpa de açaí, verificada por Vieira et al. (2016). O valor obtido para o teor de antocianinas da polpa de açaí (156, 29 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹) foi menor se comparado aos obtidos nos testes preliminares, isto ocorreu devido ao método de extração ser diferente, pois a extração na caracterização da polpa foi realizada sob agitação (método convencional) usando como solvente a água destilada, enquanto no caso dos testes preliminares, utilizou-se banho de ultrassom e, como solvente, a água acidificada em diferentes pH.

3.3.3 Eficiência de encapsulação, umidade, compostos fenólicos e cor das microcápsulas

Os modelos ajustados para eficiência de encapsulação, umidade, compostos fenólicos, ângulo hue e croma foram significativos ($p < 0,05$), explicando de 70 a 85% das respostas e nestes modelos a falta de ajuste não foi significativa ($FA > 0,05$) (Tabela 10). Os dados experimentais brutos estão apresentados no Apêndice C. Para eficiência de encapsulação, o tempo de extração apresentou efeito linear negativo e efeito positivo da interação entre tempo de extração e proporção de parede:núcleo (Tabela 10). Ao aumentar a proporção de material de parede:núcleo, o tempo de extração não influenciou na eficiência de encapsulação. De maneira inversa, com a redução da proporção de material de parede, o aumento do tempo de extração diminuiu a eficiência de extração. A maior eficiência de encapsulação (97%) ocorreu entre 5 e 10 min de extração sob cavitação e proporção de 10 a 20 de material de parede para 1 de extrato de açaí (Figura 16).

Saikia, Mahnot e Mahanta (2015) encapsularam pela técnica de liofilização o extrato proveniente do resíduo de carambola e encontraram uma eficiência de encapsulação variando de 78-97%, obtendo o menor valor (78%) com proporção de material de parede:núcleo de 10%, e o maior (97%) com a maior proporção (20%), sendo igual a eficiência de encapsulação (97%) obtida neste estudo também com a proporção de 20%.

Tabela 10 - Modelos ajustados para eficiência de encapsulação, umidade, compostos fenólicos, ângulo hue e croma das microcápsulas de extrato de açaí (*Euterpe oleracea*) processadas por liofilização em função do tempo de extração em ultrassom (min) (X_1) e proporção de material de parede e núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato) (%) (X_2)

Parâmetro	Modelo ajustado	Nível de significância (p)	Coefficiente de determinação R^2	Falta de ajuste (FA)
Eficiência de encapsulação ¹	$y = 0,943 - 0,012X_1 + 0,008X_1X_2$	0,01	0,70	0,88
Umidade ¹	$y = 5,21 - 8,16X_2 + 7,42X_2^2 + 4,31X_1X_2$	0,02	0,82	0,12
Compostos fenólicos ²	$y = 895,94 - 460,78X_2 + 206,29X_2^2 + 169,00X_1X_2$	0,04	0,85	0,25
Ângulo Hue(H°) ³	$y = 3,16 - 1,50X_2 + 1,11X_2^2 + 0,91X_1X_2$	0,05	0,80	0,15
Croma (C^*) ⁴	$y = 25,66 + 1,24X_1 + 2,79X_2 - 2,80X_2^2 - 2,06X_1X_2$	0,03	0,84	0,12

¹(%); ²mg ácido gálico equivalente100g⁻¹; ³(°); ⁴adimensional

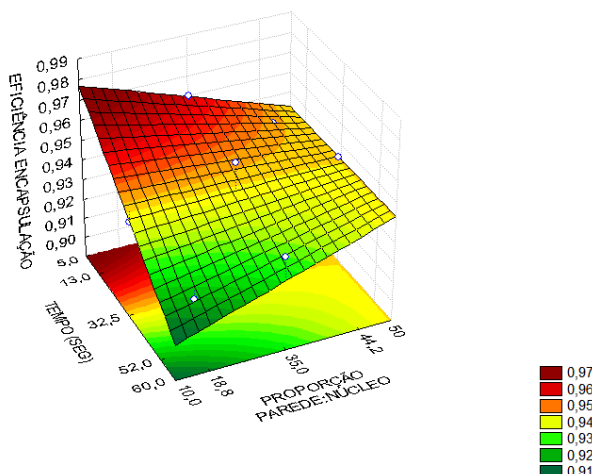


Figura 16 - Eficiência de encapsulação (%) em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%)

Azarpazhooh et al. (2019) extraíram as antocianinas da casca de romã (*Punica granatum* L. variedade *SisheKape-Ferdos*) com uso de etanol acidificado e ultrassom por 10 min com frequência de 24 kHz e obtiveram uma eficiência de encapsulação utilizando o método liofilização de 92,04% (10% de material de parede) e 92,54% (15% de material de parede), atingindo uma eficiência de encapsulação maior que 90% com apenas 10 min de ultrassom, ou seja, baixo tempo no banho de ultrassom é suficiente para romper toda parede vegetal da polpa de açaí. Durante a extração das antocianinas pelo método de ultrassom, a cavitação induz a produção de radicais hidroxila e H_2O_2 , moléculas produzidas devido ao aumento da temperatura durante a sonicação, e estas são ligadas a degradação das antocianinas, pois elas formam chalconas (forma incolor das antocianinas) (TIWARI, et al., 2010). Assim, o tempo de 5 a 10 min são suficientes para extração de antocianinas e compostos fenólicos, sem degradar esses compostos.

A proporção de parede:núcleo afetou de forma linear negativa e quadrática positiva a umidade das cápsulas, assim como a interação tempo de extração com ultrassom e proporção de maltodextrina:extrato (efeito positivo) (Tabela 10). Com as maiores e menores proporções de parede:núcleo, o tempo de extração obteve maior efeito sobre a umidade do que em concentrações intermediárias. Houve aumento da umidade nas microcápsulas com o aumento do tempo de extração acima de 35% da relação parede:núcleo, e o inverso ocorreu em concentrações abaixo de 25%. O teor de umidade variou na faixa de 4,5 a 36%, e os menores teores foram determinados com o tempo de extração com ultrassom abaixo de 13 min de extração com ultrassom e acima de 35% de proporção maltodextrina:extrato (Figura 17A). O

teor de umidade está relacionado à estabilidade, qualidade e composição dos alimentos e esses fatores interferem diretamente no armazenamento, embalagem e processamento. Em estudos realizados por microencapsulação utilizando a técnica de liofilização, Yamashita e autores (2017) obtiveram um teor de umidade de 4,97% utilizando como material de parede maltodextrina 10 DE, e de 5,52% com maltodextrina 20 DE, valores similares aos apresentados neste estudo.

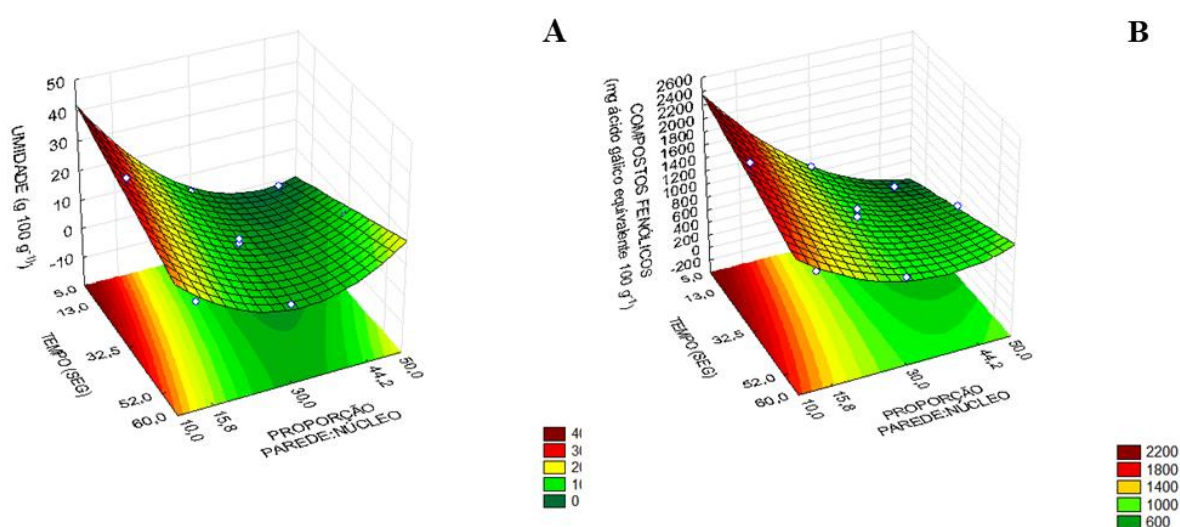


Figura 17 – (A) umidade (%); (B) compostos fenólicos totais (CFT) (mg ácido gálico equivalente.100g⁻¹) em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%)

Laokuldilok e Kanha (2015) encapsularam o extrato proveniente do arroz glutinoso preto por liofilização utilizando como material de parede maltodextrina 10 DE, encontrando um valor de 7,60% de umidade. Souza e colaboradores (2016) também utilizando maltodextrina 10 DE, encontraram um valor de umidade de 2,70%, ligeiramente abaixo do menor valor verificado nesta pesquisa. Portanto, a umidade varia muito conforme as características do núcleo e do material de parede utilizado na microencapsulação.

Em relação aos compostos fenólicos totais (CFT), a proporção material de parede:núcleo apresentou efeito linear negativo e quadrático positivo, e entre tempo de extração e material de parede houve uma interação linear positiva. No gráfico de superfície de resposta para CFT (Figura 17B) foi verificada uma tendência similar a observada para umidade das microcápsulas (Figura 17A). Azarpazhooh et al. (2019) verificaram que com menos material de parede (5%) as microcápsulas apresentaram baixa umidade (4,58%) e,

consequentemente, baixa eficiência (86,57%) e rendimento de encapsulação (88,41%), porém com maior proporção de material de parede (15%), determinaram maior umidade (5,40%), alto rendimento (95,25%) e eficiência (92,54) de encapsulação.

O teor de CFT variou na faixa entre 450 e 2200 mg ácido gálico equivalente 100 g^{-1} , e os maiores valores foram determinados com tempos de extração menores de 25 min e proporção maltodextrina:extrato de polpa de açaí menor que 15% (Figura 17B). Oliveira et al. (2020) reportaram 41,5 mg de ácido gálico equivalente 100 g^{-1} em polpa de açaí liofilizada, valor bem menor que os reportados nesta pesquisa. De acordo com Saikia, Mahnot e Mahanta (2015), com o aumento da maltodextrina (material de parede) o teor de CFT na superfície das cápsulas tende a diminuir, e uma consequência disso é o aumento da eficiência de encapsulação. Porém neste estudo observou-se que uma menor proporção de parede:núcleo resultou em maior teor de CFT encapsulado, consequentemente um menor teor de CFT na superfície, ou seja que não foram encapsulados, e assim uma maior eficiência de encapsulação.

Para as variáveis antocianinas e atividade antioxidante (DPPH e FRAP) não foi possível construir modelos significativos ($p>0,05$), porém, os dados experimentais coletados estão no Apêndice C. O teor de antocianinas das microcápsulas apresentou uma variação de 193,82 a 551,96 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1} , com valores maiores para proporção de material de parede ao redor de 15,82%, independente do tempo de extração, pois com 13 min (543,94 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1}) e 52 min (551,96 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1}). Mazuco e colaboradores (2018) encapsularam o extrato da polpa de juçara (*Euterpe edulis*) por liofilização e encontraram teores de antocianinas de 116,89 e 151,68 (mg de cianidina-3-glicosídeo. 100 g^{-1}), para proporções 2:1 e 2:3 (polpa:material de parede), respectivamente. Neste estudo foi observado que com uma menor proporção de revestimento do núcleo, foi determinado teores mais altos de antocianinas, possivelmente devido a diferença na composição química das duas espécies. Enquanto, Oliveira et al. (2020) determinaram para polpa de açaí liofilizada um teor maior de antocianinas monoméricas (1405,0 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1}), provavelmente devido a ausência da maltodextrina.

Os valores de atividade antioxidante por DPPH das microcápsulas oscilaram entre 96,68 e 159,53 (μmol equivalente g^{-1}). Da Silva e colaboradores (2016) pesquisaram a obtenção do pó de açaí por liofilização, sem material de parede, obtendo como resultado uma valor de 54,99 μmol equivalente g^{-1} . Valor menor do que os obtidos neste estudo, indicando que o material de parede é capaz de reter os compostos bioativos assegurando a alta

capacidade antioxidante do produto. Hipoteticamente as antocianinas podem interferir na análise de DPPH, por apresentarem absorção na mesma faixa de comprimento de onda (500-550 nm), interferindo desta forma nos resultados e, consequentemente, na sua interpretação (SHAHIDI; ZHONG, 2015). Neste trabalho não verificou-se essa interferência, pois quando se obteve o maior teor de antocianinas (551,96 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1}) a atividade antioxidante DPPH foi de $108,64\text{ }\mu\text{mol}$ equivalente g^{-1} , e no caso do menor teor de antocianinas (193,82 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1}) se obteve atividade antioxidante de $114,60\text{ }\mu\text{mol}$ equivalente g^{-1} . O valor da atividade antioxidante FRAP variou de 11,64 a $39,08\text{ }\mu\text{mol}$ de $\text{FeSO}_4\text{g}^{-1}$. Rufino e colaboradores (2010) avaliaram a capacidade antioxidante do extrato do açaí e obtiveram um valor de $32,1\text{ }\mu\text{mol}$ de $\text{FeSO}_4\text{g}^{-1}$, valor dentro da faixa de valores determinados neste estudo (de 11,64 a 39,08) (Apêndice C).

A proporção de maltodextrina:extrato de polpa de açaí exibiu efeito linear negativo e quadrático positivo, e as variáveis tempo de extração com ultrassom e razão parede:núcleo uma interação positiva sobre o ângulo hue (H°) ou tonalidade (Tabela 10). O H° indicou uma cor vermelha (entre 2° e 8°), mais intensa que a polpa de açaí (Tabela 9). Portanto, a maltodextrina contribuiu para uma melhor retenção dos compostos fenólicos encapsulados nas microcápsulas. A cor vermelha mais pura ($H^\circ=2^\circ$) foi determinada com proporção de material de parede maior que 35% e tempo de extração em ultrassom menor que 17 min (Figura 18A), e foi vermelha com um tom pouco mais claro ($H^\circ = 8^\circ$) nas microcápsulas produzidas com relação maltodextrina:extrato entre 5 e 21% e tempo de extração entre 10 e 13 min. O tempo de extração com ultrassom e a proporção de material de parede:núcleo apresentaram efeito linear positivo para a croma (C^*) da cápsulas, efeito quadrático da relação parede:núcleo e da interação entre as duas variáveis, ambos negativos.

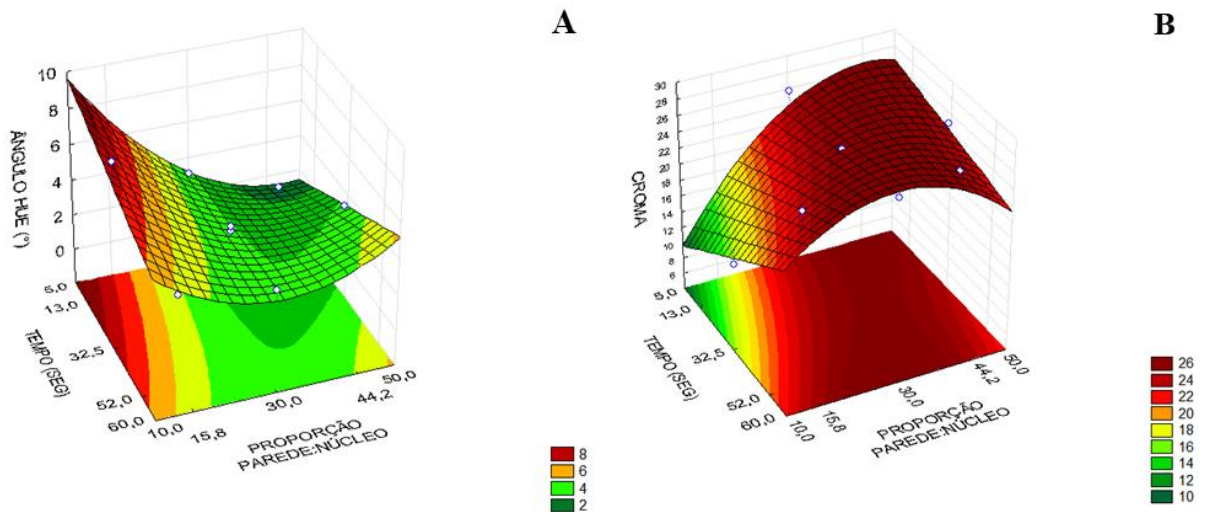


Figura 18 - (A) ângulo hue ($^{\circ}$); (B) croma (C^*) em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%)

O C^* caracteriza a intensidade ou saturação da cor das microcápsulas, e variou entre 10 e 26 (Figura 18B). O menor C^* , obtido com os menores tempos de extração com ultrassom e proporção parede:núcleo avaliados, indicou microcápsulas menos brilhantes (Figura 19). Com o aumento do tempo de extração, foi possível extrair maiores teores de CFT, e mesmo com o aumento do material de parede, as cápsulas obtidas apresentam uma coloração mais intensa.



Figura 19 – Fotografias das microcápsulas do extrato da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*), onde: X_1 : tempo de extração com ultrassom (min); X_2 : proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%)

T1: 13 min; 15,82%; T2: 52 min; 15,82%; T3: 13 min; 44,18%; T4: 52 min; 44,18%; T5, T6 e T7: 32,5 min; 30%; T8: 5 min; 30%; T9: 32,5 min; 50%; T10: 60 min; 30%; T11: 32,5 min; 10%

Lucas, Zambiasi e Costa (2018) liofilizaram a polpa de açaí sem material de parede e como resultado final chegaram a um valor de C^* de 8,15 e ângulo hue de 39,68°. Yamashita e colaboradores (2017) utilizando como material de parede maltodextrina 10 DE para encapsular amora preta obtiveram croma 21,94 e ângulo hue de 0,30, valores similares aos reportados neste estudo. Observa-se que quando se adicionou o revestimento ao núcleo, no caso polpa de açaí, há um aumento de C^* e essa tendência segue conforme o aumento da proporção material de parede:núcleo. Em comparação a polpa de açaí apenas liofilizada, sem incorporação de material de parede há um aumento do H° , maior intensidade de cor se comparada ao extrato da polpa de açaí encapsulado com maltodextrina, logo quando não há adição de material de parede, os compostos bioativos presentes podem facilmente sofrer degradação, devido ao fato de não ter o material de parede que tem como finalidade reter e proteger os compostos bioativos.

3.3.4 Morfologia das microcápsulas

As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura são apresentadas nas Figura 20 e 21, e mostram que todas as microcápsulas apresentaram estruturas irregulares e com fissuras, causadas pela técnica de liofilização e trituração (SOUZA; GURAK; MARCZAK, 2016).

Lucas, Zambiasi e Costa (2018) liofilizaram a polpa de açaí sem material de parede e observaram uma irregularidade morfológica no pó, causada pela ausência de material de parede com consequente falta de proteção a polpa, pois se comparado as micrografias deste estudo, as microcápsulas apresentaram uma estrutura mais lisa, ou seja, uma proteção do composto frente a adição de material de parede.

T1 apresentou a melhor estrutura, apesar de fissuras, livre de poros; os demais tratamentos exibiram formas irregulares, porém alguns com características esponjosas (T3, T4, T6 e T7) e outros com uma rede de gelo na superfície (T2, T5 e T8). A micrografia do T11 mostra formato diferente das demais microcápsulas (Figura 21A e 20B). No entanto, o material de parede (10%) não foi o suficiente para encapsular, apesar de possuir uma maior eficiência de encapsulação, devido ao fato de não ocorrer perdas durante a liofilização e, consequentemente, um maior teor de CFT e baixos CFT na superfície.

3.3.5 Microcápsula de melhor qualidade para ser aplicada como antioxidante natural

As condições de microencapsulação foram escolhidas por meio dos dados coletados objetivando selecionar um produto com máximo teor de CFT. Por meio destes dados, e por não ser possível trabalhar nas condições com o menor nível de material de parede (nível codificado de -1,41 e real 10%), as condições escolhidas para obtenção das microcápsulas de melhor potencial para utilização como corante natural foram: tempo de extração (-1) e proporção material de parede:núcleo (-1), tendo como níveis reais 13 min e 15,82 %.

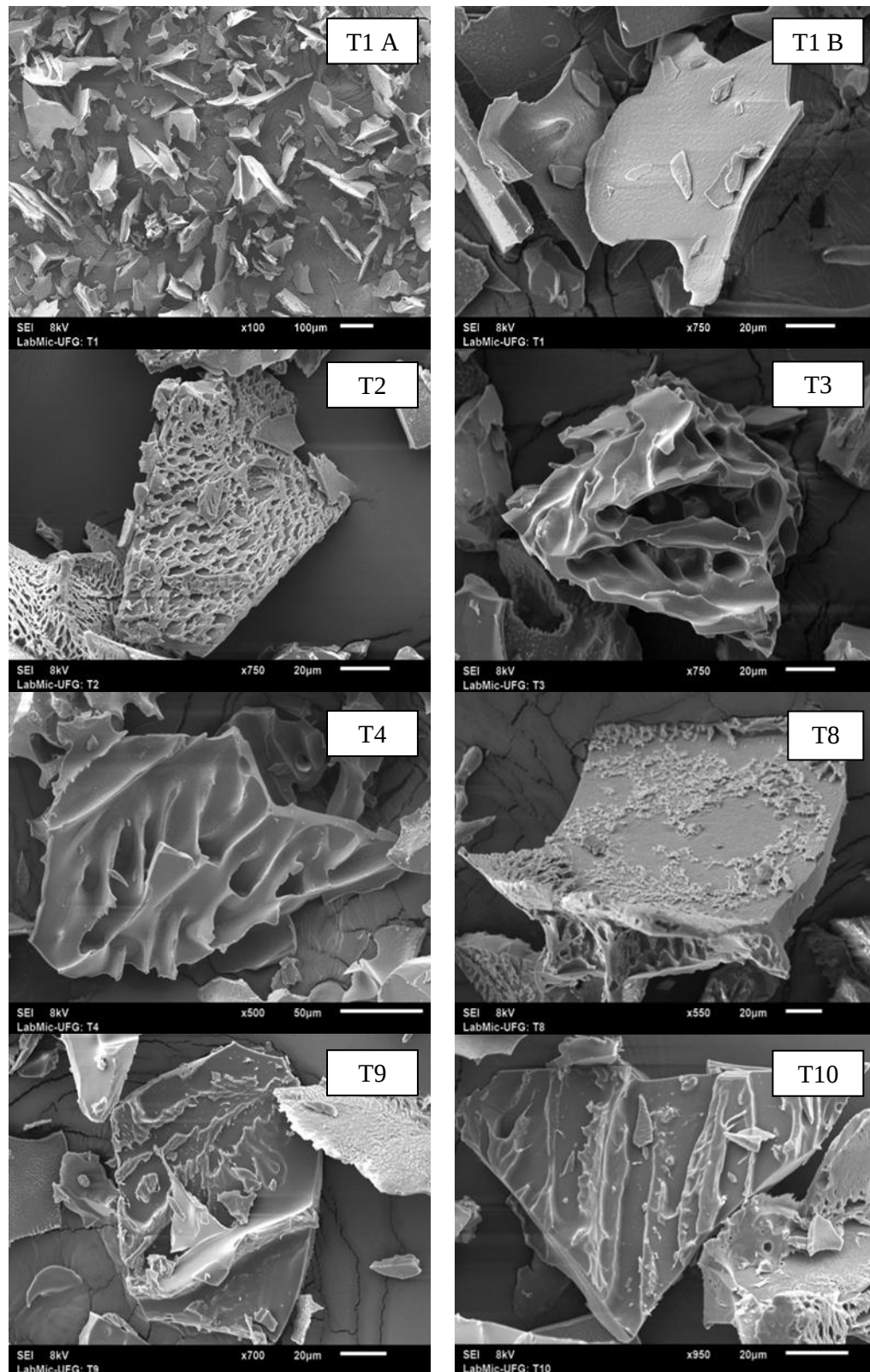


Figura 20 - Micrografias eletrônicas de varredura das microcápsulas em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%).

T1: 13 min; 15,82%; T2: 52 min; 15,82%; T3: 13 min; 44,18%; T4: 52 min; 44,18%; T8: 5 min; 30%; T9: 32,5 min; 50%; T10: 60 min; 30%.

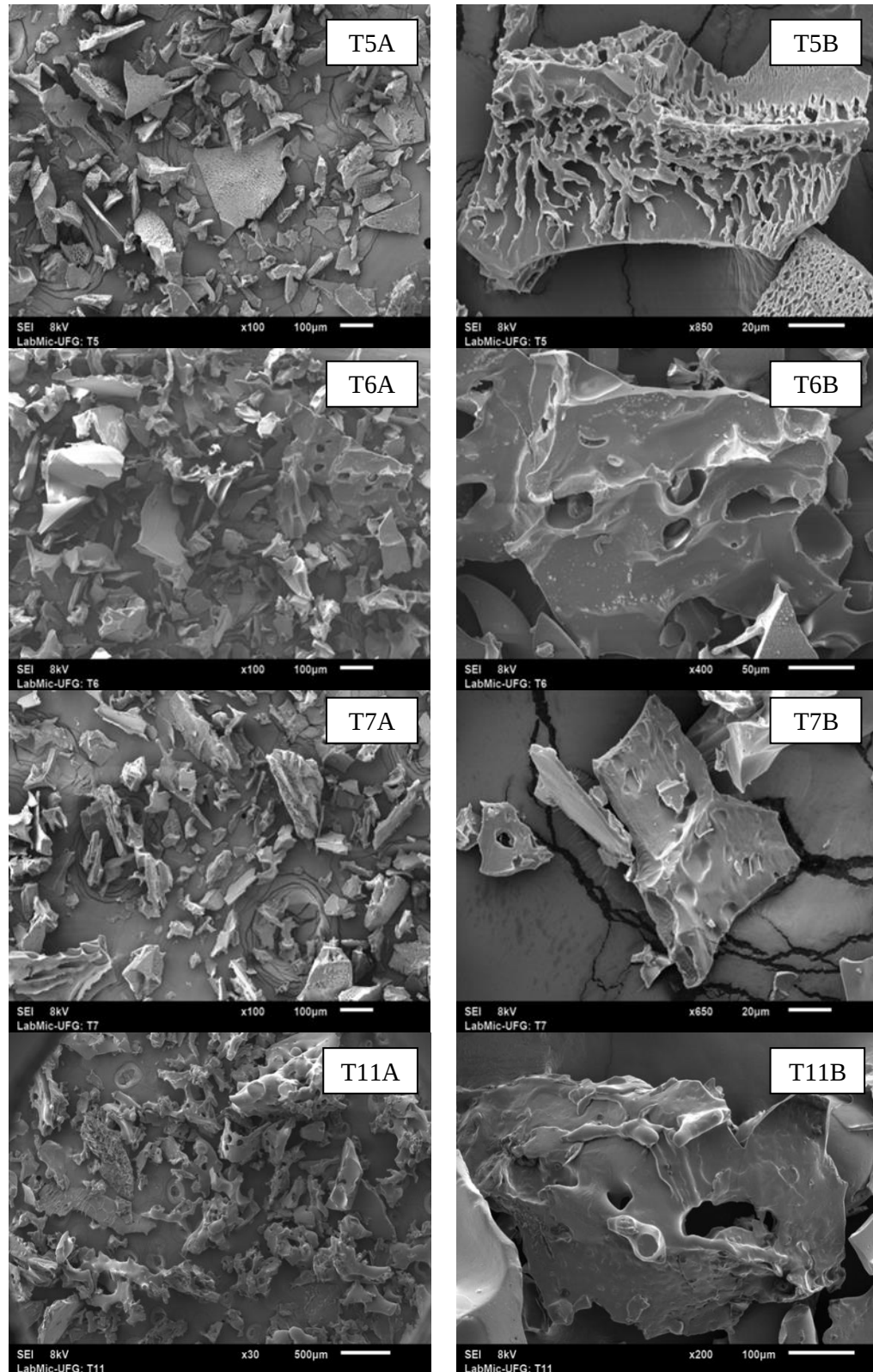


Figura 21 - Micrografias eletrônicas de varredura das microcápsulas em função do tempo de extração no banho de ultrassom (min) e proporção de material de parede:núcleo (maltodextrina DE 9-12:extrato de polpa de açaí) (%).

T5: 32,5 min; 30%; T6: 32,5 min; 30%; T7: 32,5 min; 30%; T11: 32,5 min; 10%.

3.4 CONCLUSÃO

Os maiores teores de antocianinas nos extratos (520,50 mg cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹) foram determinados com água em pH 2,0 e relação de polpa:água de 1:2. Na encapsulação do extrato proveniente da polpa de açaí verificou-se que, com o aumento do material de parede, houve aumento da umidade e cor (C*). Quando houve aumento do tempo de extração e a proporção de material de parede:núcleo, obteve-se uma maior extração de compostos fenólicos. As condições escolhidas para obtenção das microcápsulas com melhor potencial para utilização como antioxidante natural foram: tempo de extração com ultrassom, de 13 min e proporção maltodextrina: extrato de polpa de açaí de 15,82 %, devido maior teor de compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante.

REFERÊNCIAS

ALBARICI, T. R.; FREITAS, D. M. de; PESSOA, J. D. C. Protocolos de análises para polpa de açaí: um guia prático de consulta. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, São Carlos, p. 1 -48, 2009.

AOAC. Association of official analytical chemists. **Official methods of analysis - AOAC International**. 19 th ed. Maryland, USA, 2012.

AZARPAZHOOH, E.; SHARAYEI, P.; ZOMORODI, S.; RAMASWAMY, H. S. Physicochemical and phytochemical characterization and storage stability of freeze-dried encapsulated pomegranate peel anthocyanin and in vitro evaluation of its antioxidant activity. **Food and Bioprocess Technology**, [S.l.], v. 12, p. 199 - 210, 2019.

BALDIN, J. C.; MICHELIN, E. C.; POLIZER, Y. J.; RODRIGUES, I.; DE GODOY, S. H. S.; FREGONESI, R. P.; PIRES, M. A.; CARVALHO, L. T.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; DE LIMA, C. G.; FERNANDES, A. M.; TRINDADE, M. A. Microencapsulated jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity. **Meat Science**, Savoy,, v. 118, p. 15–21, 2016.

BORGUINI, R. G. **Avaliação do potencial antioxidante e de algumas características físico-químicas do tomate (*Lycopersicon esculentum*) orgânico em comparação ao convencional**. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 178, 2006.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, Londres,v. 28, p. 25–30, 1995.

CONAB. Análise mensal - Açaí (fruto) - Maio de 2019. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, p. 5, 2019.

COSTA, H. C. B.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. Physical properties of açaí-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 239, p. 104–113, 1 dez. 2018.

DE OLIVEIRA, M. do S. P.; SCHWARTZ, G. Açaí— *Euterpe oleracea*. In: **Exotic Fruits**. [s.l.] Elsevier, p. 1–5, 2018.

FERREIRA, D. S.; GOMES, A. L.; DA SILVA, M. G.; ALVES, A. B.; AGNOL, W. H. D.; FERRARI, R. A.; CARVALHO, P. R. N.; PACHECO, M. T. B. Antioxidant Capacity and Chemical Characterization of Açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) Fruit Fractions. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 4, n. 5, p. 95–102, 2016.

FRANCESCHINIS, L.; SALVATORI, D. M.; SOSA, N.; SCHEBOR, C. Physical and Functional Properties of Blackberry Freeze- and Spray-Dried Powders. **Drying Technology**, [S.l.], v. 32, p. 197-207, 2014.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, New York, p.

1–13, 2001.

HANGUN-BALKIR, Y.; MCKENNEY, M. L. Determination of antioxidant activities of berries and resveratrol. **Green Chemistry Letters and Reviews**, [S.l.] v. 5, n. 2, p. 147–153, 2012.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IDHAM, Z.; MUHAMAD, I. I.; SARMIDI, M. R. Degradation kinetics and color stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. **Journal of Food Process Engineering**, Essex, v. 35, n. 4, p. 522–542, 2012.

KUCK, L. S.; PELAYO, C.; NOREÑA, Z. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var . *Bordo*) skin phenolic extract using gum Arabic , polydextrose , and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. **Food Chemistry**, Londres, v. 194, p. 569–576, 2016.

LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International**, Essex, v. 107, p. 227–247, 2019.

LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L .) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 405–411, 2015.

LIMA, E. M. F.; MADALÃO, M. C. M.; SANTOS JÚNIOR, W. C. dos; BERNARDES, P. C.; SARAIVA, S. H.; SILVA, P. I. Spray-dried microcapsules of anthocyanin-rich extracts from *Euterpe edulis* M. as an alternative for maintaining color and bioactive compounds in dairy beverages. **Journal of Food Science and Technology**, Amritsar, v. 56, n. 9, p. 4147–4157, 2019.

LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; COSTA, J. A. V. Biocompounds and physical properties of açaí pulp dried by different methods. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 98, p. 335–340, 2018.

MAHDAVI, SAHAR AKHAVAN; JAFARI, SEID MAHDI; ASSADPOOR, ELHAM; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 85, p. 379–385, 2016.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, [S.l.], v. 32, p. 509–518, 2014.

MAZUCO, R. A.; CARDOSO, P. M. M.; BINDACO, E. S.; SCHERER, R.; CASTILHO, R. O.; FARACO, A. A. G.; RUAS, F. G.; OLIVEIRA, J. P.; GUIMARÃES, M. C. C.; ANDRADE, T. U. de; LENZ, D.; BRAGA, F. C.; ENDRINGER, D. C. Maltodextrin and Gum Arabic-Based Microencapsulation Methods for Anthocyanin Preservation in Juçara Palm (*Euterpe edulis Martius*) Fruit Pulp. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 73, n. 3, p. 209–215, 2018.

NORI, M. P.; FAVARO-TRINDADE, C.. S.; ALENCAR, S. M. de; THOMAZINI, M.;

BALIEIRO, J. C. de C.; CASTILLO, C. J. C. Microencapsulation of propolis extract by complex coacervation. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 429–435, 2011.

OLIVEIRA, A. R.; RIBEIRO, A. E. C.; OLIVEIRA, E. R.; GARCIA, M. C.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M. Structural and physicochemical properties of freeze-dried açai pulp (*Euterpe oleracea* M.). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 40, n. 2, p.282–289, 2020.

PASSOS, A. P. da S. dos P.; MADRONA, G. S.; MARCOLINO, V. A.; BAESSO, M. L.; MATIOLI, G. The use of thermal analysis and photoacoustic spectroscopy in the evaluation of maltodextrin microencapsulation of anthocyanins from juçara palm fruit (*Euterpe edulis* Mart.) and their application in food. **Food Technology and Biotechnology**, [S.l.], v. 53, n. 4, p. 385–396, 2015.

ROCHA, J. D. C. G.; DE BARROS, F. A. R.; PERRONE, I. T.; VIANA, K. W. C.; TAVARES, G. M.; STEPHANI, R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, Lausanne, v. 343, p. 317–325, 2019.

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N.; BRITO, E. S. de; SOUSA, A. D.; NARAIN, N. Ultrasound extraction of phenolics and anthocyanins from jabuticaba peel. **Industrial Crops & Products**, Amsterdam, v. 69, p. 400–407, 2015.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Método de Redução do Ferro (FRAP). **Embrapa - (Comunicado Técnico 125)**, Fortaleza, p. 3–6, 2006.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, Londres, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. **Food Chemistry**, Londres, v. 171, p. 144–152, 2015.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, [S.l.], v. 18, p. 757–781, 2015.

SHARIF, N.; KHOSHNOUDI-NIA, S.; JAFARI, S. M. Nano/microencapsulation of anthocyanins; a systematic review and meta-analysis. **Food Research International**, Essex, v. 132, p. 1–18, 2020.

SILVA, L. B. da; ANNETTA, F. E.; ALVES, A. B.; QUEIROZ, M. B.; FADINI, A. L.; SILVA, M. G. da; EFRAIM, P. Effect of differently processed açai (*Euterpe oleracea* Mart.) on the retention of phenolics and anthocyanins in chewy candies. **International Journal of Food Science & Technology**, New Malden, v. 51, n. 12, p. 2603–2612, 2016.

SIQUEIRA, A. P. S.; SANTOS, K. F. dos; BARBOSA, T. A.; FREIRE, L. de A. S.; CAMÊLO, Y. A. Technological differences between açai and juçara pulps and their sorbets.

Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 21, 2018.

SOUZA, A. C. P.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F. Maltodextrin , pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace. **Food and Bioproducts Processing**, Londres,, v. 102, p. 186–194, 2016.

TIWARI, B. K.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P. J.; O'DONNELL, C. P. Effect os ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, Oxford, v. 17, p. 598-604, 2010.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 88, n. 3, p. 411–418, 2008.

VIEIRA, L. M.; MARINHO, L. M. G.; ROCHA, J de C. G.; BARROS, F. A. R.; STRINGHETA, P. C. Chromatic analysis for predicting anthocyanin content in fruits and vegetables. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 39, n. 2, p. 415–422, 2019.

WATERHOUSE, A. L. Determination of total phenolics. **Current protocols in food analytical chemistry**, New York, v. 6, p. I1.1.1-I1.1.8, 2002.

XIAO, F.; XU, T.; LU, B.; LIU, R. Guidelines for antioxidant assays for food components. **Food Frontiers**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 60–69, 2020.

YAMAGUCHI, K. K. DE L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; DA VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, Londres, v. 179, p. 137–151, 2015.

YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; DOS SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 84, p. 256–262, 2017.

Apêndice C - Dados da microencapsulação do extrato da polpa de açaí, eficiência de encapsulação (%), umidade (%), antocianinas, compostos fenólicos, atividade antioxidante (DPPH e FRAP) e análises colorimétricas, onde X₁= tempo de extração (min); X₂= proporção de material de parede:núcleo (%)

Trat.	Valores reais				Variáveis respostas					
	X ₁	X ₂	Lipídeos ¹	Umidade ¹	Antocianinas ²	CFT ³	DPPH ⁴	FRAP ⁵	Ângulo Hue ⁶	C* ⁷
1	13	15,82	92%	7,08 ± 0,16	543,94 ± 26,27	1202,28 ± 31,33	149,87 ± 8,33	32,24 ± 1,65	3,83 ± 0,13	24,28 ± 0,33
2	52	15,82	92%	8,02 ± 0,22	551,96 ± 27,53	919,02 ± 38,01	108,64 ± 0,00	17,24 ± 0,54	3,30 ± 0,15	25,43 ± 0,29
3	13	44,18	95%	5,39 ± 0,06	310,15 ± 13,84	480,30 ± 12,99	111,57 ± 4,63	26,79 ± 0,94	2,40 ± 0,13	24,74 ± 0,44
4	52	44,18	93%	5,55 ± 0,01	292,93 ± 14,84	477,41 ± 11,87	157,26 ± 3,21	36,38 ± 1,97	2,66 ± 0,14	25,15 ± 0,53
5	32,5	30	97%	3,29 ± 0,15	363,92 ± 18,22	1072,35 ± 40,99	159,53 ± 2,14	15,90 ± 0,19	3,59 ± 0,26	24,75 ± 0,33
6	32,5	30	94%	6,08 ± 0,20	349,22 ± 15,38	712,69 ± 25,56	159,53 ± 6,43	39,08 ± 0,04	3,26 ± 0,16	25,29 ± 0,31
7	32,5	30	95%	7,46 ± 0,18	333,14 ± 1,40	950,19 ± 38,11	128,23 ± 3,50	14,67 ± 0,37	3,74 ± 0,17	25,94 ± 0,18
8	5	30	96%	4,32 ± 0,16	221,87 ± 0,62	901,54 ± 42,77	111,82 ± 5,35	13,04 ± 0,22	2,99 ± 0,41	25,86 ± 0,22
9	32,5	50	94%	6,39 ± 0,14	256,70 ± 13,98	735,18 ± 18,00	96,68 ± 3,21	12,38 ± 0,23	3,38 ± 0,10	25,11 ± 0,23
10	60	30	94%	6,19 ± 0,14	193,82 ± 0,34	923,73 ± 45,91	114,60 ± 5,73	11,64 ± 0,19	3,66 ± 0,12	26,44 ± 0,22
11	32,5	10	94%	36,79 ± 2,91	387,85 ± 14,33	2144,18 ± 81,90	147,91 ± 5,55	32,99 ± 0,57	8,38 ± 0,44	14,77 ± 0,74

¹ %; ² mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹; ³ Compostos fenólicos totais (mg ácido gálico equivalente 100 g⁻¹); ⁴ μmol equivalente g⁻¹; ⁵ FRAP (μmol de FeSO₄ /g); ⁶ (°); ⁷ adimensional

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aparas de pirarucu são subprodutos com alto rendimento para elaboração de surimi (77-93%) mesmo após as etapas de lavagem. O aproveitamento das aparas de pirarucu e de grão quebrado de arroz é viável para produção de um surimi com alta qualidade física, química e tecnológica, com potencial uso como ingrediente base para desenvolvimento de diversos produtos reestruturados como fishburger, salsicha, almôndega e nuggets.

No desenvolvimento dos novos produtos devem ser levado em consideração o alto teor de lipídeos encontrado no surimi de aparas de pirarucu, pois este afeta diretamente o processo de geleificação ao aquecer e oxidação lipídica ao longo do armazenamento. Uma das formas de inibir ou retardar a oxidação lipídica em produtos reestruturados, e por meio do uso de antioxidantes.

Neste trabalho foi possível encapsular o extrato da polpa de açaí, com um tempo de extração no EAU de 13 min e proporção de material de parede:núcleo de 15,82%, obtendo altos teores de antocianinas (543,94 mg de cianidina-3-glicosídeo 100g^{-1}), compostos fenólicos totais (1202,28 mg ácido gálico 100g^{-1}) e atividades antioxidantes pelo método DPPH e FRAP, 149,87 μmol equivalente trolox g^{-1} e 32,24 μmol de FeSO_4 g^{-1} , respectivamente; e estes resultados encontrados possibilitam o emprego das microcápsulas do extrato de açaí como antioxidante natural.

Logo, com os resultados obtidos neste trabalho é possível desenvolver um produto reestruturado, a partir do surimi de aparas de pirarucu e este ser adicionado das microcápsulas do extrato da polpa de açaí como um antioxidante natural com o objetivo de inibir a oxidação lipídica do produto a ser formulado.