

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÔNICA IKEDA

COMPOSTOS BIOATIVOS E PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DO  
MATERIAL AMILÁCEO E FARINHAS DA SEMENTE DO ACHACHAIRU (*Garcinia  
humilis* (Vahl) C. D. Adam)

CURITIBA PR

2021

MÔNICA IKEDA

COMPOSTOS BIOATIVOS E PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS  
DO MATERIAL AMILÁCEO E FARINHAS DA SEMENTE DO ACHACHAIRU  
(*Garcinia humilis* (Vhal) C. D. Adam)

Tese apresentada como requisito à obtenção do grau de Doutora em Engenharia de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosemary Hoffmann Ribani

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

I26c

Ikeda, Mônica

Compostos bioativos e propriedades químicas e físicas do material amiláceo e farinhas da semente do achachairu (*Garcinia humilis* (Vahl) C. D. Adam) [recurso eletrônico] / Mônica Ikeda. – Curitiba, 2021.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, 2021.

Orientador: Rosemary Hoffmann Ribani .

1. Farinhas. 2. Compostos fenólicos. 3. Fibras. 4. *Garcinia humilis*. I. Universidade Federal do Paraná. II. Ribani, Rosemary Hoffmann. III. Título.

CDD: 664.726

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
ALIMENTOS - 40001016019P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MÔNICA IKEDA** intitulada: **Compostos Bioativos e Propriedades Químicas e Físicas do Material Amiláceo e Farinhas da Semente do Achachairu (Garcinia humilis (Vahl) C. D. Adam)**, sob orientação da Profa. Dra. ROSEMARY HOFFMANN RIBANI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 24 de Setembro de 2021.

Assinatura Eletrônica  
28/09/2021 08:46:25.0

ROSEMARY HOFFMANN RIBANI  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
29/09/2021 15:07:17.0

SUELEN ÁVILA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ -  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO)

Assinatura Eletrônica  
28/09/2021 13:56:06.0

ROBERTA LETICIA KRUGER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica  
28/09/2021 08:47:41.0

CRISTIANE VIEIRA HELM

Avaliador Externo (EMBRAPA FLORESTAS)

Assinatura Eletrônica  
28/09/2021 15:57:32.0

AGNES DE PAULA SCHEER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

---

Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3232 - E-mail: posalim@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 114575

**Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 114575**

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento. Esta palavra ganhou um novo valor nestes tempos pandêmicos. A gratidão incorporou nossos sentidos e se fez presente em cada conforto emocional. Estar vivo se tornou motivo para agradecer, a vida de quem amamos virou prioridade, cada dia com saúde foi celebrado silenciosamente em um misto de alívio e medo. A nova rotina forçada escancarou o que e quem importa, jogou em nossas caras a fragilidade vital, o quão pequenos somos e, acima de tudo, mostrou a nossa força. Força esta que nos manteve em pé e também nos permitiu desabar.

Neste cenário, concluir uma etapa é um fato para comemorar e agradecer. Agradecer cada gesto, cada existência, cada ser que contribuiu para que eu não desmoronasse junto ao caos que dominou nossa morada.

À minha família quero registrar um agradecimento especial, pois são os principais responsáveis por eu chegar até aqui. Obrigada pelo suporte e apoio constante, por compreenderem cada escolha minha, confiarem no que eu acredito e por estarem comigo em qualquer situação. À Magali, ao Dudu e toda a categoria que representam, agradeço a companhia, o amor sincero e a parceria infinita.

Aos amigos que o universo me deu agradeço por me permitirem compartilhar a minha história, por compartilharem também as histórias de vocês, por me ouvirem e me ajudarem sempre. Tenho a sorte de poder colecionar pessoas boas no meu caminho, inclusive arrisco dizer que tive o privilégio de encontrar a minha metade nesta vida, cuja existência eu agradeço em toda oportunidade, mesmo sabendo que o sentimento já fala por si só.

Aos amigos da antiga Granotec, obrigada pela leveza que trouxeram aos meus dias de trabalho, pelo apoio nos meus estudos, por ouvirem as minhas teorias e pela credibilidade que sempre me deram.

Gratidão eterna ao grupo dos bioativos, que não abriram a mim apenas o laboratório, mas também suas histórias, suas casas, suas vidas e seus corações.

Ao meu parceiro de vida, incluso no grupo acima, obrigada por ser tudo isso que é por mim; por nós. Por me entender (quase) mais do que eu mesma e me ajudar a ser melhor.

Agradeço também aos demais grupos de pesquisa do PPGEAL, onde conheci pessoas maravilhosas que transformaram a minha breve jornada pelas usinas em momentos saudosos.

Um muitíssimo obrigada à minha orientadora, que me acolheu em meio ao andamento do doutorado, agradeço pela confiança no meu trabalho e por você ser este ser humano incrível, que nos enxerga como pessoas e não apenas orientandos, que nos compreende e nos motiva, que torce por nós.

Às garotas convidadas para a banca e suplência de banca, registro o meu muito obrigada pela prontidão de resposta, disponibilidade, receptividade positiva e atenção ao meu trabalho.

Gratidão imensa também à coordenação do PRONATEC/MEDIOTEC-PB e aos meus alunos do curso técnico em confeitaria, com quem tenho o prazer de trabalhar e, embora esteja na função de ensinar, estou ganhando aprendizados e inspirações que levarei para toda a minha vida.

Aos colaboradores que contribuíram com dados analíticos realizados no Setor de Toxicologia – Departamento de Farmácia (UFC) e na Universidade Federal de Goiás, agradeço o tempo que disponibilizaram, a atenção, a abertura de espaço e o apoio à minha pesquisa.

Agradeço também ao programa de pós-graduação em engenharia de alimentos e aos departamentos de nutrição (em especial ao técnico do laboratório da graduação), farmácia (em especial à técnica do laboratório de análise geral), química e física da UFPR pelo suporte e abertura para análises.

Obrigada ao produtor de achachairu e à Epagri de Corupá que me receberam, auxiliaram e forneceram os frutos para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior sou grata pelo auxílio financeiro nos períodos em que precisei.

Neste momento, talvez os meus agradecimentos não caibam em palavras, mas deixo esse registro na tentativa de expressar que muitas vezes não nos damos conta que a nossa existência pode fazer a diferença e mudar o rumo do próximo. Obrigada a todos que de alguma forma me possibilitaram estar aqui.

Façamos o nosso melhor nesta breve participação que é a vida.

“Tudo pode ser, só basta acreditar  
Tudo que tiver que ser, será”.  
(MASSADAS, P. e SULLIVAN, M., 1990)

## RESUMO

O achachairu (*Garcinia humilis*) é um fruto exótico, cultivado também no Brasil devido à facilidade de adaptação ao clima tropical, característico do país. A espécie demonstra componentes atrativos em termos nutricionais e farmacológicos, com destaque para a semente do fruto, cuja composição conta com a Gutiferona-A, composto promissor relacionado a efeitos analgésicos e antiúlceros. Mediante ao estudo deste resíduo, como é tratada a semente, pode-se afirmar que seu potencial bioativo se apresenta superior quando comparado com a própria polpa, parte que detém maior foco de consumo atualmente. Na caracterização das farinhas de semente de achachairu verificou-se um elevado valor de fibras alimentares, com concentrações em torno de 30 g.100g<sup>-1</sup>, em diferentes estádios de maturação do fruto. Outro atributo identificado foi referente aos compostos fenólicos totais, que indicaram valores entre 878 e 957 mg GAE.100g<sup>-1</sup>, cujos teores podem ser considerados altos em comparação com outras matrizes ditas antioxidantes. Esta quantificação foi fundamentada pela verificação da presença de compostos bioativos nas farinhas, cujos perfis detectaram quatro ácidos fenólicos (gálico, *m*-cumárico, ferúlico e vanílico), três flavonoides (catequina, hesperetina e rutina) e um alcaloide (quinina). Além disso, o suposto conteúdo de amido inerente às sementes sugeriu possibilidades de aplicação no setor alimentício. Neste sentido, uma das lacunas identificadas na caracterização das farinhas foi a viabilidade de extração amilácea, cujo resultado demonstrou propriedades favoráveis provenientes dos materiais obtidos por diferentes técnicas. Um dos principais atributos identificados foi a classificação dos amidos como *high-amilose*, devido à alta concentração de amilose aparente, resultante acima de 50% para o estágio maduro. Esta característica possibilita o direcionamento de aplicação dos materiais obtidos na elaboração de ingredientes. A caracterização da semente de achachairu, em diferentes estádios de maturação, permitiu identificar atributos que valorizam a espécie e contribuem com o desenvolvimento de novos produtos. O presente estudo também oportunizou a investigação acerca de uma parte subutilizada do achachairu, permitindo assim uma maior visibilidade para o fruto, visto que há poucos dados científicos desta matriz.

Palavras-chave: *Garcinia humilis*, maturação, extração, *high-amilose*, compostos fenólicos, fibras.

## ABSTRACT

The achachairu (*Garcinia humilis*) is an exotic fruit, also cultivated in Brazil due to its easy adaptation to the tropical climate, characteristic of the country. The species demonstrates attractive components in nutritional and pharmacological terms, with emphasis on the seed of the fruit, whose composition includes Gutifferone A, a promising compound related to analgesic and antiulcer effects. Through the study of this residue, how the seed is treated, it can be said that its bioactive potential is superior when compared to the pulp itself, part that has the greatest focus of consumption today. In the characterization of achachairu seed flours, a high value of dietary fiber was verified, with concentrations around 30 g.100g<sup>-1</sup>, at different stages of fruit maturation. Another attribute identified was related to the total phenolic compounds, which indicated values between 878 and 957 mg GAE.100g<sup>-1</sup>, whose contents can be considered high compared to other so-called antioxidant matrices. This quantification was based on the verification of the presence of bioactive compounds in the flours, whose profiles detected four phenolic acids (gallic, m-coumaric, ferulic and vanillic), three flavonoids (catechin, hesperetin and rutin) and an alkaloid (quinine). Furthermore, the supposed starch content inherent in the seeds suggests possibilities for application in the food sector. In this sense, one of the gaps identified in the characterization of the flours was the feasibility of extracting starch, the result of which showed favorable properties from the materials obtained by different techniques. One of the main attributes identified was the classification of starches as high-amylose, due to the high concentration of apparent amylose, resulting in above 50% for the mature stage. This feature makes it possible to direct the application of the materials obtained in the preparation of ingredients. The characterization of the achachairu seed, at different stages of maturation, allowed the identification of attributes that value the species and contribute to the development of new products. The present study also provided an opportunity to investigate an underused part of the achachairu, thus allowing greater visibility for the fruit, as there is little scientific data on this matrix.

Keywords: *Garcinia humilis*, ripening, extraction, *high-amylose*, phenolic compounds, fiber

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁRVORE DE ACHACHAIRU ( <i>G. humilis</i> ).....	26
FIGURA 2. ACHACHAIRU MADURO ( <i>G. humilis</i> ).....	27
FIGURA 3. CASCA DO ACHACHAIRU MADURO ( <i>G. humilis</i> ) .....	28
FIGURA 4. POLPA DO ACHACHAIRU MADURO ( <i>G. humilis</i> ).....	29
FIGURA 5. SEMENTE DO ACHACHAIRU ( <i>G. humilis</i> ) .....	29
FIGURA 6. NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO RELACIONADAS AOS TERMOS GARCINIA HUMILIS E ACHACHAIRU .....	31
FIGURA 7. ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE PRESENTES EM PUBLICAÇÕES SOBRE OS TERMOS GARCINIA HUMILIS E ACHACHAIRU .	40
FIGURA 8. FRUTOS E RESPECTIVAS FARINHAS DE SEMENTE MADURA (MA), MEDIAMENTE MADURA (MMA) E IMATURA (IM) .....	62
FIGURA 9. CURVAS DE TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG) DAS FARINHAS DE SEMENTE EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .	67
FIGURA 10. CURVAS DE CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .	70
FIGURA 11. CARACTERIZAÇÃO VIA DRX DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .....	72
FIGURA 12. MICROGRAFIAS DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES DIMENSÕES (1500, 3000 E 6000 VEZES) E ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .	74

FIGURA 13. CARACTERIZAÇÃO VIA FTIR DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .....	75
FIGURA 14. AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	88
FIGURA 15. MICROGRAFIAS DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) E EM DUAS DIMENSÕES (1500 E 4500 VEZES).....	95
FIGURA 16. MICROGRAFIAS DOS GRÂNULOS DE AMIDO COM ALTO TEOR DE AMILOSE .....	96
FIGURA 17. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	97
FIGURA 18. CURVAS DE TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	99
FIGURA 19. CURVAS DE CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	103
FIGURA 20. CURVAS DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO INFRAVERMELHA (FTIR) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	107
FIGURA 21. ESPECTRO NA REGIÃO INFRAVERMELHA DO AMIDO DE BATATA .....	108

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. PAÍSES E PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES COM REGISTRO DE PUBLICAÇÕES SOBRE OS TERMOS GARCINIA HUMILIS E ACHACHAIRU .....	32
TABELA 2. AUTORES, FATOR DE IMPACTO, PRINCIPAL FOCO DE ESTUDO, PARTE DA FRUTA ESTUDADA E NÚMERO DE CITAÇÕES DAS REVISTAS COM PUBLICAÇÕES REGISTRADAS REFERENTES AOS TERMOS GARCINIA HUMILIS E ACHACHAIRU .....	35
TABELA 3. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA) .....	57
TABELA 4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE MOLHABILIDADE E HIGROSCOPICIDADE DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA).....	60
TABELA 5. PARÂMETROS DE COR DAS FARINHAS DE SEMENTES DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA) .....	62
TABELA 6. CONTEÚDO DE FENÓLICOS TOTAIS (TPC) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS FENÓLICOS DA FARINHA DE SEMENTES DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA) POR DPPH, ABTS, FRAP.....	64
TABELA 7. COMPOSTOS BIOATIVOS IDENTIFICADOS NA FARINHA DE SEMENTES DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA) VIA UPLC .....	65
TABELA 8. PARÂMETROS RESULTANTES DAS CURVAS DE TG E DTG DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .	68

TABELA 9. PARÂMETROS RESULTANTES DE CURVAS DE DSC DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO).....	70
TABELA 10. PARÂMETROS RESULTANTES DAS CURVAS DE DRX DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO) .	72
TABELA 11. RENDIMENTO MÉDIO DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	89
TABELA 12. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E TEOR DE AMIOSE APARENTE DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	90
TABELA 13. CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL (CFT) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELOS ENSAIOS DPPH, ABTS E FRAP DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	92
TABELA 14. CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL (CFT) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELOS ENSAIOS DPPH, ABTS E FRAP DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	94
TABELA 15. TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	100
TABELA 16. CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	104
TABELA 17. PARÂMETROS RESULTANTES DAS CURVAS DE VISCOSIDADE DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) .....	105

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

IM	- Imaturo
MMA	- Mediamente maduro
MA	- Maduro
AN	- Amido neutro
AAC	- Amido ácido
AAL	- Amido Alcalino
ABTS	- 2,2-azino-bis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico
DPPH	- 1,1-dienil-2-picrilhidrazila
FRAP	- Ferric Reducing Antioxidant Power
UPLC-DAD	- Ultra performance liquid chromatography coupled with diode array detection
TG	- Termogravimetria
DTG	- Termogravimetria derivada
DSC	- Differential scanning calorimetry
DRX	- Difractometria de raio X
MEV	- Microscopia eletrônica de varredura
FTIR	- Fourier transform infrared

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	19
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	21
2.1. OBJETIVO GERAL .....	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
2.2.1. Capítulo 1 .....	21
2.2.2. Capítulo 2 .....	21
2.2.3. Capítulo 3 .....	21
<b>CAPÍTULO 1 – REVISÃO DA LITERATURA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: ACHACHAIRU (<i>Garcinia humilis</i>)</b> .....	23
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2. ACHACHAIRU (<i>Garcinia humilis</i>)</b> .....	26
<b>3. MÉTODO DE REVISÃO BIBLIOMÉTRICA</b> .....	30
<b>4. DADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA</b> .....	31
4.1. INFORMAÇÕES CRONOLÓGICAS E GEOGRÁFICAS .....	31
4.2. CATEGORIAS DE PUBLICAÇÃO E PRINCIPAIS RESULTADOS .....	33
4.3. CO-OCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVES .....	39
<b>5. TENDÊNCIAS DE ESTUDO SOBRE O ACHACHAIRU</b> .....	41
5.1. SEMENTE COMO COPRODUTO.....	42
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO</b> .....	44
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	46
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	49
2.1. MATERIAL .....	49
2.1.1. Frutas - Achachairu .....	49
2.1.2. Preparo das farinhas .....	50
2.2. MÉTODOS .....	50
2.2.1. Composição centesimal .....	50
2.2.2. Detecção de glicosídeo cianogênico .....	50
2.2.3. Propriedades físicas .....	51
2.2.4. Atividade antioxidante .....	52
2.2.5. Compostos bioativos via UPLC-DAD .....	54

2.2.6. Propriedades térmicas.....	55
2.2.7. Propriedade estrutural.....	55
2.2.8. Morfologia.....	56
2.2.9. Espectroscopia de absorção infravermelha (FTIR) .....	56
2.2.10. Análise estatística .....	57
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
3.1. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	57
3.2. DETECÇÃO DE GLICOSÍDEO CIANOGENICO.....	59
3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS .....	60
3.3.1. Higroscopicidade e molhabilidade .....	60
3.3.2. Cor.....	61
3.4. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	63
3.5. COMPOSTOS BIOATIVOS.....	65
3.6. PROPRIEDADES TÉRMICAS .....	67
3.6.1. Termogravimetria (TG) e termogravimetria derivada (DTG).....	67
3.6.2. Calorimetria exploratória diferencial (DSC) .....	69
3.7. PROPRIEDADE ESTRUTURAL .....	72
3.7.1. Difractometria de raio X (DRX).....	72
3.8. MORFOLOGIA.....	73
3.8.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....	73
3.9. ESPETROSCOPIA DE ABSORÇÃO INFRAVERMELHA (FTIR).....	75
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO 3 – EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO PRESENTE NA FARINHA DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>80</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>81</b>
2.1. MATERIAL .....	81
2.2. MÉTODOS .....	82
2.2.1. Extração e rendimento de amido.....	82
2.2.2. Composição centesimal e teor de amilose .....	84
2.2.3. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante .....	85
2.2.4. Morfologia.....	85
2.2.5. Difractometria de raio X (DRX).....	85

2.2.6. Propriedades térmicas.....	86
2.2.7. Viscosidade de pasta .....	86
2.2.8. Espectroscopia de absorção infravermelha (FTIR) .....	86
2.2.9. Análise estatística .....	87
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>87</b>
3.1. EXTRAÇÃO E RENDIMENTO DE AMIDO.....	87
3.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E TEOR DE AMILOSE.....	90
3.3. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	92
3.4. MORFOLOGIA .....	94
3.5. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX) .....	97
3.6. PROPRIEDADES TÉRMICAS .....	98
3.6.1. Termogravimetria (TG) e termogravimetria derivada (DTG).....	98
3.6.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	102
3.7. VISCOSIDADE DE PASTA .....	105
3.8. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO INFRAVERMELHA (FTIR) .....	107
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>109</b>
<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>110</b>
<b>CONTRIBUIÇÕES FUTURAS .....</b>	<b>111</b>
REFERÊNCIAS.....	112

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O consumo de frutas encontra-se em gradual crescimento devido, principalmente, ao reconhecimento que a ingestão destas trazem benefícios à saúde. Entretanto, os atributos sensoriais também são atrativos que contribuem com o apelo nutricional e terapêutico destes produtos (AYALA-ZAVALA et al., 2011; SILVA et al., 2014). Diante disso, a ingestão de frutas e hortaliças é popularmente recomendada para fins preventivos contra doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes tipo II, obesidade, alguns tipos de câncer, síndrome metabólica, doenças cardiovasculares, inflamatórias, intestinais, entre outras (ANDERSON e WATERS, 2013; HABAUZIT e MORAND, 2012; KUNDU e SURH, 2013; LEVER et al., 2014; SLAVIN e LLOYD, 2012).

As frutas normalmente exibem uma concentração elevada de vitaminas, sais minerais e fibras alimentares. Estes constituintes são responsáveis por proporcionar benefícios à saúde relacionados com o aumento da expectativa de vida, maior disposição, prevenção de patologias e ganho de vitalidade. Neste contexto, pode-se incluir as frutas exóticas como uma fonte alternativa diversificada na dieta (LORENZI e LACERDA, 2006).

O cultivo de frutas exóticas representa uma opção para o complemento da renda familiar de pequenos produtores, bem como um potencial investigativo quanto à identificação de novas oportunidades comerciais. Contudo, para atingir popularidade no mercado, a fruta necessita de propriedades que satisfaçam o paladar da população, além de deter atributos de qualidade relacionados com os parâmetros físico-químicos do produto (LIMA et al., 2012). Diante deste cenário, destaca-se o achachairu, um fruto pertencente ao gênero *Garcinia*, espécie *humilis*, original da Bolívia, que se mostra promissor devido sua qualidade sensorial (NUNES, 2004). Embora seja nativamente boliviano, o achachairu é amplamente cultivado no Brasil mediante sua fácil adaptação ao clima tropical e subtropical, apresentando registros de plantio em diferentes regiões brasileiras. Em média, cada árvore produz de 2 a 3 mil frutos por ano, totalizando um rendimento em torno de 12,5 mil a 18,5 mil kg por hectare (SOPRANO, 2011). Contudo, a disponibilidade de suas características e propriedades ainda é limitada em literatura (BARBOSA e ARTIOLI, 2007; SOPRANO e KOLLER, 2008).

Em seu país de origem, o achachairu é bastante apreciado devido suas características sensoriais, porém trata-se de um produto sazonal, de safra curta, disponível no mercado entre os meses de fevereiro a abril. Mediante sua demanda limitada, há expectativas no aumento de produção para difundir sua aplicabilidade em indústrias alimentícias. O objetivo de industrialização e exportação do fruto visa manter os benefícios nutricionais e antioxidantes encontrados no produto *in natura*, formato no qual é comercializado de modo abrangente (NUNES, 2004; IBCE, 2010).

Tanto a planta quanto o fruto possuem poucos registros em literatura. Nos estudos encontrados, BAGATTOLI et al. (2016) e TOME et al. (2019) destacaram o potencial nutricional, antioxidante e a carga mineral presentes no fruto. Já BARROS et al. (2017) identificaram compostos bioativos, enquanto que TERRAZAS et al. (2013) sugeriram que o fruto contempla diferentes funções no organismo, tais como ação cicatrizante, digestiva, laxante, atuando também no combate ao reumatismo, úlcera gástrica e inflamação. Além disso, tanto as folhas quanto os frutos apresentam alguns compostos biflavonoides e fenólicos relacionados com atividades imunotóxicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e anticancerígenas (CURY et al., 2016).

Neste contexto, a semente de achachairu, vista como um resíduo resultante da comercialização do fruto *in natura*, possui características benéficas ao organismo em termos farmacológicos, sendo, portanto, potencial a ser explorado também quanto à sua carga nutricional e capacidade funcional na indústria alimentícia. Outro atributo identificado na semente de achachairu é referente ao seu conteúdo de carboidratos, sugerindo a possibilidade de concentração amilácea elevada (PIMENTEL, 2012). Esta composição pode ser uma alternativa comercial, uma vez que o setor produtivo se encontra em constante busca por novos ingredientes que apresentem características e estruturas distintas, dentre estes destacam-se os amidos não convencionais, com diferenciais em aplicabilidade frente aos amidos convencionais (BARBOSA, 2013; KIM et al., 1995).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Caracterizar as farinhas, em diferentes estádios de maturação, e o material amiláceo obtidos da semente do achachairu.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

#### 2.2.1. Capítulo 1 – Revisão da Literatura e Análise Bibliométrica: Achachairu (*Garcinia humilis*)

- Relatar as informações disponíveis em base de dados científicos sobre o Achachairu (*Garcinia humilis*);
- Compilar os dados da espécie em relação aos tipos de publicação, distribuição geográfica e cronológica das pesquisas, áreas, periódicos e instituições envolvidas no desenvolvimento dos estudos;
- Identificar as oportunidades de pesquisa mediante o rastreo científico da matriz.

#### 2.2.2. Capítulo 2 - Caracterização da farinha da semente de achachairu em diferentes estádios de maturação

- Elaborar farinhas da semente de achachairu em três estádios de maturação;
- Caracterizar a composição centesimal das farinhas obtidas;
- Verificar o comportamento térmico das farinhas elaboradas;
- Identificar a atividade antioxidante e os compostos bioativos presentes nas farinhas;
- Direcionar a aplicabilidade das farinhas de semente de achachairu mediante os seus atributos.

#### 2.2.3. Capítulo 3 – Extração e caracterização do amido presente na farinha de semente de achachairu em dois estádios de maturação

- Extrair o amido da semente de achachairu em dois estádios de maturação a partir de diferentes métodos (neutro, ácido e alcalino);
- Caracterizar os amidos obtidos em relação à composição centesimal;
- Determinar a morfologia e a relação de amilose e amilopectina dos grânulos dos amidos obtidos;

- Verificar as propriedades de pasta dos amidos da semente de achachairu;
- Identificar a atividade antioxidante dos amidos extraídos;
- Avaliar o impacto dos estádios de maturação e dos métodos de extração nas propriedades dos amidos.

**CAPÍTULO 1**  
REVISÃO DA LITERATURA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA:  
ACHACHAIRU (*Garcinia humilis*)

## RESUMO

O achachairu (*Garcinia humilis*) é uma espécie pertencente à fruticultura boliviana, porém mostra-se bastante adaptável em climas tropicais e subtropicais, o que justifica sua disseminação para outras regiões do mundo. Mediante dados da literatura, sabe-se que tanto a planta quanto o fruto exibem compostos atrativos em termos nutricionais e farmacológicos. O trabalho objetivou verificar as publicações disponíveis sobre o achachairu (*Garcinia humilis*) via análise bibliométrica, rastreando as informações a partir do banco de dados da Coleção Principal do Web of Science® (WOS). Os filtros utilizados contemplaram a nomenclatura científica e a denominação popular do fruto, *Garcinia humilis* e achachairu, respectivamente, visando investigar com maior precisão a totalidade de pesquisas relacionadas com a espécie. A coleta de informações localizou apenas 28 trabalhos contendo os termos pesquisados. O Brasil foi o país que liderou o número de registros, com 23 publicações, possivelmente pelo clima favorável ao cultivo do achachairu. Dentre os principais focos de estudo, identificou-se atributos relacionados à estrutura química e às propriedades farmacológicas, com destaque para a Guttiferone A, composto responsável pelo caráter gastroprotetor, antinociceptivo e antiproliferativo no fruto, presente predominantemente em sua semente. Além da semente, a casca também apresentou composição bioativa e antioxidante. Sendo assim, essas duas partes, consideradas subutilizadas, possuem potencial de utilização como coproduto industrial. Por fim, esta análise bibliométrica favoreceu uma oportunidade de pesquisa mediante a escassez de dados científicos desta matriz, cuja composição conta com uma diversidade de características positivas para os segmentos farmacológico e alimentício.

**Palavras-chave:** Benzofenona, Guttiferona A, semente, antioxidantes, biflavonoides, extratos.

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie *G. humilis* possui poucos registros em literatura, no entanto, os estudos existentes do fruto afirmam diferentes funções relacionadas a ações cicatrizantes, digestivas, laxantes e prevenções ao reumatismo; úlcera gástrica e inflamação. Além disso, tanto as folhas quanto os frutos da espécie são constituídos por compostos biflavonoides e benzenos, cujo potencial é atribuído às atividades imunotóxicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e anticancerígenas (CURY et al., 2016). A presença de tais benefícios no achachairu despertou interesse pelo segmento fármaco quanto à investigação sobre os princípios ativos e potencial na cura de doenças, visto que o foco de estudos no fruto deve-se, especialmente, ao composto denominado Gutiferona-A, presente majoritariamente no extrato de sua semente (TERRAZAS et al., 2013).

Embora o achachairu (*Garcinia humilis*) apresente características favoráveis em sua composição, as pesquisas sobre o fruto ainda são escassas. Devido essa baixa exploração científica, verificou-se a oportunidade de obtenção quantitativa dos registros realizados acerca do achachairu. Para este caso, a revisão bibliométrica, conduzida a partir de análise estatística, é uma das abordagens que possibilita o rastreio de informações referentes às publicações, áreas, regiões e cronologia dos trabalhos já realizados. De acordo com RODRÍGUEZ-ROJAS et al. (2019) o método de revisão bibliométrica é aplicado a fim de extrair resultados, identificar autores, instituições e revistas com respectivas áreas de conhecimento que possibilitam o direcionamento ou o foco de publicação, além de apontar tendências de palavras-chave submetidas na pesquisa. A aplicação desta ferramenta, além de verificar o montante de informações disponíveis na literatura sobre o achachairu (*Garcinia humilis*), identifica também a necessidade de contribuições de dados sobre a espécie, uma vez que esta ainda não apresenta um amplo acervo de estudos, pois ainda é considerada subexplorada, embora tenha pesquisas positivas sobre a sua composição.

## 2. ACHACHAIRU (*Garcinia humilis*)

O achachairu, conhecido também como mangostinho, tapacuarai, cachicheruqui, chachairu, tatairu, bacupari boliviano, shashairú, ibaguazú, cachicheruqui e apacuarai, pertence à família Clusiaceae, gênero *Garcinia*, porém sua designação anterior denominava-se *Rheedia*, e espécie *humilis*. A planta é natural do leste boliviano, onde encontra-se uma vasta variedade de espécies frutíferas (BARBOSA e ARTIOLI, 2007; IBCE, 2010). O gênero *Garcinia* apresenta em torno de 600 espécies entre árvores e arbustos, sendo o mangostão (*Garcinia mangostana* L.) o mais conhecido (DUARTE, 2011; JANICK e PAULL, 2008; LORENZI e LACERDA, 2006).

Embora seja uma planta original da Bolívia, a *G. humilis* apresenta desenvolvimento em diferentes regiões brasileiras. A árvore (FIGURA 1) é perenifólia, ou seja, que mantém suas folhas durante as estações do ano, seu tamanho varia entre 10 a 15 m de altura e seu caule libera látex amarelado. As folhas são coriáceas, glabras e lustrosas na face superior, medindo entre 10 a 18 cm de comprimento. Já as flores se apresentam tanto na forma solitária como agrupadas, em fascículos axilares, estrógenas e andrógenas, e formam-se no período entre julho a setembro.

FIGURA 1. ÁRVORE DE ACHACHAIRU (*G. humilis*)



FONTE: Edgar Gessner (2018)

No idioma indígena a nomenclatura achachairu significa “beijo de mel”. Na Bolívia, apesar de ser bastante popular e alcançar mercado comercial significativo, não há registros de sua industrialização, limitando o seu consumo em seu estado *in natura* (IBCE, 2010).

O achachairu é capaz de se desenvolver em diferentes solos, possibilitando o seu cultivo em todas as regiões, apresentando fácil adaptação principalmente ao clima tropical e subtropical. Devido esta característica, um dos países que difundiu o fruto foi o Brasil, onde a planta foi introduzida no século XX e atualmente é encontrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Pernambuco, Pará, Goiás e Santa Catarina. Embora apresente abrangência de plantio, o achachairu não é popular no país e por vezes é confundido com frutos provenientes de outra espécie (BARBOSA et al., 2008).

Os frutos (FIGURA 2) são drupáceas, apresentam massa em torno de 30 g e formato globoso-oblongo, com dimensões transversais e longitudinais em torno de 35,8 mm e 45,2 mm, respectivamente.

FIGURA 2. ACHACHAIRU MADURO (*G. humilis*)



FONTE: O autor (2018)

A casca é grossa (FIGURA 3), com espessura média de 3,53 mm, lisa, firme e resistente, com coloração externa variável entre amarela e alaranjada e interna creme-palha. A polpa (FIGURA 4), que não adere a casca, é branca, succulenta, com textura mucilaginosa, de rápida oxidação e com sabor adocicado, possuindo concentração

em torno de 15 graus Brix e pH de 4,1. A polpa representa cerca de  $\frac{1}{3}$  da massa do fruto (BARBOSA e ARTIOLI, 2007; LORENZI e LACERDA, 2006). Cada fruto apresenta em média 3 sementes (FIGURA 5), onde duas delas são frequentemente involuídas e impróprias para a germinação, sendo denominadas como chochas. Externamente as sementes evoluídas dos frutos maduros são de cor marrom, apresentam formato cilíndrico, com diâmetros longitudinais entre 3,0 a 3,4 cm e transversais entre 1,5 a 2,0 cm. A semente exsuda uma resina amarela mediante ao corte (JANICK e PAULL, 2008).

FIGURA 3. CASCA DO ACHACHAIRU MADURO (*G. humilis*)



FONTE: O autor (2018)

FIGURA 4. POLPA DO ACHACHAIRU MADURO (*G. humilis*)

FONTE: O autor (2018)

FIGURA 5. SEMENTE DO ACHACHAIRU (*G. humilis*)

FONTE: O autor (2018)

O desenvolvimento relacionado à maturação do achachairu ocorre entre dezembro e abril, com início de transformações significativas em fevereiro. Ao iniciar o seu desenvolvimento, os frutos são menores e apresentam a casca na coloração verde. Durante o processo de maturação, ocorre a alteração de cor externa até atingir o tom laranja avermelhado. Neste período ocorrem as reações naturais de desenvolvimento frutífero, onde destacam-se a redução de acidez, gradual aumento

do sabor doce e amaciamento da sua estrutura, cujo tamanho também se altera devido ao seu crescimento. A colheita do fruto maduro é indicada ao final do mês de abril, período em que atinge o seu tamanho máximo e coloração alaranjada. Após colheita os frutos mostram-se resistentes ao transporte com boa conservação sob refrigeração (BARBOSA et al., 2008). Entretanto, o achachairu é considerado como um fruto não-climatérico, ou seja, demonstra atividade respiratória baixa e apresenta ligeiro declínio após sua colheita, sendo incapaz de completar o processo de amadurecimento após colhido. Portanto, o ponto de colheita deve ser adequado para obter frutos viáveis ao consumo (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

O achachairu é um fruto de fácil cultivo e com grande potencial mercadológico devido à resistência ao manuseio e transporte, viabilizando desta forma vantagens competitivas, além de apresentar atributos benéficos à saúde (SOPRANO e KOLLER, 2008).

### 3. MÉTODO DE REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica foi realizada na primeira quinzena do mês de maio de 2021 e seguiu o método descrito por ARAÚJO et al. (2020), cuja coleta de informações foi feita a partir do banco de dados da Coleção Principal do *Web of Science*® (WOS). As bases de filtro contemplaram os termos que descrevem tanto a nomenclatura científica (*Garcinia humilis*), quanto a denominação popular do fruto (achachairu). A busca pelos dois termos visou investigar com maior precisão a totalidade de trabalhos relacionados com o fruto. Ambos os rastreios foram indicados na seção descrita como “tópico”, categoria na qual inclui os dados de títulos, resumos, palavras-chave e *keywords plus*. As informações extraídas paramentaram sobre os tipos de publicação, distribuição geográfica e cronológica das pesquisas, áreas, periódicos e instituições envolvidas no desenvolvimento dos estudos.

Após a coleta no banco de dados, as informações foram correlacionadas a partir do software VOSviewer (Java version 1.8.0\_261) utilizando as palavras-chaves de todos os trabalhos identificados sobre *Garcinia humilis* e achachairu. A co-ocorrência das palavras-chaves foi estabelecida sem considerar a força do link descrita pelo programa, a fim de hierarquizar os resultados.

#### 4. DADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

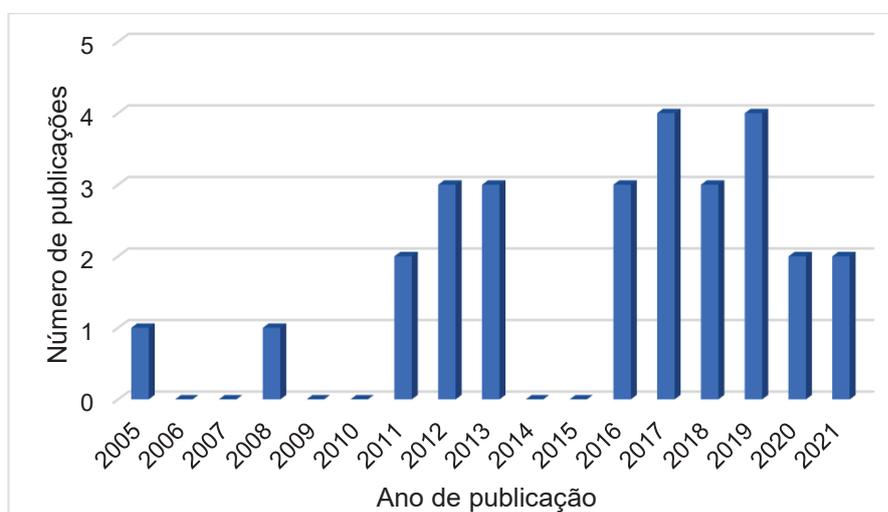
Ao realizar o rastreio de dados, foram localizados apenas 28 trabalhos relacionados aos termos pesquisados, sendo 22 para o termo *Garcinia humilis* e 15 para a nomenclatura achachairu, resultando, portanto, em 9 trabalhos que coincidem ambas as denominações.

Ao avaliar as categorias de publicação, dentre os 28 documentos rastreados foi possível identificar que 26 corresponderam a artigos completos, enquanto 2 tratavam de meeting abstracts.

##### 4.1. INFORMAÇÕES CRONOLÓGICAS E GEOGRÁFICAS

A coleta de informações detectou que as publicações referentes à *Garcinia humilis* e ao achachairu tiveram início no ano de 2005, contabilizando apenas um periódico, e seguiram escassas até o ano de 2008, quando houve um novo registro de publicação. Em 2011 as publicações registradas totalizaram apenas 2 e a frequência de estudos acerca do fruto permaneceu baixa com registro de 3 trabalhos anuais em 2012, 2013, 2016 e 2018. As maiores produções encontraram-se nos anos de 2017 e 2019, com o montante de 4 trabalhos em cada período. Os últimos apontamentos, referentes aos anos de 2020 e 2021, indicaram 2 publicações em cada ano referido (FIGURA 6).

FIGURA 6. NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO RELACIONADAS AOS TERMOS *GARCINIA HUMILIS* E ACHACHAIRU



FONTE: Web of Science© - WOS (2021)

Embora haja registros de pesquisas sobre o achachairu em anos consecutivos, o volume de conteúdo ainda se manteve baixo durante todo o período verificado, atingindo o máximo de 4 publicações por ano relativas à espécie.

A limitação de pesquisas sobre o achachairu pode ser proveniente da sua produção sazonal, além de sua impopularidade no meio científico. Contudo, esta informação oportuniza a investigação de uma matriz pouco conhecida, com possibilidade de atributos promissores.

Embora o achachairu seja nativo da Bolívia, dentre os 28 trabalhos identificados, 26 foram publicados em inglês e 2 em português. De acordo com a análise bibliométrica, o Brasil liderou as pesquisas registradas, contabilizando 23 trabalhos. O Estados Unidos ficou em segundo lugar totalizando 3 publicações, enquanto os demais países listados contemplaram apenas 1 pesquisa (TABELA 1).

TABELA 1. PAÍSES E PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES COM REGISTRO DE PUBLICAÇÕES SOBRE OS TERMOS *GARCINIA HUMILIS* E ACHACHAIRU

<b>Países</b>	<b>Registros</b>
Brasil	23
Estados Unidos	3
Australia/ Bolívia/ França/ Jamaica/ México/ África do Sul	1
<b>Instituições</b>	
Universidade do Vale do Itajaí	11
Universidade Estadual Paulista	5
Universidade Estadual de Goiás	4
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul	3
Universidade Federal de Goiás/ Universidade Federal de Sergipe/ Universidade Federal Fluminense UFF	2

O montante de registros referentes à distribuição geográfica incluiu autores e co-autores de diferentes localidades, envolvendo, portanto, instituições de pesquisa distintas. Diante disso, o levantamento de dados identificou 39 organizações que publicaram sobre os termos *Garcinia humilis* e achachairu. Dentre estas, 4 apresentaram mais do que 2 publicações (11, 5, 4 e 3), as quais foram realizadas por pesquisadores de instituições localizadas em regiões brasileiras, contemplando o Sul

(Santa Catarina), o Sudeste (São Paulo) e o Centro-Oeste (Goiás e Mato Grosso do Sul) do país (TABELA 1). Esta verificação permitiu confirmar a atribuição do clima tropical, característico do Brasil, à facilidade de cultivo do fruto.

#### 4.2. CATEGORIAS DE PUBLICAÇÃO E PRINCIPAIS RESULTADOS

O rastreamento em referência aos segmentos de pesquisa resultou em 14 áreas de publicação sobre os termos pesquisados. A área de maior destaque correspondeu à farmacologia/farmácia, representando 10 registros de publicações sobre *Garcinia humilis* e achachairu, seguida pela ciência e tecnologia de alimentos, com 8 trabalhos listados.

Dentre as demais áreas identificadas, a agricultura representou um total de 6 trabalhos. Já as áreas de química, ciência das plantas e toxicologia apontaram 3 publicações cada, enquanto a bioquímica molecular, biologia e medicina integrativa complementar tiveram 2 registros cada uma. Outras 6 áreas, correspondentes a biotecnologia aplicada, microbiologia, entomologia, imunologia, tecnologia de laboratório médico, nutrição dietética e ciência e tecnologia, contam com apenas 1 registro no banco de dados em referência aos termos analisados.

Tendo em vista as áreas de publicação, foram identificados 25 periódicos representando-as. Desta totalidade, apenas duas revistas (*Abstracts of Papers of the American Chemical Society* e *Chemico-Biological Interactions*) apresentaram mais do que uma publicação, contando com o montante de 2 trabalhos cada. Contudo, a “Abstracts of Papers of The American Chemical Society” indicou registros referentes a resumos de encontros, diferindo das demais que contabilizaram artigos completos.

Os outros 23 periódicos identificados no banco de dados sobre os termos *Garcinia humilis* e achachairu apresentaram 1 publicação cada. A partir da verificação das revistas foi possível identificar as informações referentes à autoria, fator de impacto, principal foco do estudo, parte da planta pesquisada e número de citações (TABELA 2).

Embora as publicações apresentem notável fator de impacto, o número de citações dos trabalhos ainda é baixo, apresentando a quantificação máxima de 49 referências do artigo publicado em 2005 na *Journal of Natural Products*. Este dado evidencia a pouca investigação acerca do fruto e sua espécie, visto que no período de 16 anos, o número de citações manteve-se inferior a 50.

Em relação aos principais focos de estudo verificou-se vasta abrangência nos temas (TABELA 2), relatando sobre caracterização química, composição bioativa e antioxidante, identificação de agentes antiparasitas, determinação de fitoquímicos, atividade antimicrobiana, atuação enzimática e protetiva à oxidação, propriedades de germinação, efeitos genotóxicos e clastogênicos, entre outros. Contudo, a universalidade das pesquisas apontou como destaque as propriedades gastroprotetivas relacionadas com uma benzofenona, a Gutiferona-A.

TABELA 2. AUTORES, FATOR DE IMPACTO, PRINCIPAL FOCO DE ESTUDO, PARTE DA FRUTA ESTUDADA E NÚMERO DE CITAÇÕES DAS REVISTAS COM PUBLICAÇÕES REGISTRADAS REFERENTES AOS TERMOS *GARCINIA HUMILIS* E *ACHACHAIRU*

Revista	Autores	FI*	Principal foco de estudo	Parte estudada	NC**
Abstracts of Papers of The American Chemical Society	Haase, D. N., Parker, S., Jacobs, H., et al. (2011)	14,695	Xantonas e derivado de benzofenona polissoprenilada	Fruto inteiro	0
Abstracts of Papers of The American Chemical Society	Haase and Danniebelle N. (2011)	14,695	Benzofenona polissoprenilada e xantonas quimiopreventivas	Fruto inteiro	0
Archives of Pharmacal Research	Dal Molin, M. M., Suellem Silva, Alves, D. R., et al. (2012)	0,603	Composição química e Gutiferona-A	Semente	13
Biological Control	Haran, J., Grove, T., Noort, S. V., et al. (2019)	1,598	Moscas da fruta e seus parasitóides associados	Fruto inteiro	1
Chemico-Biological Interactions	Mariano, L. N. B., da Silva, L. M., de Souza, P., et al. (2016)	2,754	Efeito gastroprotetor das xantonas	Galhos	12
Chemico-Biological Interactions	Mariano, L. N. B., Boeing, T., da Silva, R. C. M. V. de A. F., et al. (2019)	2,754	1,3,5,6-tetrahidroxixantona (THX)	Galhos	5
Engenharia Agrícola	da Silva, B. L. B., Costa, E., Salles, J. S., et al. (2018)	2,773	Produção de mudas de alta qualidade	Mudas	4
Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine	Valdir Cechinel Filho, V., Meyre-Silva, C., Niero, R., et al. (2013)	1,648	Agentes antiparasitários	Semente	22
Flavour and Fragrance Journal	Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Alves, I. L., et al. (2021)	3,782	Cinética de Secagem	Casca	0
Food Research International	Barros, R. G. C., Andrade, J. K. S., Denadai, M., et al. (2017)	4,972	Compostos bioativos e a atividade antioxidante	Semente, casca e polpa	24

Indian Journal of Pharmaceutical Sciences	Bagattoli, P.C.D., Cipriani, D. C., Mariano, L.N.B., et al. (2016)	0,721	Conteúdo total de fenol e atividade antioxidante	Fruto inteiro	8
Inflammopharmacology	Nunes, R., Broering, M. F., de Faveri, R., et al. (2021)	3,238	Comportamento de células inflamatórias e hipersensibilidade	Folha	2
International Journal of Food Science and Technology	Liu, T. P. S. L., Costa, R. M. P. B., Freitas, D. J. de V., et al. (2017)	2,773	Produção e purificação de tanase	Semente	12
Journal of Aquatic Food Product Technology	Tomé, A. C., da Silva, F. A., Monteiro, M. L., and Mársico, E. T. (2021)	1,020	Estabilidade oxidativa e qualidades bacteriológicas e sensoriais	Casca	0
Journal of Ethnopharmacology	Marques, E. de S., Silva, S., Niero, R., et al. (2012)	3,690	Efeitos genotóxicos e clastogênicos	Semente	11
Journal of Food Measurement and Characterization	Tome, A. C., Mársico, E. T., da Silva, F. A., et al. (2019)	1,649	Valor nutricional, compostos fenólicos totais, potencial antioxidante e perfil mineral	Casca, polpa e semente	2
Journal of Natural Products	Herath, K., Jayasuriya, H., Ondeyka, J. G., et al. (2005)	3,779	Benzofenona polliisoprenilada (gutfiferona I)	Casca e tronco	49
LWT-Food Science and Technology	Barros, R. G. C., de Oliveira, C. S., Oliveira, L. T. S., et al. (2019)	4,006	Micro-organismos como produtores de compostos bioativos	Fruto inteiro e seus resíduos	2
Natural Product Communications	Melim, C., Guimarães, K., Martin-Quintal, Z., et al. (2013)	0,468	Atividade antibacteriana	Partes aéreas	2
Naunyn-Schmiedebergs Archives of Pharmacology	Niero, R., Dal Molin, M. M., Silva, S., et al. (2012)	2,050	Propriedades gastroprotetoras	Semente, folha e galhos	19

Nutrients	John, O. D., Wanyonyi, S., Mouatt, P., et al. (2018)	4,777	Fitoquímicos	Casca e polpa	6
Pesquisa Agropecuaria Brasileira	Virgolin, L. B., Seixas, F. R. F., and Janzantti, N. S. (2017)	0,644	Composição físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante total	Polpa	12
Pesquisa Agropecuaria Tropical	da Silva, B. L. B., Costa, E., Binotti, F. F. da S., et al. (2018)	0,720	Formação de mudas	Mudas	3
Pharmaceutical Biology	Mariano, L. N. B., Vendramini-Costa, D. B., Ruiz, A. L. T. G., et al. (2015)	2,971	Perfil químico e xantonas	Galhos	7
Plos One	Terrazas, P. M., Marques, E. S., Mariano, L. N. B., et al. (2013)	2,740	Benzofenona (gutfiferona-A)	Semente	15
Revista Brasileira de Fruticultura	Barbosa, W., Chagas, E. A., Martins, L., et al. (2008)	0,614	Germinação de sementes e desenvolvimento de mudas	Semente	12
Revista de Agricultura Neotropical	Melo, M. S., Benett, C. G. S., Melo, B. S., et al. (2017)	N.I.***	Qualidade físico-química	Fruto inteiro	3
Revista de Agricultura Neotropical	da Silva, B. L. B., Souza, V. C. D. M., Costa, E., et al. (2021)	N.I.***	Produção de mudas	Semente	0

\* FI: Fator de Impacto; \*\* NC: Número de Citações; \*\*\*N.I.: Não Identificado

Gutiferonas são definidas como benzofenonas polipreniladas que possuem associação com diferentes atividades biológicas, podendo apresentar captação de radicais livres, efeitos anti-úlceros, citotoxicidade, inibição da síntese de óxido nítrico, quimioprevenção de câncer, indução de apoptose, ação anti-HIV e efeito tripanocida (NALDONI et al., 2009).

Diferentes estudos mostraram que a Gutiferona-A, especificamente, exhibe propriedades relacionadas com a capacidade antioxidante confirmadas via testes de DPPH e ABTS (ACUNA et al., 2010), efeito protetor sobre células danificadas por sulfato de ferro, inibição da peroxidação lipídica, degradação oxidativa da 2-desorribose (FIGUEREDO et al., 2011), atividade antioxidante e moderada atividade antiplasmodial mediante *P. falciparum* (NGOUELA et al., 2006), ação antimicrobiana em fungos (*Trichophyton rubrum* e *Candida albicans*), bactérias (*Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*) e parasitas (*Trypanosoma cruzi*, *Trypanosoma brucei*, *Plasmodium falciparum*, *Leishmania infantum* e *Leishmania amazonenses*), além de citotoxicidade em células MRC-5, pertencente à linhagem presente nas células pulmonares (MONZOTE et al., 2011).

Mediante o conjunto de estudos identificados frente aos termos *Garcinia humilis* e achachairu, a Gutiferona-A mostrou-se de forma predominante entre os compostos identificados na semente do fruto (NIERO et al., 2012). As pesquisas destacaram que o extrato metanólico bruto e o composto puro (Gutiferona-A) exibem um rico perfil em termos medicinais, manifestando-se como importante antinociceptivo, gastroprotetor, com ação antileishmania e antimicrobiana (DAL MOLIN et al., 2012; CECHINEL-FILHO et al., 2013; MELIM et al., 2013), baixa genotoxicidade (MARQUES et al., 2012), caráter analgésico (TERRAZAS et al., 2013), efeitos contra alguns modelos de úlcera induzida, diminuindo a secreção gástrica (NIERO et al., 2012), além de atividade antiproliferativa pronunciada contra linhas celulares, possibilitando uma potencial ação anticâncer (MARIANO et al., 2015).

Outra característica identificada nos dados sobre os trabalhos publicados, verificou-se que 10 deles abordaram a semente como matriz de estudo, seguido pelo montante de 6 pesquisas relacionadas à casca e 6 ao fruto inteiro.

JOHN et al. (2018) relataram em seus estudos que a casca do achachairu, visto como um subproduto alimentar, exhibe potente cardioproteção em ratos com

síndromes metabólicas induzidas por dieta. A casca também apresentou outros atributos favoráveis para a aplicação alimentícia, como atividade antioxidante, presença de minerais (TOME et al., 2018) e estabilidade oxidativa em produtos cárneos (TOME et al., 2021).

Diante dessas informações percebe-se que a casca e a semente do achachairu, tratadas como resíduos da comercialização do fruto *in natura*, além de apresentarem características benéficas ao organismo em termos farmacológicos, apresentam-se como potenciais coprodutos a serem explorados quanto à carga nutricional e a capacidade funcional na indústria alimentícia.

Por fim, dentre as pesquisas realizadas com o fruto inteiro, MELO et al. (2017) relacionaram as partes na planta com as condições químicas e físicas mais adequadas de colheita do achachairu, indicando a parte superior da copa como ideal em termos de qualidade. Os parâmetros de avaliação incluíam massa e diâmetro do fruto, massa da semente, pH, sólidos solúveis totais (° Brix), acidez total titulável e rendimento de polpa.

BARROS et al. (2019) detectaram cepas endofíticas, do gênero *Cândida*, responsáveis pela quantificação elevada de compostos fenólicos presentes no achachairu, corroborando com BAGATTOLI et al. (2016), cujo estudo verificou caráter promissor em relação ao teor de fenol total no fruto, os autores também destacaram o efeito citotóxico do extrato metanólico da semente, bem como da Gutiferona-A, presente neste extrato, visto que ambos são inibidores de crescimento de células tumorais.

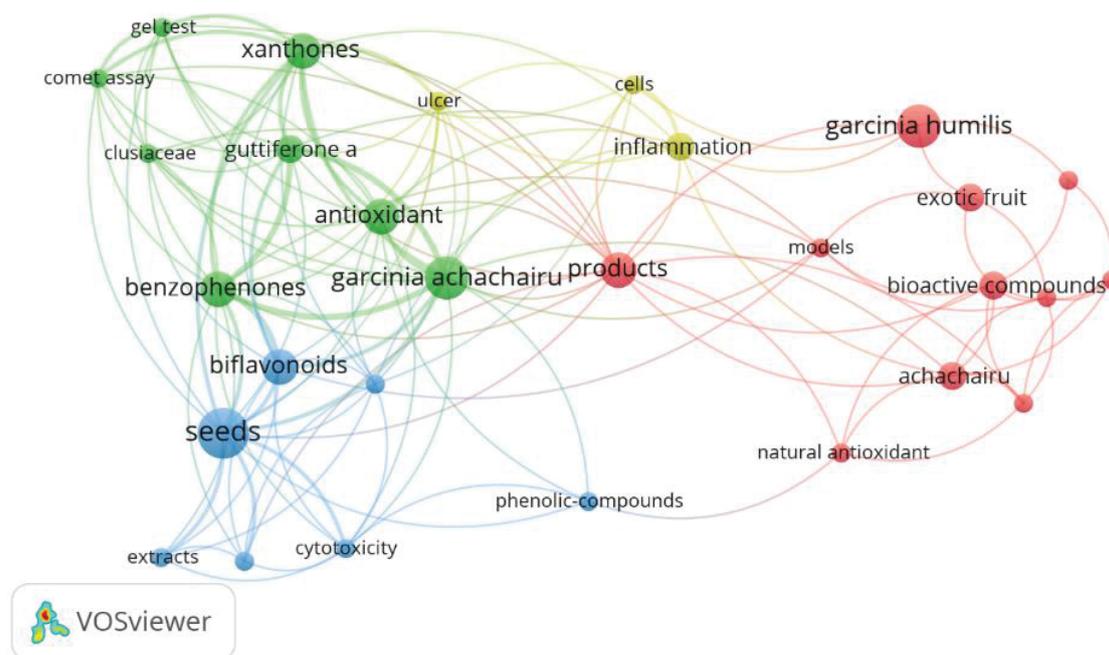
As informações disponíveis indicam uma necessidade de uma maior investigação sobre a composição do achachairu, na busca de inovações tecnológicas para o aproveitamento do potencial do fruto.

#### 4.3. CO-OCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVES

A partir da co-ocorrência entre as palavras-chaves presentes no rastreo bibliométrico, foi possível verificar a tendência do foco abordado nas pesquisas (FIGURA 7). Para a obtenção dos resultados, a unidade selecionada no banco de dados da *Web of Science* correspondeu à opção “all keywords”, cuja análise apresenta elevada abrangência, incluindo todas as palavras-chaves citadas nos trabalhos, as demais opções eram “author keywords” e “keywords plus”, as quais

possuem menor amplitude na busca de dados. De acordo com LI (2018) e RODRÍGUEZ-ROJAS et al. (2019), a investigação acerca das palavras-chaves em um método bibliométrico se mostra importante devido à referência na busca de arquivos, sendo, portanto, termos facilitadores na consulta de áreas.

FIGURA 7. ANÁLISE DE CO-OCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE PRESENTES EM PUBLICAÇÕES SOBRE OS TERMOS *GARCINIA HUMILIS* E ACHACHAIRU



FONTE: *Web of Science*© - WOS (2021)

O filtro aplicado na análise representou o mínimo de 2 vezes que a palavra-chave estava presente entre os periódicos, fundamentando a repetição do termo que resultou em 29 combinações dentre 205 palavras-chaves identificadas. O número de ocorrências é representado na FIGURA 7 por meio do círculo referido à palavra-chave, cujo tamanho mostra-se proporcional à quantificação, ou seja, quanto maior o círculo maior é o número de ocorrências desta palavra-chave. Neste contexto, verificou-se que a palavra-chave de maior destaque foi “seeds” (sementes), mostrando relação próxima às palavras “biflavonoids” (biflavonoides), “extracts” (extratos), “cytotoxicity” (citotoxicidade) e “benzophenones” (benzofenonas), enaltecendo as propriedades medicinais desta parte do fruto e reafirmando os dados resultantes na análise realizada para as categorias de publicação. Contudo, os termos observados com ligações

diretas com “garcinia achachairu” e “achachairu” remeteram às propriedades antioxidantes presentes na espécie, sendo eles “phenolic-compounds” (compostos fenólicos), “antioxidant” (antioxidantes), “bioactive compounds” (compostos bioativos) e “natural antioxidant” (antioxidante natural), potencializando o caráter bioativo do achachairu, publicações direcionadas principalmente à aplicação farmacológica.

## 5. TENDÊNCIAS DE ESTUDO SOBRE O ACHACHAIRU

Estudos sugerem que o gênero *Garcinia* contempla cerca de 600 espécies com diferentes funções no organismo, tais como ação cicatrizante, digestiva, laxante, combate ao reumatismo, úlcera gástrica e inflamação. Além disso, tanto as folhas quanto os frutos são constituídos por compostos biflavonoides e benzenos, cujo potencial é relacionado com atividades imunotóxicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e anticancerígenas (CURY et al., 2016). Conforme visto, a presença de tais benefícios no gênero *Garcinia*, mais especificamente no achachairu, despertou interesse pelo segmento fármaco quanto à investigação sobre os princípios ativos e potencial na cura de doenças. O foco no achachairu foi principalmente devido ao composto denominado Gutiferona-A, presente majoritariamente no extrato da semente do fruto (TERRAZAS et al., 2013). A Gutiferona-A, obtida a partir dos extratos da semente de achachairu, mostrou-se como um composto responsável por diferentes efeitos, entre eles a proteção mediante lesões gástricas (NIERO et al., 2012), redução na capacidade de perceber a dor (DAL MOLIN et al., 2012), evidente ação antiproliferativa (MARIANO et al., 2015), entre outros atributos.

De modo geral, os trabalhos propõem que o achachairu (*G. humilis*) representa um protótipo promissor na obtenção de agentes com propriedades antinociceptivas, perfil gastroprotetor, além de indicativo para ação anticâncer.

Além disso, a utilização dos resíduos desta fruta, especialmente a semente, demonstra alto potencial nos setores de desenvolvimento de novos produtos e aplicabilidade como novos ingredientes alimentícios, visando a alimentação saudável e rica em nutrientes, além de contribuir na redução do impacto ambiental.

## 5.1. SEMENTE COMO COPRODUTO

Embora o achachairu seja comumente consumido em sua forma *in natura*, ou seja, com aproveitamento restrito à sua polpa, conforme visto, alguns estudos afirmam que a semente detém um conteúdo promissor em termos medicinais e nutricionais (DAL MOLIN et al., 2012; CECHINEL-FILHO et al., 2013; MELIM et al., 2013; MARQUES et al., 2012; NIERO et al., 2012; TERRAZAS et al., 2013; MARIANO et al., 2015; TOME et al., 2018). Estas informações indicam oportunidades na investigação da semente em relação a sua aplicabilidade e demais características químicas, nutricionais e funcionais.

Durante o período de amadurecimento dos frutos ocorrem transformações bioquímicas, relacionadas à taxa respiratória e ao cultivar de cada planta. Tais mudanças são responsáveis pelas alterações como a cor, textura, sabor e odor do fruto mediante, basicamente, a hidrólise de pigmentos, carboidratos complexos e de fibras. As sementes representam papel importante durante estas transformações devidas, especialmente, às suas cargas de reserva energética da planta (RAVEN, 1996). De um modo geral, os constituintes metabólicos do tecido de reserva presentes na semente são carboidratos, lipídeos e proteínas, em quantidades variáveis entre estes, sendo um deles de forma predominante conforme características da espécie (CARVALHO, 1994). As sementes maduras apresentam as suas cargas de reserva em quantidades inferiores ao seu conteúdo inicial por conta de transformações bioquímicas que acarretam hidrólises de lipídeos, amido e fibras (BEWLEY e BLACK, 1986).

No que diz respeito à composição da semente de achachairu, PIMENTEL (2012) descreve que há um elevado teor de carboidratos deste coproduto, sugerindo conteúdo amiláceo, que pode ser destinado a diferentes aplicações alimentícias. E, conforme visto, alguns estudos também apontam potencial antioxidante na semente similar aos compostos presentes na própria fruta (BAGATTOLI, et al., 2016; VIRGOLIN et al., 2017; TOME et al., 2019). Tais atributos reforçam a proposta de pesquisa acerca da semente do achachairu, a fim de identificar suas aplicabilidades como ingredientes, componentes básicos ou aditivos na indústria agroalimentar.

## 6. CONCLUSÃO

Ao realizar a análise bibliométrica a partir do termo achachairu e sua respectiva nomenclatura científica, *Garcinia humilis*, foi possível obter amplamente as informações disponíveis sobre os termos, identificando apenas 28 publicações, com registro máximo de 4 trabalhos por ano. Em termos geográficos, embora o fruto seja nativo da Bolívia, o Brasil liderou as pesquisas, contando com 23 registros, desenvolvido nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país. No entanto, os resultados obtidos indicaram uma baixa visibilidade científica da espécie, embora o fruto contemple propriedades benéficas ao organismo em caráter nutricional e medicinal. Desta forma, a bibliometria permitiu identificar uma notável oportunidade de pesquisa acerca do achachairu (*G. humilis*), uma vez que este encontra-se limitado ao consumo *in natura*.

Além do apoio ao estudo sobre o perfil promissor relacionado com propriedades antinociceptivas, antiproliferativas e gastroprotetivas, observadas principalmente na semente, os dados resultantes também sugeriram a aplicação direcionada à ciência de alimentos no reaproveitamento de resíduos (partes do fruto destinadas ao descarte) a fim de valorizar os atributos bioativos e antioxidantes do achachairu.

## **CAPÍTULO 2**

### **CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DA SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO**

Parte do conteúdo deste capítulo encontra-se publicado na LWT Food Science and Technology: Nutritional and bioactive composition of achachairu (*Garcinia humilis*) seed flour: A potential ingrediente at three stages of ripening  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112251>

## RESUMO

O achachairu é o fruto da espécie *Garcinia humilis*, planta originária da Bolívia, com cultivo em várias regiões do Brasil. Embora o fruto apresente alguns estudos, a espécie *humilis* ainda é pouco explorada. Sabe-se, no entanto, que as sementes do achachairu exibem compostos promissores acerca de sua atividade medicinal, porém, pouco se conhece sobre a sua caracterização e potencial nutricional. Portanto, o objetivo deste estudo foi compreender as propriedades e a composição das sementes em três diferentes estádios de maturação. As frutas foram colhidas em períodos distintos de produção (dezembro, fevereiro e abril), e suas sementes foram separadas manualmente, seguindo para a secagem, moagem e análises quanto à composição centesimal, toxicidade (glicosídeos cianogênicos), propriedades físicas das partículas, capacidade antioxidante, perfil bioativo, características térmicas, difratometria de raio X, morfologia e espectrometria de absorção por infravermelho. Os resultados revelaram alto teor de fibra alimentar e atividade antioxidante (aproximadamente 28,0 g.100g<sup>-1</sup> e 900,0 mg GAE.100<sup>-1</sup>, respectivamente), principalmente na farinha de sementes maduras, além da presença de ácidos fenólicos, flavonoides e um alcaloide. A caracterização centesimal, térmica e morfológica das três fases de maturação classificou a farinha como um produto amiláceo. Foi possível verificar que as farinhas de sementes de achachairu são uma alternativa viável para aplicação em produtos alimentícios em substituição às farinhas convencionais. Essas aplicações promoveriam o uso de um produto residual capaz de agregar valor nutricional e tecnológico a outros produtos.

Palavras-chave: maturação, fibras dietéticas, antioxidante, coproduto, amido

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, nota-se uma crescente tendência sobre os usos alternativos de resíduos industriais. Um grande segmento neste campo de cultivo envolve o uso de sementes de frutas na forma de coprodutos, principalmente devido ao seu apelo funcional inerente. Os coprodutos obtidos durante o processamento de frutas também podem representar uma fonte de nutrientes facilmente obtida que pode ser utilizada na produção de alimentos como biscoitos, bolos, pães e cereais (FASOLIN et al., 2007).

Um dos cuidados na utilização de matrizes vegetais é referente a possibilidade de agentes tóxicos. Matrizes cianogênicas contam com a presença de ácido cianogênico, cujos compostos formados, normalmente glicosídeos ou hidroxinitrilos, são considerados potenciais de toxicidade. O ácido cianogênico apresenta absorção rápida pelo aparelho gastrointestinal, causando intoxicação aguda e morte em poucos minutos (TOKARNIA et al., 2012). Assim, a caracterização dos resíduos vegetais, bem como a aplicação de processos em seus preparos, são etapas necessárias para viabilizar um produto no setor alimentício.

Os fabricantes podem processar e secar os alimentos para produzir vários tipos de farinha. Coprodutos derivados da casca, sementes e bagaço podem ser parcialmente substituídos por outras farinhas comerciais como alternativas mais nutritivas. Outra vantagem da utilização de farinhas derivadas desses coprodutos é o aumento da distribuição e do tempo de armazenamento do produto, devido ao prolongamento do prazo de validade em relação aos produtos frescos (PIOVESANA et al., 2013).

Uma das frutas exóticas comercializadas no Brasil é o achachairu, que pertence à espécie *Garcinia humilis*. Originária da Bolívia, esta planta se adapta facilmente ao clima tropical e subtropical brasileiro (BARBOSA e ARTIOLI, 2007). A fruta costuma ser comercializada *in natura*, sendo a polpa seu principal atrativo. Estudos demonstraram que as sementes (representantes de aproximadamente 15% do fruto), quando isoladas, têm potencial aplicação industrial, devido à presença de compostos capazes de promover atividades analgésicas e antiúlcera no organismo humano (TERRAZAS et al., 2013).

Quando comparadas às matrizes de outras frutas como abiu (*Pouteria caimito*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bilimbi (*Averrhoa bilimbi*) e mangostão amarelo (*Garcinia xanthochymus*), o achachairu contém maiores quantidades de compostos fenólicos, dando à fruta uma vantagem competitiva para comercialização (VIRGOLIN et al., 2017).

A composição nutricional e as propriedades bioquímicas dos frutos podem variar de acordo com a porção do fruto estudado. Embora produtos residuais comumente descartados, como cascas e sementes, possam ser fontes potentes de nutrientes naturais e antioxidantes, os pesquisadores geralmente se concentram no estudo da polpa (DENG et al., 2012).

A estrutura das sementes de achachairu geralmente contém componentes bioativos como os ácidos fenólicos, flavonoides e não flavonoides, cujas propriedades antioxidantes os tornam atrativos como nutracêuticos, esses compostos também exibem atividades anticâncer, antinociceptiva, anti-inflamatória e antimicrobiana (MELIM et al., 2013; BARROS et al., 2019; MARQUES et al., 2012; MARIANO et al., 2015; NIERO et al., 2012 e NUNES et al., 2021). A presença dessas propriedades destaca a importância da identificação e caracterização das diversas partes do fruto do achachairu, uma vez que os dados atualmente encontrados na literatura a respeito desse fruto são limitados e os poucos estudos disponíveis costumam discutir o fruto inteiro na sua forma natural.

O conhecimento das alterações morfológicas e químicas que ocorrem durante os diferentes estádios de maturação é um parâmetro útil para entender as transformações que ocorrem no interior da semente. Também é útil como um indicador das características de qualidade ao avaliar a maturidade ideal da colheita (ASIKIN et al., 2018).

Os indicadores de qualidade das sementes estão relacionados às propriedades físicas, nutricionais, químicas e biológicas, que variam ao longo do processo de maturação (KHENG et al., 2012; MENZ e VRIESEKOOOP, 2010; XI et al., 2014). A reserva de energia das sementes pode existir na forma de lipídios ou glicídios. O conteúdo lipídico é geralmente convertido em glicídios por meio de uma reação exotérmica para gerar energia durante a fase de germinação. Porém, a composição final da semente pode variar, dependendo das condições de cultivo como clima, pH do solo e uso de fertilizantes, etc. (LIMA et al., 2014).

Contudo, a perecibilidade de produtos ofertados *in natura* implica o constante controle devido ao conteúdo de umidade. Dessa forma, o frescor dos produtos é limitado, reduzindo assim o prazo de seu consumo (ORSAT et al., 2006). A fim de viabilizar maior tempo para o consumo de tais produtos, uma das alternativas mais eficazes é a redução da umidade por processo de secagem, processo no qual permite prolongar a utilização do produto e reduzir perdas econômicas (NUNES, 2004; ZAMBRANO-ZARAGOZA et al., 2013). Assim, o processo de secagem tanto de frutas, quanto de seus coprodutos, permite satisfazer necessidades de aplicações industriais, desenvolvimento de novos produtos, além de contribuir com impactos favoráveis na economia (AYALA-ZAVALA et al., 2011). A secagem de alimentos permite a obtenção de diferentes tipos de farinha, a Resolução – CNNPA nº 12/1978 define farinha como o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer, previamente, processos tecnológicos adequados, e sendo designado “farinha de”, seguido do nome do vegetal de origem. Quando obtidas da moagem ou raladura dos grãos, rizomas, frutos ou tubérculos de uma só espécie vegetal, são classificadas como farinhas simples (BRASIL, 1978).

Farinhas obtidas na forma de coprodutos derivados de casca, semente e bagaço são opções nutritivas em substituições parciais de outras farinhas usualmente comercializadas. Assim, as farinhas mistas podem agregar valor na elaboração de produtos panificáveis, massas alimentícias e demais itens do setor alimentício. A utilização de farinhas como coprodutos visa ainda a amplitude na distribuição e estocagem dos produtos devido sua validade estendida frente aos produtos *in natura* (SANTOS et al., 2011; PIOVESANA, BUENO e KLAJN, 2013).

A pesquisa sobre propriedades de farinhas vistas como coprodutos de frutas aponta valores nutricionais relevantes, além de diferentes possibilidades da utilização de um resíduo como ingrediente na indústria alimentícia. Neste sentido há pesquisas que demonstraram altos níveis de fibras, cinzas, compostos fenólicos e vitamina C, como por exemplo o uso de coprodutos de maracujá (LÓPEZ-VARGAS et al., 2013), farinha elaborada a partir de casca de abacaxi (HUANG et al., 2011), farinha obtida a partir de casca de maçã (HENRÍQUEZ et al., 2010) e composição de farinha a partir da casca de mamão (SANTOS et al., 2014). Em relação às aplicações, ESPÍRITO SANTO et al.,

(2012) identificaram que as farinhas provenientes de cascas de maçã, banana e maracujá promoveram o melhoramento do perfil de ácidos graxos de iogurtes com função probiótica, além disso, os autores sugerem a incorporação das farinhas para o desenvolvimento de produtos lácteos fermentados. MORAES et al. (2013), por sua vez, verificaram a substituição de gorduras em sorvetes por coprodutos de laranja, os resultados apontaram a redução de 70% de gordura sem perdas de cor, odor e textura.

Sob essa perspectiva, supõe-se que as farinhas produzidas a partir de sementes de achachairu podem apresentar compostos com propriedades nutricionais e tecnológicas favoráveis à aplicação industrial alimentícia.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAL**

#### **2.1.1. Frutas – Achachairu**

Os frutos de achachairu (*Garcinia humilis*) foram colhidos em três diferentes estádios de maturação e classificados nas categorias imaturos (IM), mediamente maduros (MMA) e maduros (MA), de acordo com a cor e o mês de colheita. No Brasil, o processo de maturação dos frutos começa durante o mês de fevereiro, quando apresentam coloração amarela. Os frutos amadurecem para a colheita em abril depois de mudarem para a cor laranja, e os novos frutos costumam aparecer nas árvores em dezembro, com cor verde e tamanho bem menor do que na etapa final de maturação (BARBOSA e ARTIOLI, 2007). Com base no ciclo de maturação (dezembro - IM/verde, fevereiro - MMA/ amarelo e abril - MA/ laranja), três meses foram selecionados para a colheita na região rural onde os frutos são cultivados para fins comerciais, localizada no município de Corupá, Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil (S26°25'01,9"; W49°18'07,5"). Os frutos *in natura* foram higienizados com solução de hipoclorito de sódio (0,01%, m/v) e em seguida as sementes foram separadas manualmente das polpas.

### 2.1.2. Preparo das farinhas

As sementes de achachairu foram armazenadas sob temperatura de ultracongelamento (- 80 °C) em recipientes destinados ao liofilizador. A partir do completo congelamento das sementes, estas foram liofilizadas (Benchtop Pro 8L XL-70, Virtis Sp Scientifica) e moídas em moinho de facas (MA630/1, Marconi Ltda., Brasil), resultando em um pó fino (45 mesh). As farinhas (denominadas IM, MMA e MA) foram acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade, seladas a vácuo e armazenadas em freezer a -5 °C até análises posteriores.

## 2.2. MÉTODOS

### 2.2.1. Composição centesimal

A caracterização centesimal das farinhas consistiu nas análises respectivas aos protocolos da AOAC (2000), onde a umidade (934.01) foi realizada por meio de dessecação em estufa a 105 °C até atingir massa constante, as cinzas (942.05) foram determinadas a partir da incineração em mufla a 550 °C, as proteínas totais (990.03) foram verificadas via método de Kjeldahl e as fibras alimentares totais (985.29) foram analisadas pelo método enzimático-gravimétrico. Os lipídeos foram determinados por extração a frio, seguindo o método de Bligh Dyer (1959) e o teor de carboidratos totais foi calculado por diferença, relacionando as quantificações identificadas em cada análise, mediante cálculo percentual.

### 2.2.2. Detecção de glicosídeo cianogênico

A identificação dos glicosídeos cianogênicos nas farinhas foi realizada de acordo com o método qualitativo descrito por HARBORNE (1972). Essa técnica detecta sua presença pela observação da mudança de cor causada pela reação com ácido pícrico (ácido carbazótico ou 2,4,6-trinitrofenol) e carbonato de sódio, que hidrolisam o glicosídeo cianogênico, favorecendo o desprendimento

espontâneo do HCN. Essa reação forma o composto isopurpurato de sódio, que tem uma cor marrom-avermelhada.

### 2.2.3. Propriedades físicas

#### 2.2.3.1. Higroscopicidade

A análise de higroscopicidade seguiu o método proposto por CAI e CORKE (2000). A prática consistiu em pesar 2 g de cada amostra em placas de Petri sob temperatura ambiente, estas seguiram para um dessecador de vidro contendo uma solução de NaCl saturada sob umidade relativa de 75%. As amostras foram mantidas nestas condições durante 7 dias. Após esse período, cada amostra foi pesada novamente para identificar o ganho de massa. Os resultados foram expressos em g de umidade por 100 g de sólidos secos.

#### 2.2.3.2. Molhabilidade

Na determinação de molhabilidade, seguiu-se o método adaptado de FUCHS et al. (2006), cuja análise consistiu em pesar 0,1 g de cada amostra e inserir as mesmas delicadamente sob 100 mL de água destilada, à temperatura de 20 °C. O tempo foi cronometrado imediatamente após o contato das amostras com a água. Assim que a última partícula da amostra se mostrou hidratada, o tempo foi parado a fim de contabilizar a extensão da molhabilidade presente em cada ensaio.

#### 2.2.3.3. Cor

A determinação colorimétrica das amostras foi realizada por meio do equipamento Mini Scan XE (Hunter Lab, Riston, Virgínia, EUA), conforme método indicado pela HunterLab (1997). A verificação é numérica e consistiu na determinação dos parâmetros de luminosidade ( $L^*$ ), cujos valores variam entre 0 (preto) e 100 (branco); e cromacidade, representada pelas coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , onde o valor de  $a^*$  corresponde à faixa entre verde ( $-a^*$ ) e vermelho ( $+a^*$ ),

enquanto a coordenada  $b^*$  indica a variação entre amarelo ( $+b^*$ ) e azul ( $-b^*$ ), de acordo com o modelo de escala colorimétrica CIELab.

#### 2.2.4. Atividade antioxidante

##### 2.2.4.1. Extração dos compostos fenólicos

Para a determinação da atividade antioxidante obteve-se o extrato metanólico das sementes, de acordo com o método descrito por PANTÉLIC et al. (2016), onde dissolveu-se 2 gramas de cada amostra em 20 mL da solução de metanol 80%. As misturas foram submetidas à agitação branda seguida pelo banho ultrassônico, sem aquecimento, durante o período de 1 hora. Por fim, as soluções foram centrifugadas sob 5000 rpm durante 15 minutos. O sobrenadante resultante da centrifugação foi retirado e armazenado em recipiente âmbar e temperatura de 4 °C. Os preparados foram utilizados nas análises de compostos fenólicos totais e antioxidantes (DPPH, FRAP e ABTS).

##### 2.2.4.2. Quantificação dos compostos fenólicos totais

Na determinação dos compostos fenólicos totais aplicou-se o método espectrofotométrico Folin-Ciocalteu, baseado no procedimento descrito por SINGLETON et al., (1965). A análise consistiu na adição de 12  $\mu\text{L}$  da amostra, preparada conforme o item 2.2.4.1, em microplaca, juntamente com 144  $\mu\text{L}$  de água destilada e 48  $\mu\text{L}$  de reativo do Folin-Ciocalteu. A composição foi agitada durante 3 minutos e submetida à inserção de 36  $\mu\text{L}$  de carbonato de sódio (10,6 g/100 mL) sob leve agitação. Após 1 hora de repouso, foi realizada a leitura de absorbância por meio do espectrofotômetro Tecan Nanoquant Infinite M200, cujo comprimento de onda corresponde a 720 nm. Cada leitura resultante foi comparada com a curva de calibração do ácido gálico, o qual é definido como padrão de referência na análise. Dessa forma, os dados resultantes foram expressos na unidade de mg de ácido gálico equivalente por cada 100 g de amostra.

#### 2.2.4.3. Capacidade de sequestro do radical DPPH•

O método DPPH (1,1-dienil-2-picrilhidrazila), baseado em BRAND-WILLIAMS, CUVELIER e BERSET (1995), quantificou a capacidade do potencial de sequestro do radical DPPH a partir da análise de absorvância. Para a realização do método utilizou-se microplaca, onde foram inseridos 5 µL de cada amostra, obtida conforme item 2.2.4.1 e 190 µL da solução metanólica de 125 µmol/L DPPH. A leitura de absorvância das amostras foi realizada após 30 minutos de repouso destas a temperatura ambiente e sob proteção de luz. Para a determinação foi utilizado o espectrofotômetro (Synergy-BIOTEK, USA) com leitor de microplaca em 517 nm.

A capacidade antioxidante foi quantificada mediante uma curva padrão de Trolox e, portanto, apresentou os resultados expressos em µmol de trolox equivalente por 100 g de amostra.

#### 2.2.4.4. Capacidade antioxidante de redução do ferro (FRAP)

Para identificar o poder antioxidante em relação ao poder de redução do íon ferro (FRAP), foi aplicado o método proposto por BENZIE e STRAIN (1996). A análise também foi realizada em microplaca, onde adicionou-se 10 µL, preparada conforme descrito no item 2.2.4.1, com 300 µL do reativo FRAP. Os ensaios foram mantidos em incubação durante 30 minutos sob temperatura ambiente e isentos de luz.

A partir do espectrofotômetro ajustado em 592 nm, foi realizada a leitura de cada amostra, cujos resultados foram expressos em µmol de trolox equivalente por 100 g de amostra, seguindo a unidade imposta nas análises de antioxidantes.

#### 2.2.4.5. Capacidade antioxidante de sequestro de radicais ABTS•+

A atividade antioxidante dos compostos determinada via ABTS (2,2-azino-bis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico) seguiu o método descrito por RE et al. (1999) com adaptações, baseado na geração do cátion ABTS. O radical cátion foi preparado por meio da solução estoque de 7 mmol/L de ABTS com

2,45 mmol/L de solução de persulfato de potássio (1:1, v/v). A mistura ficou sem acesso à luz, sob temperatura ambiente durante o período entre 12 e 16 horas. Decorrente o tempo de repouso, a solução foi submetida à dissolução mediante metanol e sua absorbância foi ajustada para  $0,70 \pm 0,02$  em 734 nm. Em seguida, adicionou-se em microplaca: 300  $\mu$ L da solução de ABTS<sup>•+</sup> e 3  $\mu$ L da amostra (preparada segundo item 2.2.4.1). Armazenou-se novamente a mistura sob proteção de luz por 30 minutos para seguir à leitura em espectrofotômetro ajustado para a absorbância de 734 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu$ mol de trolox equivalente por 100 g de amostra analisada.

### 2.2.5. Compostos bioativos via UPLC-DAD

A determinação do perfil bioativo das farinhas foi realizada por meio da cromatografia líquida de ultra-performance (UPLC), com detector de arranjo de diodos (DAD), uma bomba quaternária e um amostrador automático (Waters, Milford, MA, EUA). A análise ocorreu a partir de uma coluna Waters Acquity UPLC HSS SB C18 (2,1 mm 100 mm 1,8 mm; Waters, Milford, MA) e padrões fenólicos (2,4-dihidroxibenzoico, 3,4-dihidroxibenzoico, 5-cafeoilquínico (5-CQA), ácidos elágico, ferúlico, fólico, gálico, gentísico, *m*-cumárico, *o*-cumárico, *p*-cumárico, salicílico, siríngico, sináptico e vanílico, catequina, formononetina, genisteína, hesperetina, kaempferol, quinina, rutina, teobromina e teofilina), monitorados simultaneamente, como parâmetros comparativos para cada amostra.

As separações cromatográficas foram realizadas à temperatura de 30 °C, volume de injeção de 3  $\mu$ L e vazão de 0,35 mL.min<sup>-1</sup>. A fase móvel consistiu em 0,1% de ácido fórmico em água ultra pura (A) e 0,1% de ácido fórmico em metanol (B), gerando gradiente de eluições de 0–10% B (0–4 min); 30% B (4–5 min); 60% B (5–11,5 min); 10% B (11,5–12 min), em estado isocrático por 15 minutos, conforme forma adaptada do método descrito por GALANI et al. (2017). As detecções foram configuradas na faixa entre 210 e 400 nm.

## 2.2.6. Propriedades térmicas

### 2.2.6.1. Termogravimetria (TG) e termogravimetria derivada (DTG)

A análise termogravimétrica foi realizada mediante o TGA 4000 (Perkin Elmer Inc. Waltham, EUA). Aproximadamente 6 mg de farinha foram submetidos ao aquecimento entre as temperaturas de 30 °C e 750 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>. A análise ocorreu sob atmosfera de ar sintético e fluxo de ar com vazão de 50 mL min<sup>-1</sup> por meio do analisador térmico do tipo Perkin Elmer (TGA 4000). As perdas de massa foram verificadas pelo software de análise de dados Pyris Manager versão 11.1.

### 2.2.6.2. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A partir do Calorímetro Exploratório Diferencial, modelo DSC 8000, Perkin Elmer, EUA, foram obtidas as curvas analíticas de cada amostra. A análise utilizou ar sintético como atmosfera (20 mL.min<sup>-1</sup>) e foi realizada com aproximadamente 6 mg de cada amostra, previamente hidratadas na proporção de 4:1 (água:farinha, m/m), dispostas em painéis de alumínio (50 µL), sob a taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, atingindo 100 °C. O equipamento foi previamente calibrado com índio com grau de pureza equivalente a 99,99%, P.F. = 156,6°C e  $\Delta H = 28,56 \text{ J g}^{-1}$ . A determinação da termogravimetria derivada (DSC), utilizando os parâmetros de temperatura e perdas de massa, foram verificadas pelo software de análise de dados Pyris Manager versão 11.1.

## 2.2.7. Propriedade Estrutural

### 2.2.7.1. Difratomia de raio X (DRX)

Para a detecção do padrão de difração de raio X foi utilizado o difratômetro de raio X (Bruker – modelo D8 Advance). O procedimento desta análise ocorre mediante radiação Cu K  $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) configurada a 40 kV e 20 mA. A medição da radiação dispersa foi detectada no intervalo angular entre 5° a 80° (2 $\theta$ ), com velocidade de escoamento correspondente a 2 °/min, ao passo de

0,041°. Para a determinação do grau de cristalinidade relativa foi utilizado o software Origin versão 8.6 (OriginLab Corporation, Massachusetts, EUA).

Os padrões de cristalinidade são definidos por tipos (A, B e C), cuja definição parte dos picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$ . Composições amiláceas que apresentam cristalinidade em referência ao tipo A, exibem picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$  em torno de 17,1°; 18,2° e 23,5°, já os amidos do tipo B encontram-se nas angulações próximas a 14,4°; 17,2°; 22,2° e 24°, enquanto que o tipo C apresenta-se em aproximadamente 15,3°; 17,3° e 23,5° (SAJILATA, 2006).

## 2.2.8. Morfologia

### 2.2.8.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As características morfológicas das farinhas foram verificadas por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise utilizou micropartículas de cada amostra, fixadas em suportes revestidos por cobre. Em seguida, os ensaios foram metalizados com ouro através de um revestimento a vácuo SCD030.

A amplitude de leitura das partículas foi verificada no microscópio eletrônico de varredura (Tescan, Vega 3, Kohoutovice, Czech Republic), com potencial de aceleração de 15 kV, com aumentos entre 1500 a 6000x.

### 2.2.9. Espectroscopia de absorção infravermelha (FTIR)

Para a realização da análise de espectroscopia de absorção por infravermelho utilizou-se um espectrofotômetro Vertex 70 no modo DRIFT. Cada amostra de farinha foi preparada contendo 25% de KBr em sua totalidade. O KBr puro foi usado como material de referência (espectro de fundo). A leitura foi efetuada na faixa espectral entre 400 e 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e utilização de 1024 varreduras.

### 2.2.10. Análise estatística

Todos os testes foram realizados em triplicata e os dados obtidos foram analisados quanto à variância (ANOVA). Para comparar a significância das amostras, foi aplicado o teste de Tukey com nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ) por meio do programa estatístico SAS®, versão 9 (2012).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição centesimal das farinhas das sementes de achachairu revelou diferenças quantitativas entre os três estádios de maturação. Apenas as fibras alimentares totais foram semelhantes para as 3 farinhas (TABELA 3).

TABELA 3. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA)

Amostras	Umidade (g.100g <sup>-1</sup> )	Cinzas (g.100g <sup>-1</sup> bs)	Proteínas (g.100g <sup>-1</sup> bs)	Lipídios (g.100g <sup>-1</sup> bs)	Fibras (g.100g <sup>-1</sup> bs)	Carboidratos (g.100g <sup>-1</sup> bs)
IM	5,3 <sup>c</sup> ± 0,04	1,1 <sup>c</sup> ± 0,01	2,4 <sup>c</sup> ± 1,0	8,5 <sup>c</sup> ± 0,10	28,3 <sup>a</sup> ± 0,10	54,4 <sup>a</sup> ± 0,10
MMA	11,6 <sup>b</sup> ± 1,0	1,7 <sup>b</sup> ± 0,10	3,0 <sup>b</sup> ± 0,04	12,0 <sup>b</sup> ± 0,30	28,3 <sup>a</sup> ± 0,10	40,0 <sup>c</sup> ± 1,0
MA	15,1 <sup>a</sup> ± 1,0	2,2 <sup>a</sup> ± 0,10	3,2 <sup>a</sup> ± 0,10	13,3 <sup>a</sup> ± 0,20	28,2 <sup>a</sup> ± 0,10	42,0 <sup>b</sup> ± 1,0

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

bs = base seca

O conteúdo das fibras alimentares totais foi consideravelmente maior em relação aos outros componentes da farinha, viabilizando a semente achachairu como um alimento funcional. Embora nenhum dos valores obtidos nas concentrações de fibras exceda 30%, as quantificações identificadas sustentam a alegação de que as farinhas de semente de achachairu podem ser consideradas com alto teor em fibras, dependendo de sua aplicação, conforme declara a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA na RDC 54/2012 (BRASIL, 2012). Certos efeitos fisiológicos estão associados à ingestão de

fibras, sendo os mais importantes o aumento do volume fecal e a melhoria da velocidade do trânsito intestinal (LEÃO et al., 2017). Vários estudos apontam que os subprodutos das frutas são ricos em fibras alimentares, por exemplo, as fibras representam 40 g/100g da massa das cascas de pequi e manga e até 51 g/100g da massa das cascas de laranja (TEJADA-ORTIGOZA et al., 2017; LEÃO et al., 2017). Comparativamente às fibras alimentares identificadas em sementes, o estudo realizado por COELHO e SALAS-MELLADO (2014) indicam que a semente de chia, vista como potencial em fibras por aumentar a saciedade e reduzir o consumo de energia, contém em torno de 34,6% deste macronutriente. Esta concentração foi contestada por ECKERT, et al. (2014) que determinaram concentrações entre 23,2 a 25,6% de fibras alimentares nas sementes de chia. No mesmo estudo os autores apontam ainda os teores em torno de 27,2 a 29,9% de fibra alimentar presentes nas sementes de linhaça, cuja alegação de funcional é proveniente deste constituinte. Por fim, a farinha de semente de bacupari, fruto pertencente ao mesmo gênero que o achachairu, apresenta em média 16% de fibras alimentares em sua composição (MELO, et al., 2021). Estas constatações confirmam o atributo nutricional de fonte de fibras alimentares identificado nas farinhas das sementes de achachairu e seu potencial funcional.

As sementes caracterizam-se por sua carga de reserva, composta principalmente por carboidratos, lipídios e fibras (CARVALHO, 1994). As farinhas de sementes de achachairu exibiram quantidades consideráveis desses constituintes, com predominância de carboidratos, cujo teor foi maior na farinha de sementes IM. Durante os estádios iniciais de maturação, a semente contém grande quantidade de energia para atender às necessidades da planta.

Este conteúdo energético é, normalmente, representado por amido, o qual passa por hidrólises resultando em açúcares mais simples no decorrer da maturação. Portanto, sementes imaturas geralmente apresentam maiores reservas de energia, que são reduzidas após o amadurecimento e seus consequentes eventos bioquímicos (BEWLEY e BLACK, 1986). Estas informações sugerem a presença de amido nas farinhas, uma vez que a concentração de carboidratos se mostrou superior em relação aos demais constituintes.

Os resultados para os teores de lipídios e carboidratos apresentaram similaridade com os dados relatados por LIMA et al. (2014), cujo estudo mostrou

que as sementes com maior percentual de carboidratos continham menor quantidade de lipídios. O mesmo foi observado na farinha de sementes IM, cujo teor de lipídios foi de  $8,5 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , em comparação com o teor de carboidratos ( $54,4 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), contudo a amostra de MA, que exibiu teores de lipídios e carboidratos de  $13,3 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  e  $42,0 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , respectivamente.

A classificação de uma semente em referência ao seu conteúdo energético apresenta a denominação de oleaginosa e amilácea. Contudo, para ser denominada como oleaginosa, os teores lipídicos devem ser superiores a  $29 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  (LIMA et al., 2014). Neste caso, com base nos resultados obtidos, as farinhas de semente de achachairu, nos três estádios de maturação, podem ser classificadas como amiláceas.

TOME et al. (2018), que determinaram a composição centesimal de sementes maduras de achachairu *in natura*, relataram valores (base seca) de  $12,0 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  para lipídios e  $47,9 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  para carboidratos, muito semelhantes aos obtidos para as farinhas de sementes no presente estudo.

O alto valor de cinzas identificado para os três estádios de maturação das farinhas de sementes pode ser atribuído aos consideráveis teores de potássio e fósforo ( $224,56$  e  $52,86 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ , respectivamente) identificados nas sementes de achachairu e à presença em menores quantidades de minerais como manganês, magnésio, cálcio, zinco, ferro e cobre (TOME et al., 2018). Os dados coletados nesses estudos contribuem para o total de informações disponíveis sobre o achachairu, uma vez que existem poucos registros na literatura, principalmente no que diz respeito à sua semente.

### 3.2. DETECÇÃO DE GLICOSÍDEO CIANOGENICO

As sementes de achachairu apresentaram resultado negativo para a presença de glicosídeos cianogênicos, impossibilitando a presença de ácido cianídrico nas farinhas.

### 3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 3.3.1. Higroscopicidade e molhabilidade

Seguem na TABELA 4 os dados resultantes das análises físicas realizadas nas farinhas de semente de achachairu, referentes à capacidade de interação com a água.

TABELA 4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE MOLHABILIDADE E HIGROSCOPICIDADE DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA)

<b>Amostra</b>	<b>Higroscopicidade (%)</b>	<b>Molhabilidade (segundos)</b>
IM	21,97 <sup>a</sup> ± 0,40	7,54 <sup>b</sup> ± 0,26
MMA	14,16 <sup>b</sup> ± 0,76	44,37 <sup>a</sup> ± 2,54
MA	14,30 <sup>b</sup> ± 0,34	47,23 <sup>a</sup> ± 4,23

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

A análise das propriedades de higroscopicidade e molhabilidade estão relacionadas com os atributos de qualidade de produtos desidratados, pois, a alteração física do material afeta diretamente nas características físico-químicas dos mesmos, mudando assim o foco de aplicação (PEDRO, 2010).

Dentre os resultados obtidos, percebeu-se que o comportamento da farinha produzida com semente madura não difere significativamente da farinha produzida a partir da semente no estágio médio de maturação. Contudo, ambas apresentam divergência em relação à farinha obtida pela moagem da semente imatura.

A higroscopicidade é a propriedade responsável por indicar a capacidade de absorção de água do produto quando este é submetido ao ambiente com umidade relativa superior à de equilíbrio. Pós e farinhas provenientes de produtos com alto conteúdo de carboidratos tendem a apresentar forte interação com as moléculas de água mediante seus terminais polares (JAYA e DAS, 2004). No caso das farinhas de semente, a carga de carboidratos no estágio imaturo apresentou-se superior quando comparada à semente madura, possivelmente esse teor influenciou no resultado de higroscopicidade, permitindo assim maior

facilidade da amostra IM em interagir com as moléculas de água e, conseqüentemente, atingir maior porcentagem de higroscopicidade do que as demais amostras.

A análise de molhabilidade visa identificar a capacidade das partículas de pó em adsorver água em meio à superfície, ou seja, faz a leitura do tempo necessário para que as partículas se reidratem. Essa propriedade pode ter interferência do tamanho das partículas, cujas dimensões podem formar aglomerados que se opõem à difusão da água quando se apresentam muito pequenas (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Durante o processo de maturação de frutos ocorrem alterações bioquímicas transformando a composição inicial de cada componente da estrutura vegetal. Tais transformações abrangem, principalmente, a hidrólise de diferentes constituintes que geram novas moléculas com estruturas mais simples (CHITARRA et al., 2005). Diante disso, conclui-se que as farinhas de sementes MMA e MA são compostas por substâncias resultantes de hidrólises, ou seja, exibem estruturas menores do que as partículas presentes na farinha da semente IM. Dessa forma, podem ter ocorrido aglomerações causando maior dificuldade de interação com as moléculas de água e, portanto, demandaram maior tempo para processar a molhabilidade em suas partículas. Enquanto que a farinha obtida a partir da semente IM, possui maior volume de estruturas intactas, formadas por partículas maiores que, possivelmente, apresentaram facilidade para interagir com o meio aquoso.

### 3.3.2. Cor

Em relação à intensidade colorimétrica, percebeu-se diferença significativa na comparação entre os estádios de maturação tanto no fruto quanto na semente (FIGURA 8), os resultados seguem na TABELA 5.

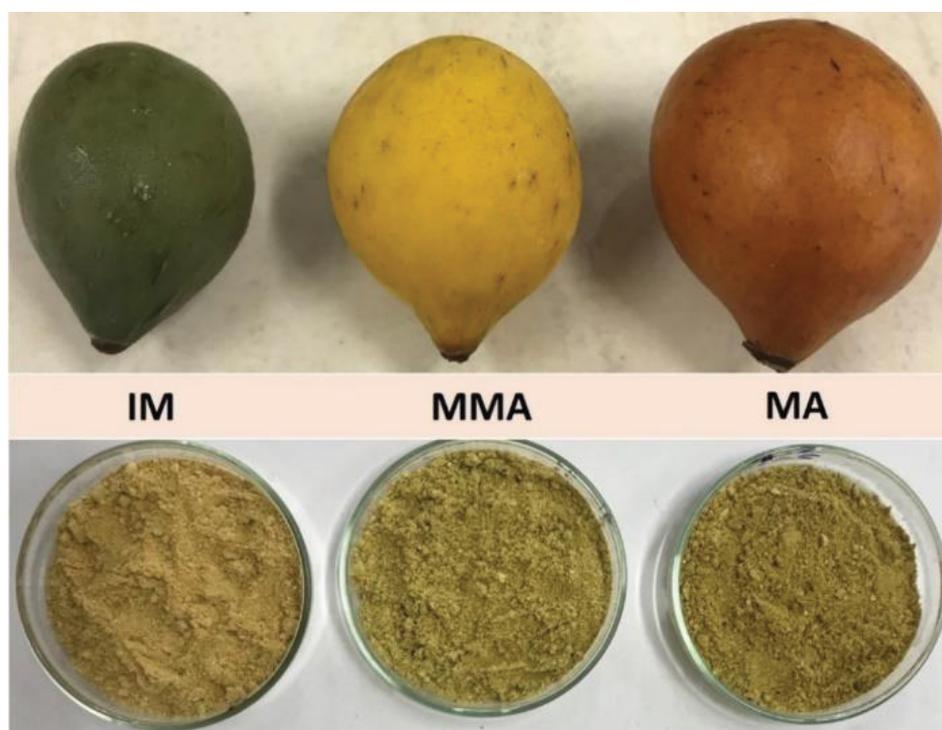
TABELA 5. PARÂMETROS DE COR DAS FARINHAS DE SEMENTES DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA)

Amostra		L*	a*	b*
Fruto <i>in natura</i>	IM	39,22 <sup>c</sup> ± 0,89	-2,30 <sup>c</sup> ± 0,18	17,65 <sup>c</sup> ± 0,43
	MMA	56,23 <sup>a</sup> ± 0,37	23,39 <sup>b</sup> ± 0,40	54,39 <sup>a</sup> ± 0,13
	MA	46,74 <sup>b</sup> ± 1,45	31,72 <sup>a</sup> ± 0,29	41,52 <sup>b</sup> ± 1,82
Farinha da semente	IM	73,53 <sup>a</sup> ± 0,04	7,97 <sup>a</sup> ± 0,01	28,39 <sup>c</sup> ± 0,03
	MMA	71,69 <sup>b</sup> ± 0,02	3,64 <sup>c</sup> ± 0,03	30,85 <sup>b</sup> ± 0,6
	MA	66,18 <sup>c</sup> ± 0,08	5,77 <sup>b</sup> ± 0,01	32,58 <sup>a</sup> ± 0,05

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

A partir do parâmetro L\*, foi possível observar que no fruto *in natura*, a luminosidade foi superior no estágio MMA, o qual apresenta cor amarela, ou seja, estado mais claro em relação aos frutos IM e MA. Os cromas a\* e b\* também se mostraram coerentes na comparação entre os estádios de maturação, uma vez que apontaram a tendência à cor vermelha (+a) e à cor amarela (+b).

FIGURA 8. FRUTOS E RESPECTIVAS FARINHAS DE SEMENTE MADURA (MA), MEDIAMENTE MADURA (MMA) E IMATURA (IM)



FONTE: O autor (2019)

As farinhas apresentaram redução na luminosidade e aumento na tonalidade amarela acompanhando o amadurecimento da semente. Contudo, para o croma  $a^*$ , que representa a variação entre verde ( $-a^*$ ) e vermelho ( $+a^*$ ), notou-se que a farinha proveniente da semente MMA se mostrou menos intensa, indicando menor tendência ao vermelho quando comparada às sementes nos estados IM e MA. De forma geral, todas as farinhas demonstraram similaridade visível em suas colorações.

A colorimetria de um produto é um componente importante na caracterização do mesmo, pois pode indicar a presença de compostos com potencial bioativo, ou ainda com propriedades aptas à aplicação como corante. Sabe-se, por exemplo, que os carotenoides são amplamente distribuídos na natureza. Estes compostos resumem-se em pigmentos naturais responsáveis pelas cores amarelo a laranja ou vermelho. Representam também substâncias bioativas que contribuem na saúde humana (RODRIGUEZ-AMAYA, KIMURA e AMAYAFARFAN, 2008). Assim, a determinação de cor das farinhas de semente do achachairu sugeriu a possibilidade de identificar compostos bioativos em suas composições.

#### 3.4. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A concentração de compostos fenólicos totais, apresentada na TABELA 6, mostrou o aumento conforme o progresso no estágio de maturação (de 878 a 957 mg GAE.100g<sup>-1</sup>). Em relação às atividades antioxidantes, também se observou maior concentração nas amostras referentes aos estádios maduros nas análises de DPPH (921  $\mu\text{mol TE.100g}^{-1}$ ) e FRAP (1272  $\mu\text{mol TE.100g}^{-1}$ ). Contudo, na quantificação via ABTS, a concentração mais elevada foi identificada na farinha de semente IM (3266  $\mu\text{mol TE.100g}^{-1}$ ). Esta verificação pode ser fundamentada na composição bioativa, uma vez que a leitura é predominante nos compostos cujo potencial de extração da técnica apresenta maior afinidade.

Os valores de atividade antioxidante de uma fruta podem variar, uma vez que são influenciados pelas condições ambientais, comportamento de maturação, variedade da fruta, perfil bioativo, tipo de solvente e modo de extração (WANG e LIN, 2000).

TABELA 6. CONTEÚDO DE FENÓLICOS TOTAIS (TPC) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS FENÓLICOS DA FARINHA DE SEMENTES DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA) POR DPPH, ABTS, FRAP

Amostras	CFT (mgGAE100g <sup>-1</sup> )	DPPH (μmolTE100g <sup>-1</sup> )	ABTS (μmolTE100g <sup>-1</sup> )	FRAP (μmolTE100g <sup>-1</sup> )
IM	878 <sup>b</sup> ± 6	912 <sup>b</sup> ± 0,1	3266 <sup>a</sup> ± 8	1151 <sup>b</sup> ± 31
MMA	905 <sup>ab</sup> ± 25	915 <sup>b</sup> ± 3	3153 <sup>c</sup> ± 14	1144 <sup>b</sup> ± 0,1
MA	957 <sup>a</sup> ± 26	921 <sup>a</sup> ± 1	3188 <sup>b</sup> ± 3	1273 <sup>a</sup> ± 3

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

Foi possível identificar a presença de antioxidantes nas farinhas das sementes nos três estádios de maturação. De acordo com TOME et al. (2018), as sementes de achachairu podem ser consideradas uma fonte alternativa de antioxidantes além da polpa, pois em seu estudo verificou a presença de atividade antioxidante no extrato etéreo de sementes por meio de análises de DPPH, ABTS, FRAP e TPC, os quais mostraram níveis em torno de 600 μmol TE.100g<sup>-1</sup>, 3000 μmol TE.100g<sup>-1</sup>, 700 μmol TE.100g<sup>-1</sup> e 220 mg GAE.100g<sup>-1</sup>, respectivamente. Enquanto que o conteúdo observado para o extrato etéreo de polpa de achachairu, também submetido às análises de DPPH, ABTS, FRAP e TPC foram de aproximadamente 400 μmol TE.100g<sup>-1</sup>, 2500 μmol TE.100g<sup>-1</sup>, 500 μmol TE.100g<sup>-1</sup> e 35 mg.100g<sup>-1</sup>, respectivamente. O estudo de BAGATOLLI et al. (2016), sobre o extrato metanólico de sementes de achachairu maduras e *in natura*, identificou uma concentração de compostos fenólicos totais próxima a 840 mg GAE.100g<sup>-1</sup>, semelhante ao menor valor observado no presente estudo para a amostra da IM. Esta observação sugere que a semente de achachairu apresenta melhor rendimento fenólico quando a extração é realizada com farinha. BARROS et al. (2017) avaliaram a polpa de achachairu madura utilizando extratos aquosos e metanólicos, resultando em teores de compostos fenólicos totais de 34 mg GAE.100g<sup>-1</sup> e 20 mg GAE.100g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Diante do exposto, comparativamente, os dados desta pesquisa revelaram que nos três estádios de maturação as farinhas das sementes, secas e moídas, concentraram uma capacidade antioxidante superior às relatadas, tanto para a polpa quanto para o extrato de semente *in natura*, e em extrações via metanol e éter, sugerindo, portanto, que estas farinhas podem ser utilizadas

como fonte de antioxidantes naturais. Esta afirmação contempla o potencial de aplicação na indústria de alimentos da semente de achachairu, na forma de farinha, como possível substituto para antioxidantes sintéticos.

### 3.5. COMPOSTOS BIOATIVOS

Em relação aos compostos bioativos, foram detectados oito componentes dentre os 24 padrões avaliados (TABELA 7).

TABELA 7. COMPOSTOS BIOATIVOS IDENTIFICADOS NA FARINHA DE SEMENTES DE ACHACHAIRU IMATURO (IM), MEDIAMENTE MADURO (MMA) E MADURO (MA) VIA UPLC

Compostos bioativos	IM	MMA	MA
Ácido gálico (mg.100g <sup>-1</sup> )	1,65 <sup>a</sup> ± 0,10	0,40 <sup>b</sup> ± 0,20	0,27 <sup>c</sup> ± 0,20
Ácido <i>m</i> -cumárico (mg.100g <sup>-1</sup> )	1,81 <sup>a</sup> ± 0,30	0,79 <sup>b</sup> ± 0,40	0,30 <sup>c</sup> ± 0,40
Ácido ferúlico (mg.100g <sup>-1</sup> )	1,38 <sup>b</sup> ± 0,10	2,28 <sup>a</sup> ± 0,10	nd
Ácido vanílico (mg.100g <sup>-1</sup> )	0,69 <sup>b</sup> ± 0,70	0,87 <sup>a</sup> ± 0,7	nd
Catequina (mg.100g <sup>-1</sup> )	5,31 <sup>a</sup> ± 0,20	4,34 <sup>b</sup> ± 0,20	0,39 <sup>c</sup> ± 0,14
Hesperetina (mg.100g <sup>-1</sup> )	8,0 <sup>a</sup> ± 0,72	0,67 <sup>b</sup> ± 0,73	0,41 <sup>c</sup> ± 0,73 <sup>c</sup>
Rutina (mg.100g <sup>-1</sup> )	2,72 <sup>b</sup> ± 3,3	15,22 <sup>a</sup> ± 1,0	nd
Quinina (mg.100g <sup>-1</sup> )	105,03 <sup>b</sup> ± 0,60	279,80 <sup>a</sup> ± 6,6	nd

Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey. nd: não detectado

Os perfis identificados caracterizaram quatro ácidos fenólicos (gálico, *m*-cumárico, ferúlico e vanílico), três flavonoides (catequina, hesperetina e rutina) e um alcaloide (quinina).

A quantificação dos compostos ácido gálico, *m*-cumárico, catequina e hesperetina, identificados na farinha de semente de achachairu, diminuíram conforme a evolução do processo de amadurecimento, contudo, os compostos: ácido ferúlico, ácido vanílico, rutina e quinina foram maiores nas farinhas de MMA do que nas farinhas da IM e foram ausentes nas farinhas MA. As concentrações dos compostos bioativos não convergiram proporcionalmente com os teores de ácido fenólico total, possivelmente devido à presença de outros constituintes bioativos que não foram detectados na análise cromatográfica.

De acordo com EID et al. (2014), mudanças na composição fenólica ocorrem principalmente devido ao estágio de maturação, que afeta especificamente os ácidos gálico, vanílico, isovanílico, protocatecuico, hidroxibenzoico, clorogênico, ferúlico, isoferúlico, caféico, hidroxicinâmico e clorogênico.

Segundo PANTELIC et al. (2016), o ácido gálico, o ácido ferúlico, a catequina, a rutina e a hesperetina também são encontrados em sementes de uvas viníferas, cujo potencial antioxidante é amplamente conhecido por beneficiar a saúde humana. As sementes de uva da variedade Cabernet Sauvignon contêm aproximadamente 9,83 mg.100g<sup>-1</sup> de ácido gálico, 0,11 mg.100g<sup>-1</sup> de ácido ferúlico, 69,11 mg.100g<sup>-1</sup> de catequina, 0,21 mg.100g<sup>-1</sup> de rutina e 0,1 mg.100g<sup>-1</sup> hesperetina. Comparado ao presente estudo, os teores de ácido ferúlico, rutina e hesperetina, observados nas sementes de achachairu, foram superiores, onde as farinhas MMA apresentaram 2,28 mg.100g<sup>-1</sup> (ácido ferúlico) e 15,22 mg.100g<sup>-1</sup> (rutina), as farinhas IM mostraram quantificações de hesperetina equivalentes a 8,0 mg.100g<sup>-1</sup> e o teor de catequina identificado foi superior ao detectado nas sementes das variedades Merlot, Shiraz e Sauvignon Blanc.

De acordo com o estudo de BARROS et al. (2017), a casca do mangostão, fruta também pertencente ao gênero *Garcinia*, bem como os resíduos de achachairu maduro, compostos por restos de sementes, casca e uma pequena quantidade de polpa, apresentam quantificações de ácido ferúlico de 1,2 mg.100g<sup>-1</sup> e 9,6 mg.100g<sup>-1</sup>, respectivamente. Neste sentido, os dados obtidos no presente estudo revelaram que as farinhas de sementes MMA apresentam maior concentração de ácido ferúlico (2,28 mg.100g<sup>-1</sup>) do que a casca de mangostão. No entanto, o conteúdo foi inferior ao observado nos resíduos de achachairu, possivelmente devido à diversidade na composição desta amostra.

Conforme o estudo realizado por AL-FARSI e LEE (2008), os ácidos gálico, vanílico e *m*-cumárico também foram detectados em sementes maduras de tâmaras. O estudo otimizou a extração e a purificação de compostos fenólicos de sementes de tamareira, resultando em 13,96 mg.100g<sup>-1</sup> para ácido gálico, 7,2 mg.100g<sup>-1</sup> para ácido vanílico e 0,48 mg.100g<sup>-1</sup> para o *m*-cumárico. Diante disso, embora esta obtenção tenha sido observada a partir da otimização do processo

de extração, a concentração de *m*-cumárico identificada nas amostras de farinha de sementes IM se mostrou superior ( $1,81 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ).

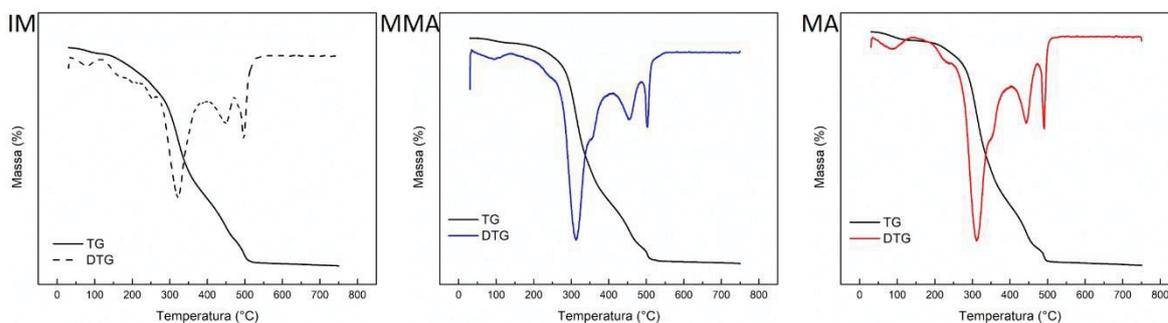
Por fim, a quinina, identificada nas farinhas de sementes MMA e IM, trata-se de um alcaloide, obtido da casca da *Cinchona* e amplamente utilizado no tratamento contra a malária. A quinina também apresenta aplicações na forma de aromatizante em alimentos e bebidas, característico pelo sabor amargo, e na área farmacêutica por seus efeitos antidiarreicos, antipiréticos e relaxantes musculares (ACHAN, TALISUNA e ERHART, 2011). Dentre os compostos bioativos analisados, a quinina apresentou a maior concentração, especialmente na farinha de semente MMA ( $279,80 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), que contabilizou aproximadamente o dobro do encontrado na farinha de semente da IM ( $105,03 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ). No entanto, este composto não foi detectado na farinha de semente MA.

### 3.6. PROPRIEDADES TÉRMICAS

#### 3.6.1. Termogravimetria (TG) e termogravimetria derivada (DTG)

Na análise termogravimétrica (TG e DTG), as três farinhas, independente do estágio de maturação, apresentaram comportamento semelhante nos três eventos térmicos (FIGURA 9).

FIGURA 9. CURVAS DE TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG) DAS FARINHAS DE SEMENTE EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)



FONTE: A autora (2019)

A análise dos gráficos gerados possibilitou a identificação de três eventos térmicos distintos, apresentados na TABELA 8.

TABELA 8. PARÂMETROS RESULTANTES DAS CURVAS DE TG E DTG DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)

Amostras	TG		DTG	
	Evento térmico	$\Delta m/\%$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$
IM	1º	3,45	29,31 - 120,50	41,99
	Estabilidade	-	120,50 - 211,91	-
	2º	56,77	211,91 - 386,89	272,12
	3º	29,58	386,89 - 543,59	494,43
MMA	1º	2,17	29,58 - 121,72	40,71
	Estabilidade	-	121,72 - 195,07	-
	2º	69,03	195,07 - 393,41	295,05
	3º	25,49	393,41 - 540,12	496,87
MA	1º	4,53	29,61 - 116,43	72,0
	Estabilidade	-	166,43 - 196,89	-
	2º	70,65	196,89 - 393,47	294,58
	3º	22,74	393,47 - 512,53	479,49

$\Delta m$ : perda de massa (%);  $\Delta T$ : variação de temperatura;  $T_p$ : temperatura de pico

O primeiro evento, relacionado à desidratação de cada amostra (SOLIMAN, EL-SHINNAVY e MORABAK, 1997), estabeleceu o teor de água livre presente nas farinhas no momento da análise. Neste ponto, as três amostras exibiram variações de temperatura semelhantes, entretanto, a farinha da semente MA apresentou maior perda de massa impondo, conseqüentemente, maior pico de temperatura, esta detecção revela que o seu teor de umidade foi superior ao das demais amostras. O resultado encontra-se de acordo com os níveis de umidade obtidos nas análises de composição centesimal, confirmando os dados analíticos determinados previamente.

O segundo evento analítico corresponde à despolimerização das macromoléculas de carboidratos complexos (AGGARWAL e DOLLIMORE, 1998). A perda de massa foi mais significativa nas farinhas de sementes MA e

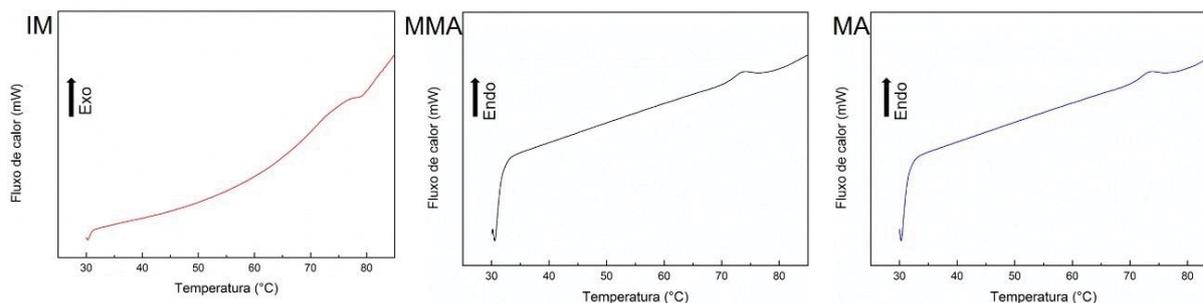
MMA, sugerindo facilidade na despolimerização destas amostras. No entanto, ao relacionar com a composição centesimal, a farinha de semente IM foi a amostra que apresentou a maior concentração de carboidratos. Essa divergência entre os resultados pode estar relacionada aos fatores instrumentais, como a razão de calor do equipamento ou a geometria de suporte, bem como às características da amostra, como tamanho de partícula, quantidade avaliada, solubilidade dos gases liberados pela amostra, calor de reação, compactação da amostra e condutividade térmica (MATOS, MERCURI e BARROS, 2009). Adicionalmente, neste evento ainda foi possível observar um comportamento de degradação nos três ensaios que ocorre devido à decomposição termo oxidativa de materiais orgânicos, tais como proteínas e lipídios, além dos polissacarídeos. Neste ponto perde-se o conteúdo nutricional presente em cada amostra (MICIC et al., 2015).

Por fim, o terceiro evento térmico indica carbonização. Embora a perda de massa tenha sido semelhante para os três estádios de maturação, a amostra de farinha de semente MA exigiu menor variação de temperatura, revelando que a degradação de sua matéria orgânica ocorreu em temperatura inferior à das demais amostras. Este é o ponto em que ocorre a decomposição dos ácidos graxos saturados e outras substâncias formadas como resultado da polimerização dos produtos formados durante a etapa de degradação anterior (MICIC et al., 2015).

### 3.6.2. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A partir da curva gerada por calorimetria diferencial de varredura (DSC) estimou-se conhecer o comportamento das farinhas mediante o processo de gelatinização, caracterizado como o processo de inchamento e ruptura dos grânulos de amido sob aquecimento em presença de água. A análise identificou as temperaturas envolvidas no processo, bem como, a quantidade de energia requerida para romper a estrutura dos grânulos de amido presentes na farinha, representada pela variação de entalpia ( $\Delta H$ ) (CEREDA, 2001). A leitura gerada pela análise segue na FIGURA 10.

FIGURA 10. CURVAS DE CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)



FONTE: A autora (2019)

Os perfis gráficos gerados para cada amostra mostraram proximidade de leitura, indicando comportamento de gelatinização amilácea semelhante entre os três estádios de maturação das sementes de achachairu, especialmente entre as amostras provenientes das sementes MMA e MA. Embora haja proximidade gráfica, os dados analíticos indicam que as farinhas são divergentes mediante cinética de gelatinização. O comportamento de gelatinização das farinhas está apresentado na TABELA 9.

TABELA 9. PARÂMETROS RESULTANTES DE CURVAS DE DSC DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)

Amostras	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>gel</sub> (J/g)
IM	73,1 <sup>a</sup> ± 0,01	79,2 <sup>a</sup> ± 0,01	80,7 <sup>a</sup> ± 0,02	-0,60 <sup>c</sup> ± 0,08
MMA	70,8 <sup>b</sup> ± 0,01	73,3 <sup>b</sup> ± 0,01	77,6 <sup>b</sup> ± 0,02	1,1 <sup>a</sup> ± 0,02
MA	69,7 <sup>c</sup> ± 0,02	72,5 <sup>c</sup> ± 0,02	75,6 <sup>c</sup> ± 0,01	0,8 <sup>b</sup> ± 0,02

Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey

To: Temperatura inicial; Tp: temperature de pico; Tc: temperature final; ΔH: entalpia de gelatinização do gel.

De modo geral, a farinha produzida a partir das sementes IM exigiu temperaturas de gelatinização mais altas e apresentou valor de entalpia negativa, enquanto que as demais amostras apresentaram temperaturas de gelatinização mais baixas e entalpias positivas. De acordo com HONG et al. (2019), elevadas temperaturas de transição, durante o processo de

gelatinização, podem estar relacionadas à cristalinidade do amido, uma vez que as áreas cristalinas mais ordenadas têm estruturas complexas e organizadas, as quais podem exigir mais energia para que ocorra a clivagem, caracterizando um processo exotérmico. Isso está de acordo com os resultados obtidos na avaliação da farinha por meio da análise de DRX (TABELA 10), vista a seguir, em que o maior grau de cristalinidade foi observado para a farinha de semente IM.

A entalpia de gelatinização também pode estar relacionada ao teor de lipídios da farinha. Estudos indicam que menores teores de lipídios significam que menos energia é necessária para romper a estrutura do amido presente na farinha, facilitando o inchaço do grânulo via incorporação de água (ITURRIAGA, LOPEZ e AÑON, 2004). Isso pode ser explicado pela capacidade da amilose de formar complexos com outros componentes presentes na farinha, especialmente lipídios. A formação desses complexos influencia nas propriedades funcionais da farinha, causando um aumento no pico de temperatura durante o processo de gelatinização (ZHU e WANG, 2013).

Os perfis de gelatinização, assim como os parâmetros de temperatura e energia do processo estão relacionados principalmente à matriz de amido e à presença de água, que atua como agente plastificante nos cristais de amido e conduz energia (SINGH et al., 2003). A água é absorvida pelos componentes estruturais da farinha durante o processo de gelatinização, reduzindo a carga hídrica e resultando no aumento das temperaturas de transição (ELIASSON, 2006; ITURRIAGA et al., 2004).

Portanto, é possível atribuir o comportamento observado da pasta à influência do teor de amido da farinha, além disso, de acordo com a composição centesimal das amostras, a farinha produzida a partir da semente IM, apesar de ter um conteúdo lipídico inferior ao da semente MA, contém a maior concentração de carboidratos, sugerindo um maior teor de amido nesta composição. A farinha de sementes IM também apresentou menor umidade e maior teor de fibras, características que podem exigir temperaturas de gelatinização mais altas do que as demais amostras. A presença de amido nas farinhas é um aspecto importante para o uso pretendido, o amido além de ter muitas aplicações, sendo responsável por propriedades tecnológicas em produtos industriais, também possui propriedades relacionadas à textura, sendo

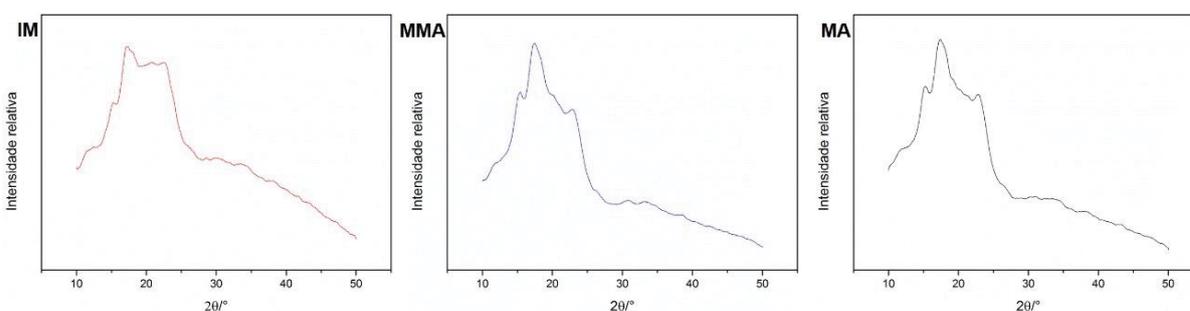
utilizado como espessante, estabilizante, gelificante, agente de volume, entre outros usos (SINGH et al., 2003).

### 3.7. PROPRIEDADE ESTRUTURAL

#### 3.7.1. Difratomia de Raio X (DRX)

Visto o potencial amiláceo das farinhas, a realização da Difratomia de Raio X estimou identificar as frações cristalinas e amorfas do amido presente nas amostras. A observação analítica segue na FIGURA 11.

FIGURA 11. CARACTERIZAÇÃO VIA DRX DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)



FONTE: A autora (2019)

Embora a composição centesimal tenha apresentado perfil superior para o conteúdo de carboidratos na amostra IM, qualitativamente os três estádios de maturação mostraram-se similares no que diz respeito ao índice de cristalinidade (TABELA 10).

TABELA 10. PARÂMETROS RESULTANTES DAS CURVAS DE DRX DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)

Amostras	Grau relativo de cristalinidade (%)
IM	56,30 <sup>a</sup> ± 2,5
MMA	34,38 <sup>b</sup> ± 3,6
MA	32,09 <sup>b</sup> ± 4,4

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

Por meio do estudo gráfico, concluiu-se que as farinhas de semente de achachairu, nos três estádios de maturação, apresentam-se com padrão de cristalinidade do tipo C, onde os picos de intensidade nos ângulos de difração  $2\theta$  mostraram-se próximos a  $15^\circ$ ,  $17^\circ$  e  $23^\circ$ . O polimorfo do tipo C é considerado um intermediário entre os tipos A e B, pois apresenta característica de ambos, esse padrão é observado em amidos provenientes de leguminosas e sementes. A formação de polimorfos do tipo A é favorecida pela presença de cadeias de amilopectina curtas e externas, normalmente esse tipo é identificado em amidos obtidos em cereais. O tipo B é geralmente detectado no caso de cadeias externas de amilopectina com maior dimensão, usualmente característico em tubérculos e também identificado em amido de banana, amidos retrogradados e amidos com elevado teor de amilose (ELIASSON, 2006; SAJILATA, 2006).

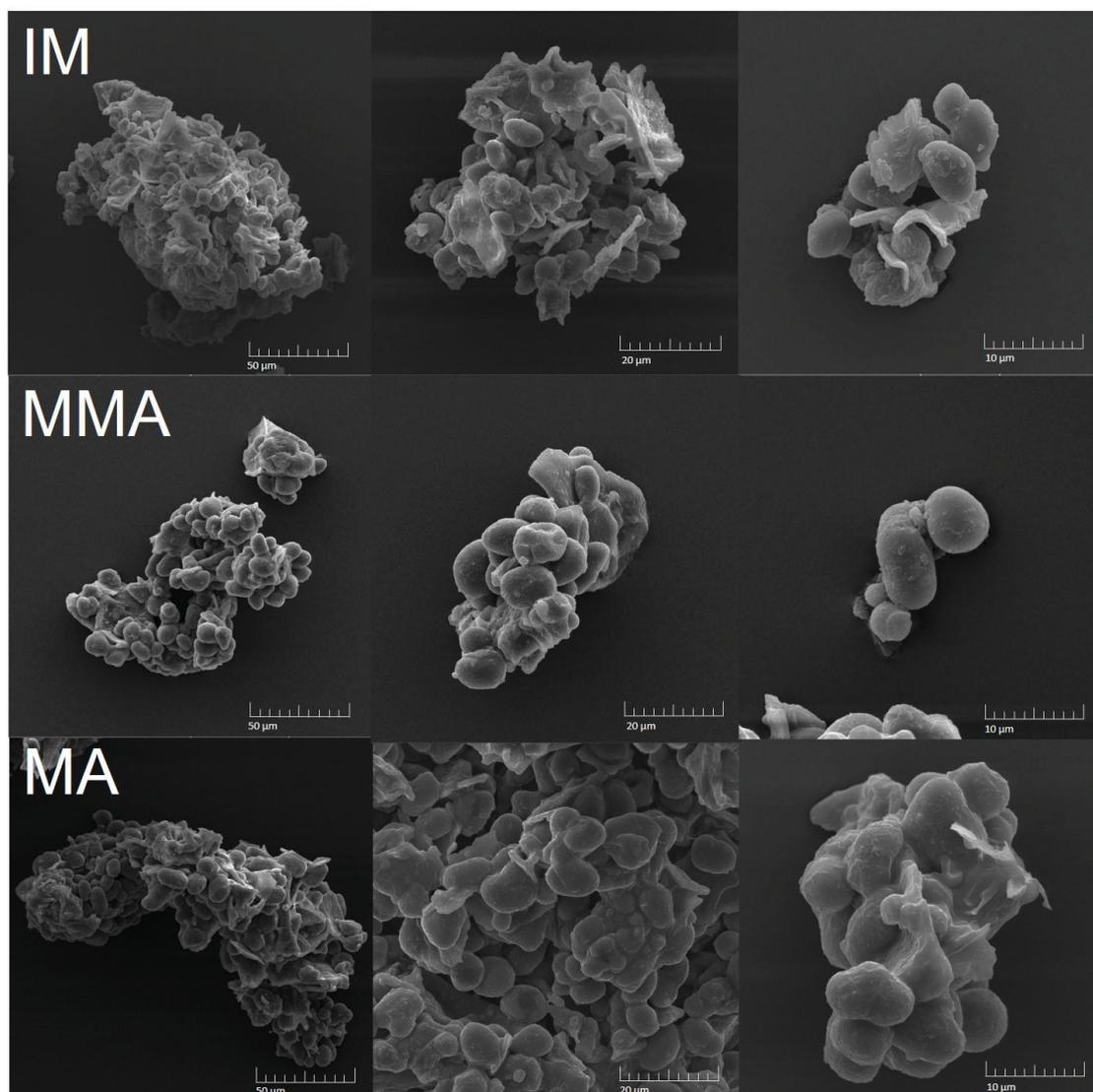
As diferenças observadas no parâmetro de cristalinidade das farinhas podem ter sido influenciadas pela presença de outros compostos adicionais, como fibras, lipídeos, proteínas e matéria mineral, afetando a leitura, cujo foco eram os grânulos de amido.

### 3.8. MORFOLOGIA

#### 3.8.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise morfológica das partículas de farinha permitiu identificar possíveis componentes nas amostras estudadas. Segue na FIGURA 12 a comparação entre diferentes ampliações (1500, 3000 e 6000 vezes) das farinhas da semente nos três estádios de maturação diferentes.

FIGURA 12. MICROGRAFIAS DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES DIMENSÕES (1500, 3000 E 6000 VEZES) E ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)



FONTE: A autora (2019)

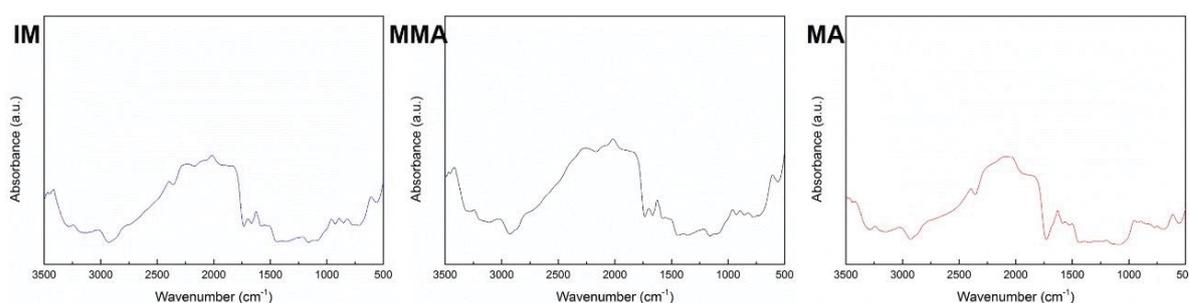
A partir da verificação via microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível observar que as três farinhas de semente sugerem a presença partículas de amido em meio a fibras. A suposição decorre dos resultados de composição centesimal, obtidos analiticamente das amostras, bem como os dados térmicos e de difratometria discutidos anteriormente.

Embora o grânulo de amido não apresente diâmetro padrão, o seu formato costuma ser caracteristicamente redondo, ovalado, poligonal e cilíndrico (MALI et al., 2004), corroborando com a constatação morfológica dos ensaios.

### 3.9. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO INFRAVERMELHA (FTIR)

As farinhas de sementes correspondentes aos três estádios de maturação do achachairu exibiram perfis de FTIR semelhantes, mostrando mudanças comportamentais nas bandas presentes nos intervalos entre 3325-2930  $\text{cm}^{-1}$ , pico central em aproximadamente 2165  $\text{cm}^{-1}$  e faixa de 1775 a 960  $\text{cm}^{-1}$  no final dos gráficos (FIGURA 13).

FIGURA 13. CARACTERIZAÇÃO VIA FTIR DAS FARINHAS DE SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM: IMATURO, MMA: MEDIAMENTE MADURO E MA: MADURO)



FONTE: A autora (2019)

As vibrações observadas na região de absorção 3700-3000  $\text{cm}^{-1}$ , mostradas no primeiro intervalo do estudo, correspondem ao alongamento dos grupos hidroxila (O – H), possivelmente de ligações contendo a molécula D-glicose, um carboidrato comumente encontrado em amidos (GORDILLO et al., 2014). O pico no final desta banda na região em 2165  $\text{cm}^{-1}$  indica a presença de grupos alifáticos, devido ao alongamento assimétrico do grupo –CH (HASANVAND et al., 2015).

Nos três ensaios, o pico observado na faixa próxima a 2200  $\text{cm}^{-1}$  sugere a presença de proteína na composição da amostra, uma vez que a região é caracterizada pelo alongamento do grupo –CN (EL-HAMSHARY, EL-NEWEHY e AL- DEYAB, 2011).

A segunda faixa selecionada, entre 1775 e 960  $\text{cm}^{-1}$ , pode ser dividida em duas regiões, a primeira compreende a banda entre 1775 e 1190  $\text{cm}^{-1}$ , sendo caracterizada por picos de absorção de compostos como proteínas e lipídios, além de grupos metil; a segunda abrange a faixa entre 1190 e 960  $\text{cm}^{-1}$ , que contém anéis polissacarídicos e deformações angulares de ligações –OH (LIMA

et al., 2012). Picos de absorção de álcoois e éteres secundários e primários (C-O-C) também foram observados nesta banda, cuja detecção pode estar relacionada com a presença de água ligada na região amorfa dos grânulos de amido (BARBI et al., 2018).

A região localizada nos comprimentos de banda na faixa de 1646 e 1300  $\text{cm}^{-1}$  também exibe absorções relacionadas à vibração da água, (ZHANG et al., 2007). Foi possível, portanto, identificar graficamente uma diferença entre as amostras em aproximadamente 1600  $\text{cm}^{-1}$ , que foi mais pronunciada para a farinha de semente MA, cuja umidade (15,1%) é maior que a das demais amostras (5,3% para a IM e 11,6% para a farinha de sementes MMA). Em valores abaixo de 900  $\text{cm}^{-1}$ , foram identificadas algumas bandas exibindo propriedades características de amido, que incluem picos de absorção relacionados ao grupo COC em ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 (GORDILLO et al., 2014; HASANVAND et al., 2015).

Segundo DUARTE et al. (2002), a espectroscopia FTIR, além de revelar os grupos funcionais de uma amostra, pode ser utilizada como alternativa para indicar o grau de maturação de um analito, uma vez que estabelece a presença ou ausência de alterações durante a coleta simultânea de dados espectrais. Portanto, a análise foi realizada tanto para entender a estrutura das farinhas quanto para determinar se o estágio de maturação teve algum efeito na conformação molecular destas. Além disso, a técnica possibilitou confirmar a presença de amido nas farinhas, apontando que o teor de carboidratos, identificado na análise da composição centesimal, inclui não apenas o amido, mas também outros açúcares.

#### 4. CONCLUSÃO

As farinhas de semente de achachairu, a partir de três estádios de maturação, possuem altos teores de fibras alimentares, sugestiva presença de amido, fundamentada pelas análises térmicas, e compostos bioativos, comprovado pela identificação de ácidos fenólicos (gálico, cumárico, ferúlico e vanílico), flavonoides (catequina, hesperetina e rutina) e o alcaloide quinina. O estudo indica usos potenciais para produtos feitos a partir da farinha de semente de achachairu como alimentos fontes de compostos funcionais e antioxidantes.

Diante dos resultados apresentados, foi possível afirmar que a caracterização da farinha de semente de achachairu expõe uma abertura promissora para pesquisas futuras no que diz respeito à composição e potenciais aplicações da fruta, principalmente da farinha obtida a partir de sementes maduras. Este estudo fornece, portanto, informações importantes, especialmente tendo em vista a falta de dados científicos publicados sobre essa matriz frutífera. Além disso, a pesquisa realizada sugeriu a utilização das sementes de achachairu como um coproduto, uma vez que estas atualmente são tratadas como materiais de descarte.

### **CAPÍTULO 3**

EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO PRESENTE NA FARINHA DE  
SEMENTE DE ACHACHAIRU EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

## RESUMO

Com o objetivo de obter os amidos das sementes de achachairu (*Garcinia humilis*), nos estádios imaturo e maduro, foram realizadas três formas de extração: neutra, ácida e alcalina. Os amidos extraídos foram caracterizados quanto a sua composição centesimal e suas propriedades antioxidantes, morfológicas, térmicas e de espectrometria. O maior rendimento foi correspondente à extração neutra, em contraste com a obtida na extração ácida, que mostrou por estrutura morfológica e composição centesimal uma maior pureza. Os amidos obtidos das matrizes maduras podem ser caracterizados como *high-amilose*, com teores superiores a 50%. Em relação aos atributos de viscosidade, os amidos confirmaram os teores de amilose aparente, com destaque para os provenientes do estágio maduro. Os amidos apresentaram conteúdo antioxidante, especialmente os obtidos via extração neutra. Esses resultados sugerem que os amidos de sementes de achachairu possuem atributos viáveis para diferentes aplicações, especialmente no desenvolvimento de filmes biodegradáveis.

Palavras-chave: amilose, amilopectina, viscosidade, análise térmica, cristalinidade

## 1. INTRODUÇÃO

No setor produtivo, a busca por inovações tecnológicas inclui novos ingredientes que apresentem características e estruturas distintas, dentre estes estão os amidos não convencionais. Este tipo de material é extraído de fontes cujas propriedades trazem diferenciais em aplicabilidade e conteúdo nutricional diferentemente dos amidos convencionais que são muito utilizados atualmente (BARBOSA, 2013; KIM et al., 1995). Diante disso, há um crescente interesse por novos cultivares para obtenção de amido, além do potencial no reaproveitamento de matrizes vegetais subutilizadas (PINTO et al., 2015; WANG et al., 2011).

O amido é a principal fonte de calorias para a dieta humana, além de ser a reserva de carboidratos mais significativa das plantas, pois trata-se de um componente não tóxico e renovável (HORNUNG, OLIVEIRA e ROSA, 2016).

As propriedades estruturais do amido desempenham função significativa no processamento de alimentos, bem como no desenvolvimento de novos produtos (SANGSEETHONG, TERMVEJSAYANON e SRIROTH, 2010). De um modo geral, o setor de alimentos representa o maior consumo de amido, sendo este também destinado ao processo de diversos materiais em indústrias de papel, produtos químicos, farmacêuticos e têxteis (HORNUNG et al., 2016; de OLIVEIRA et al., 2014).

Neste contexto, o amido derivado de sementes de achachairu representa uma fonte alternativa a ser incorporada ao setor industrial, uma vez que as sementes (em torno de 15% do fruto) contam com uma composição rica em carboidratos. Diferentes técnicas de extração de amido não convencional têm obtido espaço, uma vez que alterações como pH da solução utilizada nos tratamentos pode resultar em amidos com características variáveis, facilitando o direcionamento de aplicação dos amidos conforme as vantagens obtidas (MANIGLIA e TAPIA-BLÁCIDO, 2016; ALCÁZAR-ALAY, ANGELA e MEIRELES, 2015; VILLARREAL, RIBOTTA e ITURRIAGA, 2013). As aplicações de amidos não convencionais incluem a elaboração de filmes biodegradáveis, a substituição de gorduras em embutidos, empanados, hambúrgueres, preparação de massas sem glúten e o encapsulamento de compostos (NOGUEIRA, FAKHOURIB e OLIVEIRA, 2018; SILVA, et al., 2019).

O achachairu é uma fruta pertencente ao gênero *Garcinia*, da família Clusiaceae e espécie *humilis*. Trata-se de uma planta originária da Bolívia, embora apresente desenvolvimento em regiões brasileiras distintas. A espécie, especialmente sua semente, contribui em diferentes funções no organismo, tais como ação cicatrizante, digestiva, laxante, combate ao reumatismo, úlcera gástrica e inflamação (DAL MOLIN et al., 2012). Além disso, tanto as folhas quanto os frutos são constituídos por compostos biflavonoides e benzenos, cujo potencial é relacionado com atividades imunotóxicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e anticancerígenas (CURY, GISBERT e PORCEL, 2016). No que diz respeito à semente de achachairu, até o momento não há estudos referentes à obtenção de amido, contudo algumas pesquisas apontam potencial antioxidante similar ao da própria fruta (BAGATTOLI, 2013; VIRGOLIN, SEIXAS e JANZANTTI, 2017).

Embora exista comprovação científica das características funcionais do fruto, as informações ainda são muito limitadas, especialmente em referência à semente, a qual é tratada como um resíduo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAL**

As sementes de achachairu foram obtidas de frutos coletados na região rural da cidade de Corupá (S26°25'01,9"; W49°18'07,5"), no estado de Santa Catarina, Brasil, em diferentes árvores da mesma localidade, nos meses de dezembro e abril, respectivos aos estádios de maturação: imaturo (IM) e maduro (MA). Optou-se por analisar apenas dois estádios de maturação, visto que a caracterização da fase mediamente madura é similar ao estágio maduro (Capítulo 2). Os achachairus foram higienizados com solução aquosa de hipoclorito de sódio a 1% e tiveram suas sementes removidas da polpa, encaminhadas para congelamento (-80 °C) e liofilizadas (Benchtop Pro 8L XL-70, Virtis Sp Scientifica) sob as condições de operação de 31 mT de pressão a vácuo e -74,3 °C de temperatura. Após o processo de secagem, as sementes foram transformadas em farinha por meio do moinho de facas (MA630/1, Marconi

Ltda., Brasil), resultando em uma amostra fina (45 mesh). As farinhas obtidas foram armazenadas em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD), seladas a vácuo e estocadas sob temperatura de refrigeração (4 °C) até a extração dos amidos.

## 2.2. MÉTODOS

### 2.2.1. Extração e rendimento de amido

As farinhas de semente, preparadas a partir dos estádios imaturo (IM) e maduro (MA) do achachairu, foram submetidas a três formas de extração: neutra, utilizando água destilada para a retirada do amido, ácida, com a aplicação de ácido ascórbico na extração, e alcalina, usando hidróxido de sódio para a remoção do amido da farinha, obtendo-se os amidos neutros (AN), ácidos (AAC) e alcalinos (AAL), respectivamente.

#### 2.2.1.1. Extração neutra

Para a extração neutra, seguiu-se o método conforme descrito por HORNUNG et al. (2017) com adaptações. Inicialmente, a farinha das sementes foi imersa em água destilada na proporção de 1:2 (m/v) e pH 7,0. Em seguida, a solução foi armazenada sob refrigeração a 4 °C durante 24 horas, conforme método adaptado descrito por MANIGLIA e TAPIA-BLÁCIDO (2016). Após esse período a amostra foi homogeneizada em liquidificador industrial pelo período de 3 minutos e coada via peneira de abertura 50 mesh, cujo material retido seguiu para a centrifugação a 1500 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi novamente suspenso em água destilada. Por fim, a solução resultante foi filtrada a vácuo com auxílio de papel filtro qualitativo. O sólido filtrado seguiu para secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C durante 24 horas. A amostra seca passou por moagem e peneira com abertura referente a 60 mesh, em seguida foi armazenada em sacos de polietileno de baixa densidade sob refrigeração e proteção da luz.

#### 2.2.1.2. Extração ácida

Na extração ácida seguiu-se o método descrito por MANIGLIA e TAPIA-BLÁCIDO (2016) com adaptações. As farinhas matrizes foram embebidas em solução aquosa de ácido ascórbico na concentração de 1% (m/v) e proporção 1:2, com controle de pH mantido em 4,0. A solução permaneceu durante 18 horas em ambiente refrigerado a 5 °C. Após o período de descanso, a mistura seguiu para a homogeneização em liquidificador industrial durante 3 minutos e posterior peneiramento em malha de abertura 50 mesh. O material retido na malha foi centrifugado a 1500 rpm durante 10 minutos, onde o sobrenadante foi descartado e o precipitado foi novamente suspenso em água destilada. O procedimento repetiu-se até atingir pH igual a 7,0 na mistura. O material final foi filtrado a vácuo, utilizando papel qualitativo e em seguida foi colocado em estufa com circulação de ar a 40 °C durante 6 horas. Por fim, o amido resultante passou por moagem e padronização em malha correspondente à abertura de 60 mesh. A amostra obtida foi armazenada em sacos de polietileno sob refrigeração e proteção da luz.

#### 2.2.1.3. Extração alcalina

Na extração alcalina também se utilizou o método conforme descrito por MANIGLIA e TAPIA-BLÁCIDO (2016) com algumas modificações. O procedimento teve início com a inserção da farinha em solução aquosa com a presença de NaOH 0,25%, na proporção de 1:2 (m/v). O pH da mistura foi mantido no valor de 10. Armazenou-se a solução sob refrigeração (5 °C) durante 18 horas e em seguida destinou-se a mesma à homogeneização em liquidificador industrial durante 3 minutos, cujo material resultante foi peneirado via peneira de abertura 50 mesh. Por fim, a solução foi centrifugada a 1500 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante seguiu para descarte e o precipitado foi re-suspenso em água destilada, formando uma nova solução que foi neutralizada com auxílio de HCl 1M. A mistura foi filtrada a vácuo por meio de papel filtro qualitativo e o material seguiu para a etapa de secagem em estufa com circulação de ar em temperatura de 40 °C, durante 6 horas. O amido obtido seco

foi peneirado em mesh 60 e embalados em sacos de polietileno de baixa densidade local livre de luz e sob refrigeração.

#### 2.2.1.4. Rendimento

O rendimento de cada técnica de extração visou comparar a diferença entre as mesmas em termos de massa resultante. Para esta determinação seguiu-se o método conforme descrito por WANG e CHONG (2006), com adaptações.

Para calcular o rendimento, previamente à aplicação de cada técnica de extração, identificou-se a massa de farinha matriz destinada à cada obtenção de amido. Conhecendo a massa de farinha inicial e a massa obtida de amido correspondente à extração em estudo, determinou-se o rendimento a partir da equação 1, conforme segue.

$$\text{Rendimento de amido (\%)} = \frac{\text{Massa do amido obtido}}{\text{Massa inicial da farinha}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

#### 2.2.2. Composição centesimal e teor de amilose

A caracterização centesimal dos amidos consistiu nas análises de umidade, cinzas, proteínas totais e fibras alimentares totais, respectivas aos protocolos da AOAC (2000): 934.01, 942.05, 990.03 e 985.29. O teor de lipídeos foi determinado de acordo com o método de BLIGH e DYER (1959) e a quantificação de carboidratos totais foi calculado por diferença em relação às demais concentrações.

A determinação do teor aparente de amilose dos amidos foi obtida por meio do método colorimétrico descrito por MARTINEZ e CUEVAS (1989), baseado na transmissão de luz via complexo colorido formado pela amilose sob reação com o iodo.

### 2.2.3. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

A determinação da atividade antioxidante foi avaliada no extrato metanólico dos amidos obtidos pelo método descrito por PANTÈLIC et al. (2016). Os preparados foram destinados às análises de compostos fenólicos totais e antioxidantes (DPPH, FRAP e ABTS). Na determinação dos compostos fenólicos totais aplicou-se o método espectrofotométrico Folin-Ciocalteu, baseado no procedimento descrito por SINGLETON, ORTHOFER e LAMUELA-RAVENTOS (1965). O método DPPH (1,1-dienil-2-picrilhidrazila) foi realizado conforme relatado por BRAND-WILLIAMS, CUVELIER e BERSET (1995) e quantificou a capacidade do potencial de sequestro do radical DPPH via absorvância (515 nm). Na identificação do poder antioxidante relativo à redução do íon ferro (FRAP), foi aplicado o método proposto por BENZIE e STRAIN (1996). A atividade antioxidante dos amidos determinada via ABTS (2,2-azino-bis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico) seguiu o método descrito por RE et al. (1999).

### 2.2.4. Morfologia

Os grânulos de amido (AN, AAC e AAL) foram verificados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) por meio do microscópio Tescan Vega 3 (Kohoutovice, Czech Republic). Previamente à leitura, as amostras foram preparadas sendo dispostas em suportes adesivos de cobre e metalizadas com ouro por revestimento a vácuo SCD 030. As micrografias foram verificadas nas ampliações de 1500 e 4500 vezes sob aceleração de 15 kV e baixo vácuo. A determinação do tamanho das partículas foi realizada no software ImageJ free (versão 1.49 v).

### 2.2.5. Difratomia de raio X (DRX)

Os padrões de difratometria (DRX) dos amidos foram verificados pelo difratômetro de raios-X (Bruker - modelo D8 Advance), utilizando a radiação Cu K  $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) configurada em 40 kV e 20 mA. A medição da radiação dispersa foi detectada no intervalo angular entre  $5^\circ$  a  $80^\circ$  ( $2\theta$ ), com velocidade de escoamento correspondente a  $2^\circ/\text{min}$ , ao passo de  $0.041^\circ$ . A construção

gráfica foi desenvolvida a partir do software Origin 8.6 (OriginLab, Massachusetts, EUA).

#### 2.2.6. Propriedades térmicas

As curvas termogravimétricas (TG/DTG) foram obtidas pelo sistema Perkin Elmer TGA 4000 (Perkin Elmer Inc., Waltham, Massachusetts, EUA) via adaptação do método descrito por HORNUNG et al. (2016). Utilizou-se aproximadamente 6 mg de cada amostra, analisadas sob aquecimento entre as temperaturas de 30 °C e 750 °C em uma taxa de 10 °C min<sup>-1</sup>.

Os gráficos de calorimetria de varredura diferencial (DSC) foram obtidos no equipamento DSC 8000 (Perkin Elmer Inc., Waltham, Massachusetts, EUA). As amostras, previamente hidratadas na proporção de 4:1 (água:amido, m/m), foram submetidas a uma razão de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, iniciando em 30 °C até atingir 100 °C. A análise ocorreu sob atmosfera de nitrogênio (20 mL/min).

Os resultados obtidos a partir das curvas de TG/DTG e DSC foram lidos no software Pyris™ (Perkin Elmer Inc., Waltham, Massachusetts, EUA).

#### 2.2.7. Viscosidade de pasta

O comportamento de pasta dos amidos (AN, AAC e AAL) foi verificado por meio do “Rapid Visco Analyser” (RVA) (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia), utilizando 2,5 g de cada amostra em 30 mL de água destilada. O método aplicado seguiu o procedimento descrito por RAVI, MANOHAR e RAO (1999), conforme consta na Associação Internacional de Ciência e Tecnologia dos Cereais (ICC, 1995). As propriedades avaliadas nesta análise determinaram o pico de maior viscosidade, a viscosidade final, a tendência à retrogradação, o tempo necessário para atingir o pico de viscosidade e a temperatura média de pasta dos amidos.

#### 2.2.8. Espectroscopia de absorção infravermelha (FTIR)

Para a realização da análise de espectroscopia de absorção por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) seguiu-se o método descrito

por MANIGLIA e TAPIA-BLÁCIDO (2016). A leitura foi a partir de um espectrofotômetro de infravermelho Vertex 70 (Bruker, USA), efetuada na faixa espectral entre 400 e 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 1024 varreduras.

#### 2.2.9. Análise estatística

Os dados obtidos experimentalmente foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de confiança de 95% ( $p < 0.05$ ). Para os tratamentos estatísticos foi utilizado o programa STATISTICA 10.1 Software (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

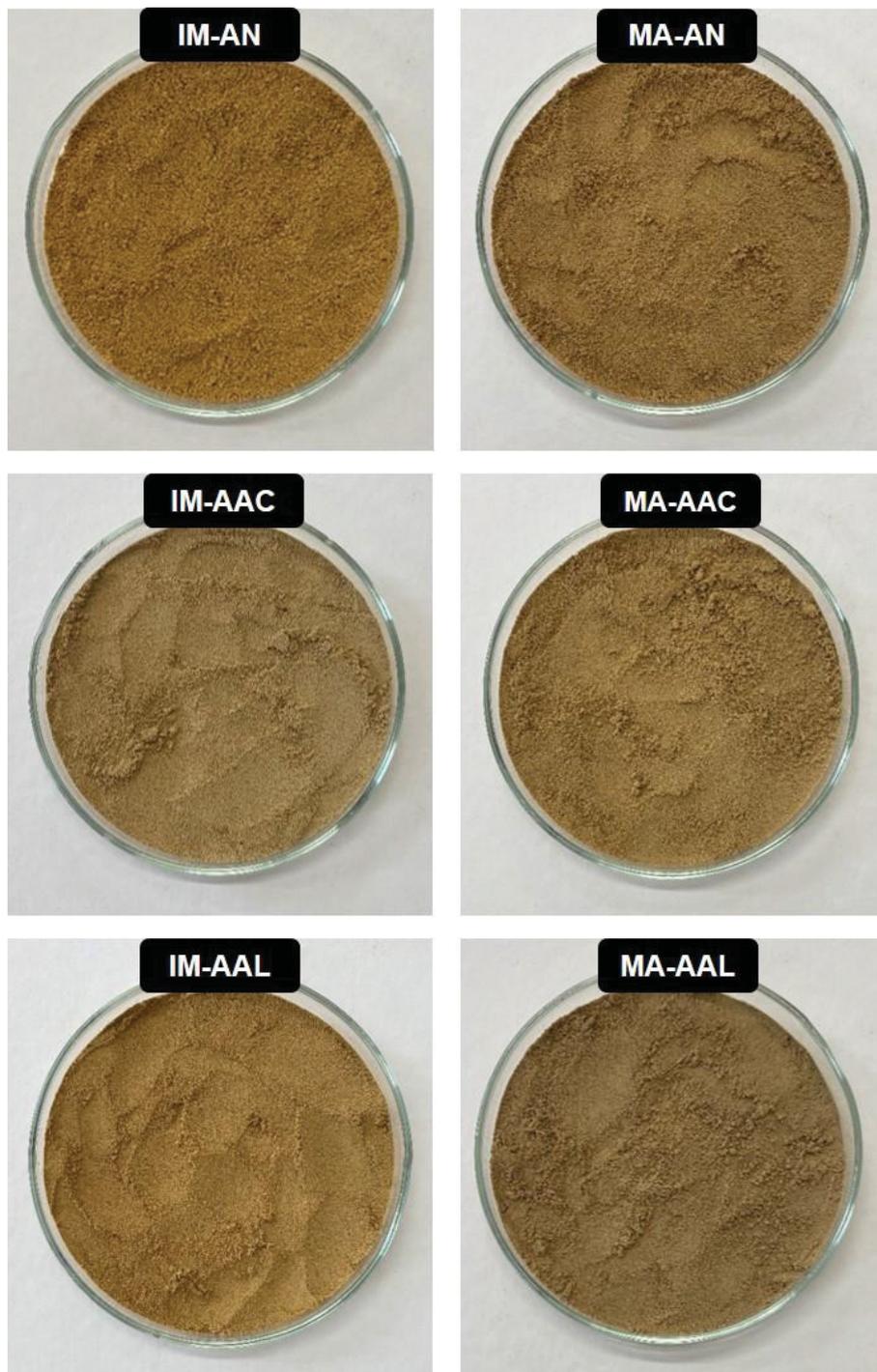
#### 3.1. EXTRAÇÃO E RENDIMENTO DE AMIDO

A aplicação de diferentes métodos de extração de amido visou identificar a singularidade inerente à técnica. Em relação ao método e ao estágio de maturação das farinhas de semente, observou-se que os amidos obtidos (FIGURA 14) mostraram diferença no teor de rendimento de suas extrações. Seguem os resultados na TABELA 11.

Outra característica observada foi a intensidade de cores nos amidos. De acordo com SAJILATA et al. (2006), os amidos comerciais apresentam coloração branca e sabor insípido, objetivando a neutralidade de sua aplicação. A manifestação colorimétrica visível nos amidos das sementes de achachairu foi, possivelmente, proveniente da película presente em torno da semente, cuja aderência impossibilitou sua separação no processo de obtenção das farinhas. Esta película apresenta tonalidade entre as cores amarela e marrom. A técnica de extração também pode ter impactado neste atributo físico, uma vez que o agente utilizado em cada extração possui capacidade específica de desprender compostos como lipídeos, fibras e proteínas, sendo o tratamento ácido o mais eficiente nesta hidrólise, produzindo amidos com menores concentrações de interferentes (GONÇALVES, et al. 2014). Por fim, a presença de compostos

bioativos também pode conferir coloração, visto que pigmentos naturais são facilmente encontrados numa diversidade de frutos (RODRIGUEZ-AMAYA, KIMURA e AMAYAFARFAN, 2008).

FIGURA 14. AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)



FONTE: A autora (2019)

TABELA 11. RENDIMENTO MÉDIO DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

<b>Amostras</b>	<b>Rendimento médio (g.100.g<sup>-1</sup>)</b>
IM-AN	38,40 <sup>bc</sup> ± 1,5
IM-AAC	23,40 <sup>d</sup> ± 2,5
IM-AAL	28,32 <sup>cd</sup> ± 1,8
MA-AN	62,43 <sup>a</sup> ± 1,0
MA-AAC	21,15 <sup>d</sup> ± 2,7
MA-AAL	43,84 <sup>b</sup> ± 2,0

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

Dentre as técnicas de extração aplicadas, foi observado um maior valor de rendimento para o método de obtenção do amido neutro em ambos estádios de maturação. Na extração alcalina, verificou-se que o estágio maduro proporcionou o montante de 43,84 g.100g<sup>-1</sup> de amido, semelhante ao teor identificado por VILLARREAL, RIBOTTA e ITURRIAGA (2013), que obtiveram amido da farinha de amaranto via extrações alcalina e alcalina combinada com digestão proteolítica (45,29 e 46.18 g.100g<sup>-1</sup>, respectivamente). As menores quantificações corresponderam ao amido obtido via extração ácida, cuja média não apresentou diferença entre os estádios de maturação.

Supõe-se que o maior rendimento esteja relacionado com o conteúdo de outros constituintes que podem ter sido carregados durante a extração e contabilizados no montante final de amidos. Esta consideração pode ser verificada por meio da composição centesimal, discutida a seguir. A presença de constituintes não amiláceos nos amidos está relacionada com os métodos aplicados durante o processo de extração, além de variáveis como etapas adicionais de purificação, estágio de maturação e condições na preparação da matriz (ABDEL-AAL et al., 2020).

A pureza do amido pode ser prejudicada devido à capacidade de interação entre as moléculas de carboidratos com constituintes derivados das matrizes vegetais. Estes compostos incluem lipídeos, proteínas e fibras, e são frequentemente aderentes às superfícies ou também associados entre os grânulos de amido (TESTER et al., 2007).

### 3.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E TEOR DE AMILOSE

A avaliação referente à composição centesimal, bem como o teor aparente de amilose, permitiu identificar as diferenças tanto em relação ao estágio de maturação, quanto à técnica de extração aplicada. Os dados resultantes seguem na TABELA 12.

TABELA 12. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E TEOR DE AMILOSE APARENTE DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

Amostras	Umidade (g.100.g <sup>-1</sup> )	Cinzas (g.100.g <sup>-1</sup> bs)	Proteínas (g.100.g <sup>-1</sup> bs)	Lipídeos (g.100.g <sup>-1</sup> bs)	Carboidratos (g.100.g <sup>-1</sup> bs)	Amilose aparente (g.100.g <sup>-1</sup> )
IM-AN	5,75 <sup>b</sup> ± 0,14	0,67 <sup>e</sup> ± 0,031	7,87 <sup>a</sup> ± 0,07	13,73 <sup>a</sup> ± 0,16	71,99 <sup>d</sup> ± 0,34	30,23 <sup>d</sup> ± 0,37
IM-AAC	6,94 <sup>ab</sup> ± 0,25	1,56 <sup>b</sup> ± 0,010	5,10 <sup>c</sup> ± 0,01	10,05 <sup>c</sup> ± 0,01	76,36 <sup>b</sup> ± 0,24	40,58 <sup>c</sup> ± 0,27
IM-AAL	6,64 <sup>b</sup> ± 0,01	1,64 <sup>a</sup> ± 0,005	6,26 <sup>b</sup> ± 0,01	12,04 <sup>b</sup> ± 0,07	73,43 <sup>c</sup> ± 0,01	41,22 <sup>c</sup> ± 0,71
MA-AN	7,90 <sup>a</sup> ± 1,14	0,45 <sup>f</sup> ± 0,008	3,13 <sup>e</sup> ± 0,08	11,94 <sup>b</sup> ± 0,12	76,58 <sup>ab</sup> ± 1,17	52,21 <sup>b</sup> ± 2,19
MA-AAC	6,32 <sup>b</sup> ± 0,01	0,96 <sup>c</sup> ± 0,003	3,27 <sup>e</sup> ± 0,02	11,65 <sup>b</sup> ± 0,11	77,80 <sup>a</sup> ± 0,15	56,60 <sup>a</sup> ± 0,61
MA-AAL	6,94 <sup>ab</sup> ± 0,13	0,84 <sup>d</sup> ± 0,016	3,79 <sup>d</sup> ± 0,07	11,99 <sup>b</sup> ± 0,39	76,44 <sup>ab</sup> ± 0,20	57,71 <sup>a</sup> ± 0,97

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

bs = base seca

Na caracterização da composição centesimal foi possível identificar que os teores de umidade dos amidos variaram entre 5,75 e 7,90 g.100g<sup>-1</sup>. Os valores observados encontram-se dentro do limite imposto pela resolução brasileira 263/05, descrita pela Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA), cujo requisito de umidade máxima para amidos obtidos de cereais corresponde o limite máximo de 15,0 g.100g<sup>-1</sup> (m/m) (BRASIL, 2005).

Dentre as técnicas de extração, verificou-se que o método neutro manteve a maior quantidade de proteínas (7,87 g.100g<sup>-1</sup>) e lipídios (13,73 g.100g<sup>-1</sup>) nos amidos provenientes das sementes imaturas. De acordo com DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA (2010), nas fontes vegetais a maior parte das proteínas são solúveis em pH alcalino, contudo, a extração utilizando o ácido ascórbico resultou em uma maior eficiência na remoção dos teores de proteínas, contabilizando 5,10 g.100g<sup>-1</sup> na amostra IM e 3,27 g.100g<sup>-1</sup> na amostra MA, e de

lipídeos resultou em  $10,05 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  na amostra IM e  $11,65 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  na amostra MA, gerando conseqüente maior rendimento de carboidratos em ambos os estádios, sugerindo portanto, maior pureza dos amidos obtidos nesta extração. A associação entre os metabólitos e a biossíntese de compostos no processo de formação da semente são dependentes de outros fatores como clima, solo e demais condições de cultivo. Portanto, são necessárias as análises proteômicas e metabolômicas para compreender completamente o comportamento dos produtos de armazenamento que constituem uma semente (SINGHA et al., 2019).

Em relação ao teor de amilose, as extrações: ácida e alcalina não demonstraram diferença significativa quando comparadas em um mesmo estádio de maturação, entretanto observou-se um maior conteúdo da amilose nestas, possivelmente devido ao efeito da modificação do pH da solução, uma vez que nestas condições os lipídeos se solubilizam, diminuindo a presença dos complexos amilose-lipídeo e permitindo, portanto, a lixiviação da molécula de amilose (MANIGLIA e TAPIA-BLÁCIDO, 2016).

De acordo com LINEBACK (1984), embora a variação do teor de amilose aparente seja decorrente da origem vegetal do amido, de um modo geral, este conteúdo apresenta-se entre 20 a 30% em amidos provenientes de cereais e em torno de 17% nos amidos de mandioca. Ainda de acordo com o autor, os amidos constituídos apenas por amilopectina são denominados como cerosos ou waxy e podem ser verificados em algumas variedades amiláceas de milho, cevada e arroz. Amidos contendo teores de amilose superior a 50% são chamados de *high-amilose* e apresentam aplicações diferenciadas devido suas propriedades de viscosidade opostas aos amidos cerosos.

Os teores de amilose aparente encontrados foram superiores a 30% em todos os amidos, com valores menores nos amidos obtidos via extração neutra ( $30,23 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  para o IM-AN e  $52,21 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  para o MA-AN).

De modo geral, em todos os métodos de extração os valores resultantes apontaram quantificação superior de amilose aparente nos amidos MA (entre  $52,21$  a  $57,71 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ), indicando a classificação de *high-amilose* para estas amostras (TABELA 12). Segundo WU, WANG e MA, (2018), no período de amadurecimento da semente ocorrem alterações fisiológicas que podem

impactar no teor aparente de amilose, a qual tende a apresentar maior proporção com o decorrer do tempo.

Amidos caracterizados como *high-amilose* apresentam facilidade no desenvolvimento de filmes e fluidez na formação de géis devido à interação da amilose com as moléculas de água. Estes amidos podem ser aplicados em produtos com necessidade de crocância e proteção contra absorção excessiva de óleo em seu preparo, indicados, portanto, para produtos como *nuggets* e demais empanados. Amidos com alto teor de amilose também apresentam atributos favoráveis na indústria de balas de goma, contribuindo com até 50% das formulações (COLLONA, LELOUP e BULÉON, 1992; PARKER e RING, 2001).

### 3.3. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Conforme identificado nas farinhas da semente de achachairu, os amidos extraídos destas também apresentaram atividade antioxidante, sendo esta levemente inferior às respectivas farinhas, com acentuada redução para os antioxidantes determinados via FRAP. Os dados resultantes seguem na TABELA 13.

TABELA 13. CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL (CFT) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELOS ENSAIOS DPPH, ABTS E FRAP DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

Amostras	TPC (mg GAE.100g <sup>-1</sup> )	DPPH (µmol TE.100g <sup>-1</sup> )	ABTS (µmol TE.100g <sup>-1</sup> )	FRAP (µmol TE.100g <sup>-1</sup> )
IM-AN	969,32 <sup>a</sup> ± 26,03	887,59 <sup>b</sup> ± 1,97	2412,56 <sup>e</sup> ± 4,98	583,39 <sup>a</sup> ± 2,11
IM-AAC	607,37 <sup>c</sup> ± 2,73	773,46 <sup>d</sup> ± 0,01	2510,34 <sup>a</sup> ± 0,01	379,32 <sup>c</sup> ± 0,45
IM-AAL	495,36 <sup>d</sup> ± 8,88	784,31 <sup>c</sup> ± 2,52	2510,20 <sup>a</sup> ± 1,95	226,81 <sup>d</sup> ± 0,69
MA-AN	659,0 <sup>b</sup> ± 14,89	939,95 <sup>a</sup> ± 0,99	2431,98 <sup>d</sup> ± 4,49	457,65 <sup>b</sup> ± 1,40
MA-AAC	245,32 <sup>e</sup> ± 1,37	758,95 <sup>e</sup> ± 1,32	2468,64 <sup>c</sup> ± 1,25	38,47 <sup>f</sup> ± 0,26
MA-AAL	493,91 <sup>d</sup> ± 0,63	782,63 <sup>c</sup> ± 0,01	2478,71 <sup>b</sup> ± 1,24	85,78 <sup>e</sup> ± 0,52

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

De um modo geral, os maiores valores de compostos fenólicos totais (TPC) e atividade antioxidante, pelos métodos DPPH e FRAP, foram identificados nos AN. No entanto, na análise de ABTS, os AAC e AAL mostraram quantificações superiores ao AN. Foi possível identificar também que os amidos provenientes da matriz imatura apresentaram maiores teores de TPC em relação à matriz madura, com diferenças de aproximadamente 32,01%, 59,61% e 0,29% respectivas às extrações neutra, ácida e alcalina. Porém, as maiores reduções foram observadas no método FRAP com redução de 89,86% e 62,18%, do estágio imaturo para o maduro, nas extrações ácida e alcalina, respectivamente.

Nos vegetais, os compostos fenólicos são considerados metabólitos secundários, presentes naturalmente, utilizados como mecanismo de defesa nas plantas e atuantes no desenvolvimento da maturação e no sistema de reprodução do material vegetal (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010). Por este motivo, os frutos imaturos tendem a conter maior proporção de metabólitos secundários quando comparado aos maduros, pois necessitam destes compostos para o seu desenvolvimento. Os resultados obtidos convergem com pesquisas que relatam sobre a diminuição gradativa da concentração de compostos fenólicos à medida que o estágio de maturação dos frutos avança (MAIEVES et al., 2015; SAMPAIO, HAMERSKI e RIBANI, 2015).

A presença de compostos antioxidantes nos amidos de achachairu pode representar uma inovação em termos de desenvolvimento e aplicação de ingredientes. Um exemplo é o emprego de amidos como alternativa de fonte renovável para a produção de filmes biodegradáveis e funcionais. Tal emprego tem sido explorado utilizando a matriz amilácea adicionada de agentes antioxidantes a fim de obter um filme ativo (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010). Dentre estas combinações há estudos sobre o uso de resíduos de beterraba com cápsulas de gelatina (IAHNKE et al., 2016), bagaço de azeitona em quitosana (CRIZEL et al., 2018), farinha de casca de manga (TORRES-LEÓN et al., 2018), além de uma variedade de resíduos provenientes de frutas e vegetais (FERREIRA et al., 2016; ANDRADE, FERREIRA e GONÇALVES, 2016). De acordo com ADILAH et al. (2018), a incorporação de compostos bioativos na elaboração de filmes promove um efeito sinérgico nos mesmos, potencializando a capacidade antioxidante da embalagem.

Diante do apelo ambiental, baixo custo, flexibilidade e transparência atribuídas aos filmes à base de amido (ZAINUDDIN, AHMAD e KARGARZADEH, 2013), sugere-se que os amidos obtidos da semente de achachairu, especialmente da extração neutra, onde verificou-se maior potencial antioxidante, são promissores para a aplicação na indústria de embalagens.

### 3.4. MORFOLOGIA

As estruturas e dimensões dos grânulos de amido são variáveis conforme a fonte botânica, método de obtenção e condições da matriz de extração. Normalmente, os grânulos de amido possuem formato oval, com extremidades arredondadas e diâmetro variável entre 1 a 110  $\mu\text{m}$  (HOOVER, 2001). Segue na TABELA 14 os valores de diâmetro encontrados para as amostras.

TABELA 14. CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL (CFT) E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELOS ENSAIOS DPPH, ABTS E FRAP DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

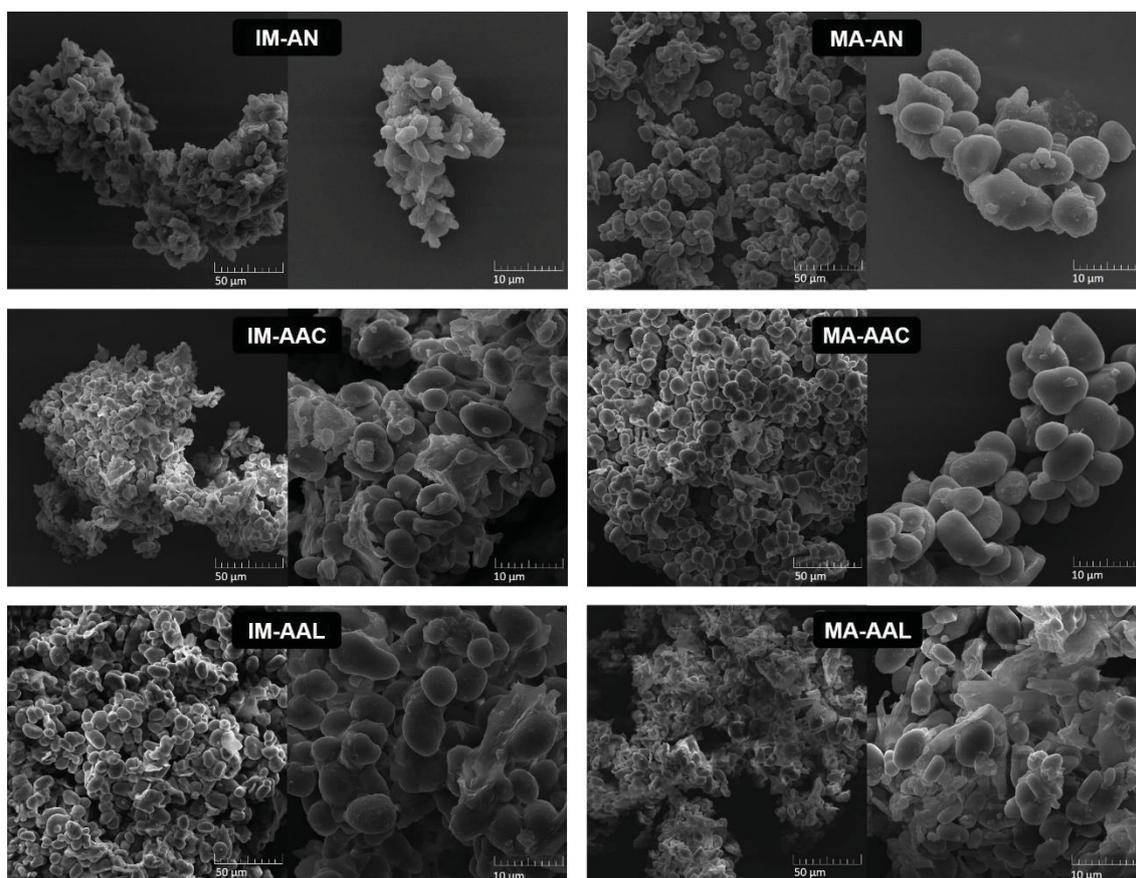
<b>Amostras</b>	<b>Diâmetro médio (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
IM-AN	24,29 <sup>b</sup> $\pm$ 1,09
IM-AAC	21,38 <sup>c</sup> $\pm$ 0,42
IM-AAL	24,63 <sup>b</sup> $\pm$ 0,42
MA-AN	25,84 <sup>b</sup> $\pm$ 0,73
MA-AAC	31,16 <sup>a</sup> $\pm$ 0,43
MA-AAL	21,91 <sup>c</sup> $\pm$ 0,54

Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey.

As dimensões apresentaram variação estreita entre 21,38 e 31,16  $\mu\text{m}$ , valor considerado como diâmetro de tamanho médio, uma vez que dentre os amidos comerciais, as menores dimensões são atribuídas aos amidos de arroz, com 3 a 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro, enquanto os amidos de batata representam as maiores, com diâmetros entre 10 e 110  $\mu\text{m}$ . De modo intermediário, encontra-se o amido de milho, com uma variação dimensional de 5 a 26  $\mu\text{m}$ , e diâmetro médio de aproximadamente 15  $\mu\text{m}$  (SINGH et al., 2003).

Em relação aos formatos identificados, seguem na FIGURA 15 as micrografias dos amidos em estudo, cujas estruturas foram predominantemente ovais.

FIGURA 15. MICROGRAFIAS DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA) E EM DUAS DIMENSÕES (1500 E 4500 VEZES)



FONTE: A autora (2019)

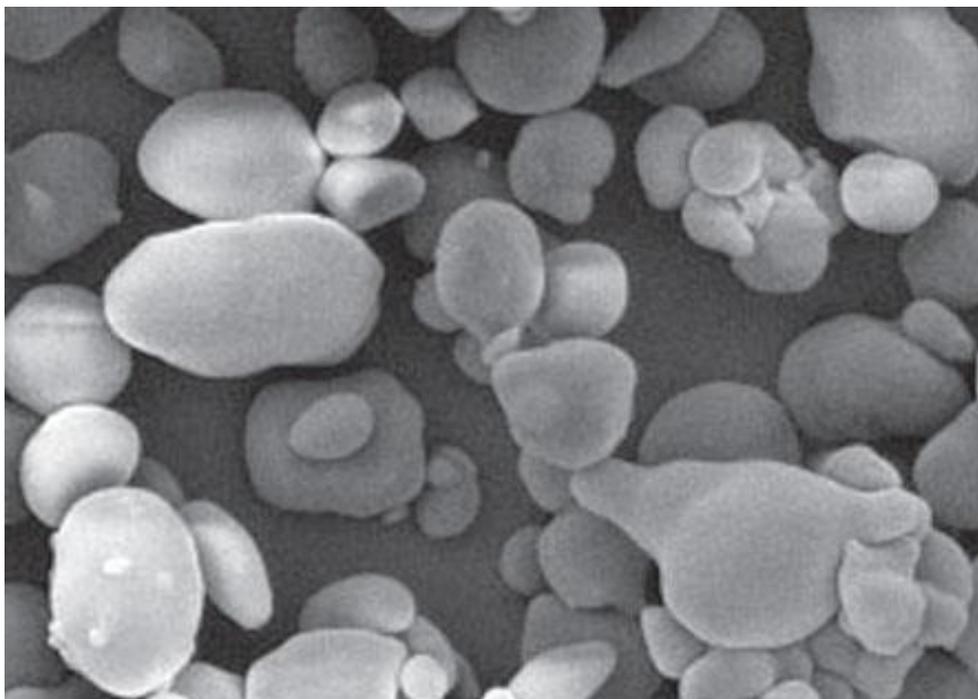
Os AN, embora tenham apresentado aparência correspondente aos grânulos amiláceos, também exibiram outros constituintes ligados em suas estruturas, possivelmente compostos carreados durante o processo de obtenção. Em contrapartida, as micrografias dos AAC mostraram-se mais bem definidos, intactos e sem outras estruturas agregadas aos grânulos, sugerindo elevado grau de pureza da amostra. Esta observação corroborou com os resultados da composição centesimal em ambas as extrações, cujas quantificações proteicas e lipídicas foram superiores para os AN e inferiores para os AAC. PALACIOS-FONSECA et al. (2013) também verificaram que amidos

extraídos a partir de um meio aquoso podem demonstrar traços de outros constituintes, especialmente proteínas. Contudo, SILVEIRA e TÁPIA-BLÁCIDO (2018) afirmam que nenhum dos métodos citados são capazes de produzir amidos completamente puros, uma vez que as soluções propostas não removem todo o conteúdo de proteínas, lipídeos, fibras, compostos fenólicos e carotenoides presentes nas estruturas.

No meio alcalino, observou-se estruturas agrupadas, com grânulos danificados, interligados, indicando ação do reagente utilizado sobre as moléculas de amido. Segundo SUORTTI, GORENSTEIN e ROGER (1998) os grânulos de amido tornam-se vulneráveis ao meio alcalino ocasionando quebras das ligações mais fracas e ionização dos grupos de glicose com o radical hidroxila. Essa ocorrência gera aglomeração da carga residual na estrutura amilácea.

Por fim, de forma comparativa, foi possível observar que as micrografias obtidas se assemelham às estruturas de grânulos de amido caracterizados por elevada concentração de amilose, conforme segue na FIGURA 16. Esta observação corrobora com o resultado obtido na composição centesimal.

FIGURA 16. MICROGRAFIAS DOS GRÂNULOS DE AMIDO COM ALTO TEOR DE AMILOSE



FONTE: WEBER et al. (2009)

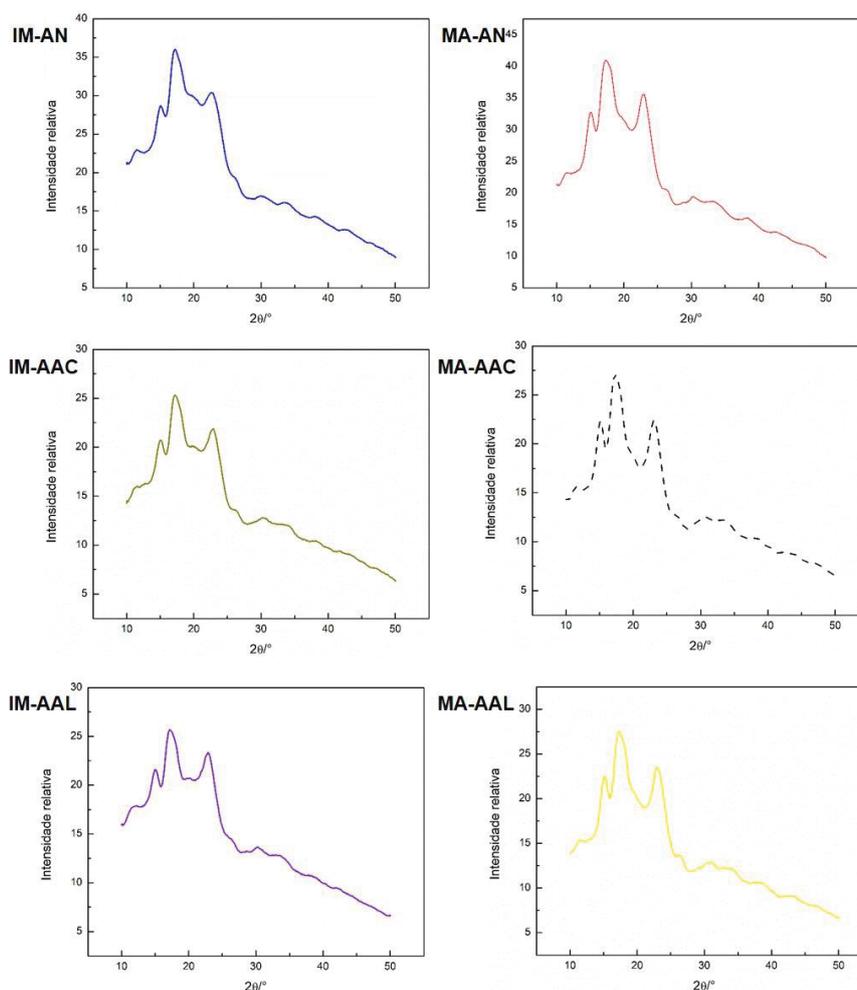
### 3.5. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

Dentre as parcelas amorfas e cristalinas, os amidos avaliados apresentaram picos angulares próximos aos valores de  $15^\circ$ ,  $17^\circ$  e  $23^\circ$ , indicando o padrão C na classificação de cristalinidade dos amidos (SAJILATA, 2006). O tipo C também foi descrito na caracterização de alguns amidos, farelos de banana e em sementes de leguminosas (KARIM, NORZIAH e SEOW, 2000).

O padrão C pode ainda ser subclassificado em Ca, Cb e Cc conforme a similaridade respectiva aos tipos A, B ou entre os dois padrões. Estas variáveis de estrutura são usualmente observadas em algumas raízes e sementes (ELIASSON, 2006; ELIASSON, 2004).

Os gráficos de difratometria dos amidos seguem na FIGURA 17.

FIGURA 17. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)



FONTE: A autora (2019)

A leitura gráfica da difratometria apontou maior definição de picos nos amidos provenientes das matrizes maduras, sem distinção da forma de extração. Embora a classificação tenha permanecido no tipo C, as curvas apontaram tendência ao tipo B, sugerindo a subclassificação dos amidos MA em Cb. Esta correlação pode ser confirmada mediante a comparação com o difratograma descrito para a fécula de batata comercial (LIMA et al., 2012).

De um modo geral, as regiões cristalinas dos grânulos são originadas da parte da estrutura linear presente na molécula da amilopectina, a qual forma estruturas helicoidais duplas, enquanto que a região amorfa é formada por meio das cadeias de amilose e pela parte das ramificações das moléculas de amilopectina (SOUZA e ANDRADE, 2000). Neste sentido, observou-se que a área referente à cristalinidade foi mais evidente nas amostras MA, que apresentaram picos maiores.

No processo de maturação de uma matriz amilácea, verifica-se a conversão da porção cristalina em amorfa devido à degradação parcial do amido, esta transformação resulta no aumento da proporção de amilose (XU, 2013). Estas constatações corroboram com os resultados encontrados no estudo, cujos teores de amilose aparente apresentaram-se mais altos nos estádios maduros, porém, contradizem a relação da cristalinidade com a proporção de amilose e amilopectina. Neste caso, possivelmente, a formação da área cristalina foi proveniente da conformação da dupla hélice e da alta quantificação de cadeias longas nas frações da molécula de amilose, conforme observado por WEBER, COLLARES-QUEIROZ e CHANG (2009), que indicaram essas características em amidos com alto teor de amilose e padrão de cristalinidade com picos similares aos encontrados neste estudo.

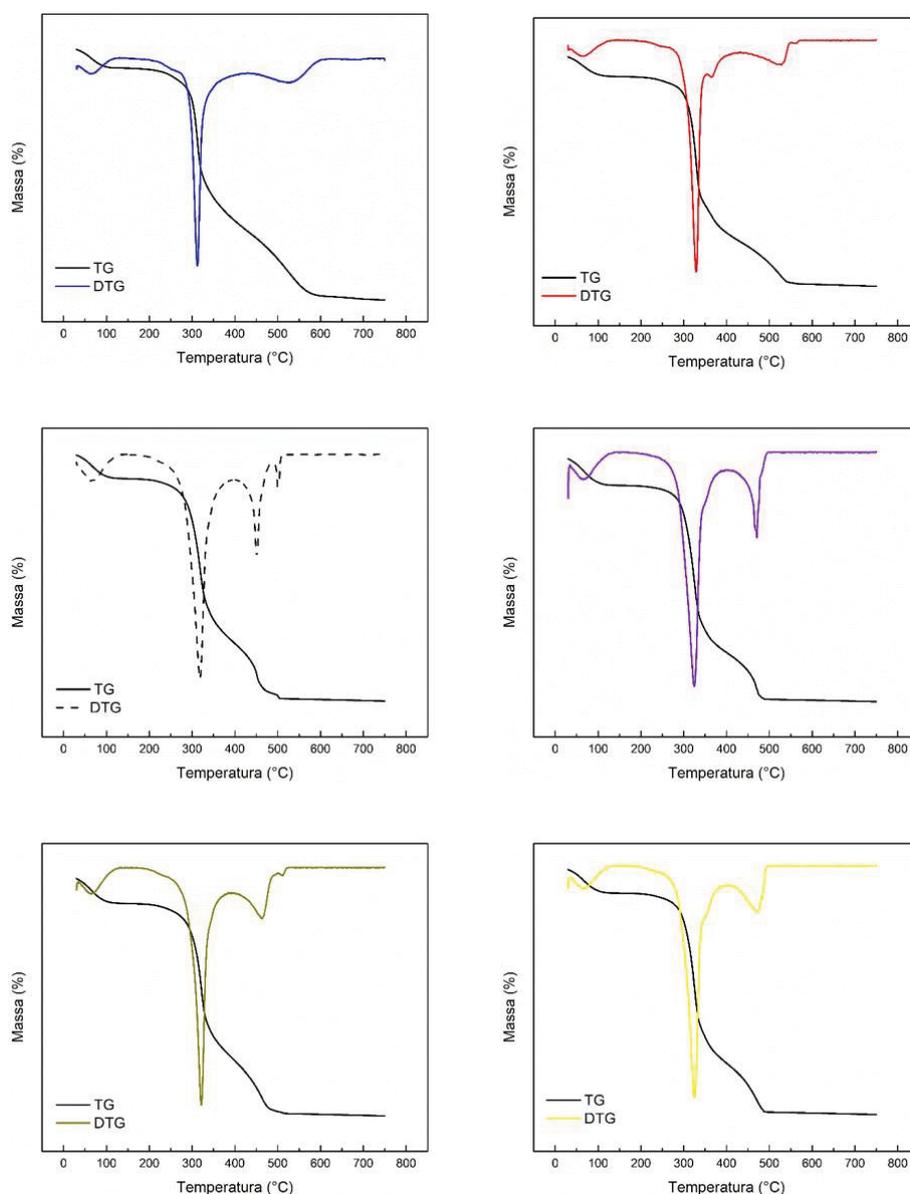
### 3.6. PROPRIEDADES TÉRMICAS

#### 3.6.1. Termogravimetria (TG) e termogravimetria derivada (DTG)

Seguem na FIGURA 18 as curvas termogravimétricas obtidas para os amidos extraídas das farinhas de semente de achachairu.

Através das curvas termogravimétricas observou-se que houve diferença no dimensionamento dos picos das amostras, indicando uma diferença na perda de massa ( $\Delta m$ ) dentre os estádios de maturação e tratamentos dos amidos.

FIGURA 18. CURVAS DE TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)



FONTE: A autora (2019)

Os dados de decomposição das amostras fortaleceram a visualização gráfica, indicando os menores valores de  $\Delta m$  para os AN no primeiro evento. Enquanto que nos picos mais alongados do terceiro evento, percebidos para os AAC, embora as estruturas demonstrem maior definição, por serem estreitas

resultaram nas menores perdas de massa (TABELA 15), em ambos os estádios de maturação.

TABELA 15. TERMOGRAVIMETRIA (TG) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

Amostras	TG		DTG	
	Evento térmico	$\Delta m/\%$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$
IM-AN	1º	7,44	29,59 – 102,13	52,40
	Estabilidade	-	102,13 – 183,25	-
	2º	63,53	183,23 – 406,88	294,32
	3º	27,47	406,88 – 610,79	524,63
IM-AAC	1º	9,57	30,01 – 119,45	55,19
	Estabilidade	-	119,45 – 181,09	-
	2º	66,52	181,09 – 385,13	304,05
	3º	22,93	385,13 – 510,54	442,10
IM-AAL	1º	10,52	30,10 – 113,39	75,19
	Estabilidade	-	113,39 – 177,35	-
	2º	64,59	177,35 – 377,77	276,79
	3º	24,23	377,77 – 554,74	470,32
MA-NA	1º	8,66	29,74 – 117,95	69,21
	Estabilidade	-	117,95 – 182,91	-
	2º	58,35	182,91 – 339,35	310,72
	3º	32,66	339,35 – 569,65	515,66
MA-AAC	1º	11,08	29,80 – 125,59	53,54
	Estabilidade	-	125,59 – 195,71	-
	2º	70,08	195,71 – 397,59	309,92
	3º	18,53	397,59 – 495,32	460,30
MA-AAL	1º	9,65	30,36 – 113,75	55,60
	Estabilidade	-	113,75 – 189,40	-
	2º	69,34	189,40 – 389,19	310,51
	3º	20,06	389,19 – 493,93	463,03

$\Delta m$ : perda de massa (%);  $\Delta T$ : variação de temperatura;  $T_p$ : temperatura de pico

De acordo com SOLIMAN, EL-SHINNAVY e MORABAK (1997), o primeiro evento está relacionado com a desidratação das amostras, cujo parâmetro de avaliação pode ser delimitado na temperatura de 150 °C. As menores perdas de massa neste evento ocorreram para os AN (7,44% para o IM e 8,66% para o MA), condizente com o observado de menor teor de umidade (TABELA 12) frente às demais amostras para o UN. O comportamento térmico é dependente da matéria principal e secundária presente na estrutura cristalina do amido, cuja

complexidade dificulta a liberação das moléculas de água, exigindo maiores temperaturas de pico (RODRIGUES et al., 2020). Neste caso, visto que o MA-AN apresentou o maior teor de amilose aparente ( $52,21 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e temperatura de pico superior ( $69,21 \text{ }^\circ\text{C}$ ) em relação ao IM-AN ( $30,23 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  de amilose aparente e  $52,40 \text{ }^\circ\text{C}$  na temperatura de pico), a maior temperatura, observada para o MA, pode ter sido impactada neste evento específico por estes fatores.

Para os amidos IM, os tratamentos ácido e alcalino reduziram a faixa de estabilidade térmica (AAC:  $119,45 - 181,09 \text{ }^\circ\text{C}$  e AAL:  $113,39 - 177,35 \text{ }^\circ\text{C}$ ) frente ao método neutro ( $102,13 - 183,25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), enquanto que para os amidos MA, as extrações ácidas e alcalinas melhoraram as faixas para  $125,59 - 195,7 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $113,75 - 189,40 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente.

A partir de  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  considera-se a ocorrência do segundo evento, onde verifica-se a despolimerização do amido, submetido a alterações irreversíveis (AGGARWAL e DOLLIMORE, 1998).

Ao verificar cada estágio de maturação, observou-se no segundo evento térmico que a despolimerização das macromoléculas teve os maiores valores nos AAC ( $66,52 - 70,08 \Delta\text{m}/\%$  para IM e MA, respectivamente), enquanto os AN obtiveram as menores quantificações para a perda de massa ( $63,53 - 58,35 \Delta\text{m}/\%$  para IM e MA, respectivamente). Este resultado pode ser correlacionado com o conteúdo de carboidratos (TABELA 12) das amostras, onde os AAC demonstraram valores mais elevados em relação aos AN.

Em todas as amostras analisadas verificou-se a presença de proteínas residuais que podem interferir no comportamento térmico, uma vez que neste evento, dentre os produtos da decomposição, encontram-se os derivados glicosídicos, gases complexos e compostos resultantes da reação de Maillard, que acontece mediante aminoácidos e açúcares redutores sob temperaturas elevadas (ADEBOWALE, AFOLABI e OLU-OWALABI, 2006).

O terceiro evento térmico é atribuído à carbonização. É nesta etapa que se finalizam as decomposições de ácidos graxos saturados e demais compostos resultantes da polimerização referente ao evento anterior (MICIC et al., 2015). Foi possível verificar que a degradação de todas as amostras ocorreu nas temperaturas entre  $500$  e  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ . A correlação dos teores de cinzas com o residual da perda de massa de cada amostra foi coerente, uma vez que o

material restante é referente ao teor de resíduo inorgânico presente em cada amido.

Para o IM-AN foi observada um maior residual, amplitude na variação de temperatura e temperatura de pico (524,63 °C) no evento de carbonização (3º evento). Esta constatação supõe que não houve degradação total da amostra, embora esta tenha alcançado a maior amplitude. De acordo com LAWAL (2005), a desintegração dos grânulos que exige altas temperaturas podem ser decorrente da quebra de algumas ligações complexas, especialmente na molécula de amilopectina, cujo caráter estrutural dificulta a sua carbonização completa. Esta afirmação corrobora com o encontrado termicamente neste evento, uma vez que o IM-AN correspondeu ao amido com menor teor de amilose, supondo proporcionalmente um maior teor de amilopectina.

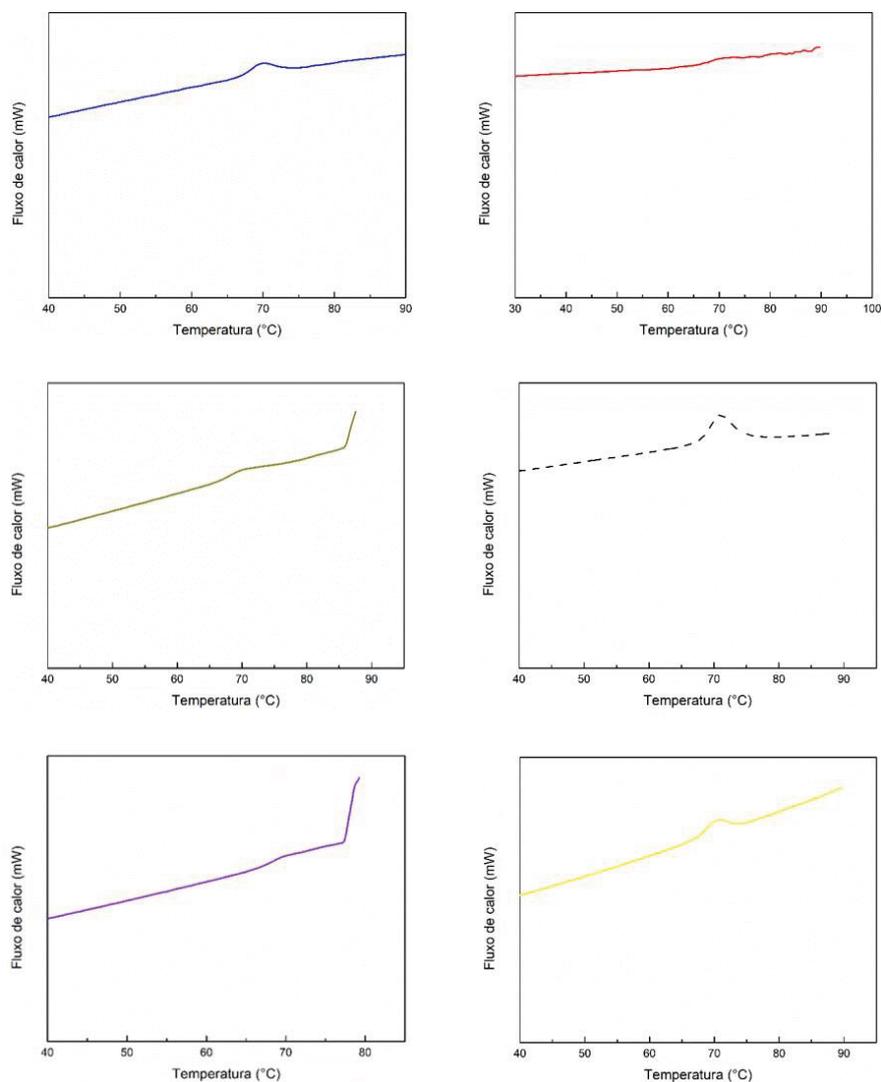
### 3.6.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Na FIGURA 19 constam os gráficos gerados via análise de DSC.

O fluxo de calor associado ao processo de gelatinização contemplou o intervalo entre 30 e 90 °C, onde ocorreu a formação de picos evidentes no MA-AAC e no MA-AAL e, de modo geral, apresentou maior estabilidade no MA-AN e nas curvas que representam os amidos IM, verificou-se leve manifestação de pico apenas no IM-AN.

A estabilidade vista nas curvas pode derivar da relação entre a amilose e o conteúdo de lipídeos. No processo de gelatinização, os complexos de amilose formados com a carga lipídica conservam a constância durante a variação de temperatura, possibilitando aumento na temperatura de pico em alguns casos (MORRISON, 1995). Contudo, a elevação das temperaturas de gelatinização em amidos ricos em amilose também pode ser resultante da cristalização conjunta entre a amilose e a amilopectina (VANDEPUTTE et al., 2003).

FIGURA 19. CURVAS DE CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)



FONTE: A autora (2019)

Em relação às variações de temperatura observadas nos processos de gelatinização, graficamente, verificou-se que o comportamento dos amidos não apresenta divergência entre os estádios de maturação, bem como, entre as técnicas de extração. Contudo, a energia necessária para efetivar o intumescimento dos grânulos foi variável. Na TABELA 16 constam os valores correspondentes à leitura gráfica.

TABELA 16. CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

Amostras	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH gel (J/g)
IM-AN	67,13 <sup>a</sup> ± 1,1	69,83 <sup>b</sup> ± 0,9	73,34 <sup>a</sup> ± 1,2	1,16 <sup>d</sup> ± 0,05
IM-AAC	66,69 <sup>a</sup> ± 0,9	70,20 <sup>b</sup> ± 1,1	73,82 <sup>a</sup> ± 1,0	1,38 <sup>c</sup> ± 0,02
IM-ALS	67,53 <sup>a</sup> ± 0,5	69,69 <sup>b</sup> ± 1,4	74,80 <sup>a</sup> ± 0,8	0,19 <sup>f</sup> ± 0,01
MA-AN	67,53 <sup>a</sup> ± 0,7	70,33 <sup>b</sup> ± 0,8	74,85 <sup>a</sup> ± 0,7	2,07 <sup>b</sup> ± 0,03
MA-AAC	67,90 <sup>a</sup> ± 1,0	71,01 <sup>a</sup> ± 1,2	74,65 <sup>a</sup> ± 1,0	3,76 <sup>a</sup> ± 0,01
MA-AAL	67,39 <sup>a</sup> ± 0,8	70,26 <sup>b</sup> ± 0,9	73,54 <sup>a</sup> ± 1,3	0,78 <sup>e</sup> ± 0,02

Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) segundo o teste de Tukey

To: Temperatura inicial; Tp: temperature de pico; Tc: temperature final; ΔH: entalpia de gelatinização do gel.

Ao avaliar a variação de temperatura ( $\Delta T$ ), embora não tenha diferença significativa, os maiores valores observados foram correspondentes aos gráficos que demonstraram maior estabilidade, conforme discutido anteriormente, nas amostras IM-AAC, IM-AAL e MA-AN, atribuídos às respectivas variações: 7,13 °C, 7,27 °C e 7,32 °C.

Os valores de temperatura de pico apresentaram proximidade em todas as amostras, limitando-se na faixa entre 69,69 e 71,01 °C. Valores similares foram observados para amidos de milho sem tratamento e com modificação ácida, que demonstraram temperaturas de pico em 72,44 e 69,60 °C, respectivamente (BENINCA et al., 2008).

Em relação às variações de entalpia ( $\Delta H$ ) e temperaturas de pico ( $T_p$ ), os amidos MA apresentaram os maiores valores, exceto o AAL, cujo  $\Delta H$  foi relativamente baixo em ambos os estádios de maturação. A variação de entalpia está relacionada com a demanda de energia exigida durante o processo de gelatinização (ELIASSON, 2006), portanto, o tratamento alcalino possivelmente proporcionou redução na complexidade estrutural do amido, demandando menor energia no seu processo de gelatinização. No entanto, o amido composto por elevado teor de amilose requer maior temperatura e energia para modificar sua conformação, uma vez que a organização das duplas hélices pode ser influenciada pela molécula de amilose, por meio da interferência na densidade

de empacotamento das cadeias de amilopectina (COOKE e GIDLEY, 1992). Esta afirmação condiz com os resultados vistos para os amidos MA-AN e MA-AAC, cujos valores de entalpia e teores de amilose foram superiores em relação aos amidos IM.

### 3.7. VISCOSIDADE DE PASTA

Mediante os parâmetros de viscosidade (TABELA 17), observou-se que os amidos MA corresponderam aos maiores valores de pico em menores intervalos de tempo, com destaque para o MA-AAC, com 1103 cP em 284 s. Os amidos MA também demonstraram os maiores valores de viscosidade final em relação aos amidos IM.

TABELA 17. PARÂMETROS RESULTANTES DAS CURVAS DE VISCOSIDADE DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)

<b>Amostras</b>	<b>Pico de viscosidade (cP)</b>	<b>Viscosidade final (cP)</b>	<b>Tendência à retrogradação (cP)</b>	<b>Tempo para o pico (s)</b>	<b>Temperatura de pasta (°C)</b>
IM-NA	129	214	90	412	69
IM-AAC	390	614	232	348	69
IM-AAL	282	465	189	308	69
MA-NA	827	764	223	288	68
MA-AAC	1103	1395	611	284	68
MA-AAL	971	1151	493	288	68

Altos valores de viscosidade final são relacionados com altos teores de amilose presentes no amido, cujo conteúdo reduzido pode também impactar nos picos de viscosidade de pasta (ZENG et al., 1997). Os resultados obtidos convergiram com os dados de amilose aparente, que demonstraram quantificações inferiores nos amidos IM quando comparados aos amidos MA. O teor de amilose e a viscosidade final são parâmetros associados à tendência do amido retrogradar (ORO et al., 2013).

O aumento gradual da viscosidade até o seu estado final ocorre mediante a reassociação das moléculas que constituem o amido, com ênfase na amilose.

Esta reorganização molecular intercorre durante o processo de resfriamento e é descrita como retrogradação, a qual resulta na formação de um gel mais opaco e com características irreversíveis (RAGAE e ABDEL-AAL, 2006).

Os valores identificados para a tendência à retrogradação demonstraram que, em geral, os amidos IM possuem baixa retrogradação, especialmente o IM-AN, com apenas 90 cP, em contraste com os amidos MA, onde obteve-se o maior valor em 611 cP atribuído ao MA-AAC, reforçando a afirmação referente ao conteúdo de amilose, identificado em maior proporção nos MA. Comparativamente, os AN demonstraram menores tendências à retrogradação em relação aos AAC, isso pode ter ocorrido devido à composição dos amidos, uma vez que a extração neutra demonstrou maior quantidade de outros constituintes carregados, enquanto a extração ácida possibilitou maior pureza nos amidos obtidos. De acordo com PERERA e HOOVER (1999), as propriedades de retrogradação são influenciadas por tratamentos prévios realizados nos amidos, tais como alteração de pH, desengorduramento e hidroxipropilação, que impactam no arranjo estrutural das cadeias amiláceas modificando a estabilidade dos grânulos.

Devido à sinerese consequente do processo de retrogradação, um dos parâmetros para estimar a durabilidade do gel amiláceo em estocagem ou aplicação é a tendência a retrogradação. Esta propriedade certifica a qualidade de amidos utilizados como espessante, em envelhecimento de panificáveis e produtos com conteúdo amiláceo destinado à refrigeração (MARCON, AVANCINI e AMANTE, 2007).

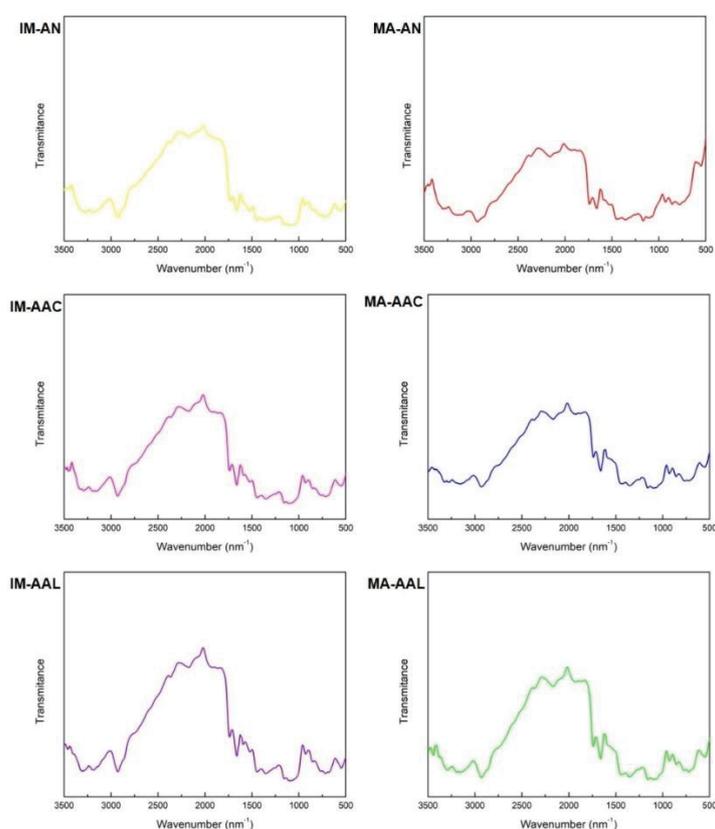
Amidos que possuem alto teor de amilose tendem a retrogradar com maior facilidade. Estes amidos são destinados, portanto, às aplicações em produtos que necessitam de prevenção à absorção de óleo e bases mastigáveis. Além disso, estes amidos são alternativas promissoras no desenvolvimento de filmes devido à alta capacidade de geleificar (COLLONA et al., 1992; PARKER e RING, 2001).

Por fim, a temperatura média de pasta foi similar em todos os amidos avaliados, encontrando-se entre 68 e 69 °C, condizente com a temperatura de gelatinização visualizada na análise de calorimetria exploratória diferencial.

### 3.8. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO INFRAVERMELHA (FTIR)

Os espectros das regiões de infravermelho mostraram-se similares tanto no estágio de maturação, quanto na técnica de extração dos amidos, manifestando vibrações em picos coincidentes (FIGURA 20).

FIGURA 20. CURVAS DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO INFRAVERMELHA (FTIR) DOS AMIDOS EXTRAÍDOS PELOS MÉTODOS NEUTRO (AN), ÁCIDO (AAC) E ALCALINO (AAL) EM DOIS ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO (IM E MA)



FONTE: A autora (2019)

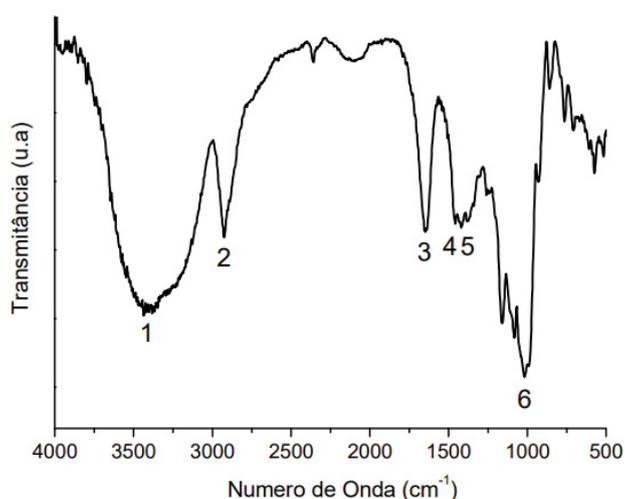
O intervalo inicial correspondeu à região entre  $3300$  e  $2900\text{ cm}^{-1}$ , faixa atribuída às deformações axiais das ligações OH e CH (SILVERSTEIN e WEBSTER, 2006), além do indicativo sobre a formação das ligações de hidrogênio provenientes da molécula D-glicose (WANG et al., 2009). Nesta região, o pico mais evidente foi em torno de  $2930\text{ cm}^{-1}$ , estando possivelmente relacionado com o alongamento CH ligado aos átomos de hidrogênio, conforme relatam TAPIA-BLACIDO, SOBRAL e MENEGALLI (2010), que identificaram esta ocorrência na absorção de  $2921\text{ cm}^{-1}$ .

Entre 1750 e 1250  $\text{cm}^{-1}$  observou-se a formação de pequenos picos, com maior manifestação em aproximadamente 1700  $\text{cm}^{-1}$ . Esta região é identificada pela absorvância de grupos carboxila, esterificados e não esterificados, ésteres carbonílicos e bandas associadas aos grupos amida I e amida II, referentes à presença de proteínas nas amostras (LEÃO et al., 2017). Esta faixa é atribuída também às vibrações da molécula de água ligada na parcela amorfa dos grânulos de amido, identificadas nos comprimentos 1646 e 1300  $\text{cm}^{-1}$  (ZHANG et al., 2007; KIZIL, IRUDAYARAJ e SEETHARAMAN, 2012).

A banda que abrange entre 1150 e 600  $\text{cm}^{-1}$  apontou os picos finais dos amidos. Nesta faixa encontram-se as vibrações relacionadas com as estruturas de carboidratos (PELISSARI et al., 2012), especialmente nas proximidades do pico em 1080  $\text{cm}^{-1}$ , associado ao alongamento da ligação COH na cadeia amilácea (VICENTINI et al., 2005). O estiramento de álcoois primários e secundários e éteres (COC), presentes nas estruturas poliméricas dos amidos, ocorrem dentre as manifestações identificadas na faixa de 1157 e 1014  $\text{cm}^{-1}$  (LIMA et al., 2012).

A caracterização dos amidos da semente de achachairu assemelhou-se ao espectro descrito para o amido de batata (MENDES, 2009), que apontou seis principais picos ilustrando as deformações axiais de OH e OH, vibrações referentes à molécula de água e conformações que configuram uma estrutura amilácea (FIGURA 21).

FIGURA 21. ESPECTRO NA REGIÃO INFRAVERMELHA DO AMIDO DE BATATA



FONTE: MENDES (2009)

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo viabilizou a aplicação de três técnicas para a extração de amido a partir das farinhas de semente de achachairu, em diferentes estádios de maturação. Foi possível avaliar os atributos dos grânulos de amido mediante às características morfológicas, térmicas, antioxidantes e de viscosidade de pasta. O rendimento se mostrou maior na extração neutra, contudo na obtenção ácida o amido resultante apresentou maior pureza, confirmada pela composição centesimal e morfologia.

Dentre os amidos imaturos o tratamento neutro atribuiu maior estabilidade térmica em relação aos tratamentos ácido e alcalino, no entanto, nas amostras provenientes do estágio maduro, a aplicação dos métodos com alteração de pH mostrou-se mais eficiente na estabilidade térmica frente à extração neutra.

Nos amidos MA, a composição amilácea apontou característica de alto teor de amilose, podendo ser classificada como *high amilose*, fundamentada pelas análises térmicas e de viscosidade, onde observou-se alta tendência à retrogradação. Esta propriedade permite a aplicabilidade no desenvolvimento de filmes e agentes em produtos alimentícios que necessitam de menor absorção de óleo em seu processamento. O direcionamento na elaboração de filmes também pode ser associado ao caráter antioxidante identificado nos amidos, especialmente na extração neutra.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Mediante a escassez de registros científicos sobre o achachairu (*Garcinia humilis*), pautado via revisão bibliográfica, esta matriz frutífera foi estudada com foco especialmente em sua semente.

A pesquisa realizada identificou elevado teor de fibras alimentares, sugestiva concentração de material amiláceo e composição bioativa nas farinhas de semente de achachairu, em três estádios de maturação. As propriedades observadas possibilitaram investigar a lacuna referente à extração de amido, cujos principais resultados permitiram classificar os amidos obtidos de sementes maduras como *high-amilose*, além de constatar o impacto das técnicas de extração em relação ao rendimento e à pureza dos materiais extraídos.

As propriedades das farinhas de semente detectaram indicativos de alegações funcionais e antioxidantes, enquanto que os materiais amiláceos resultaram em direcionamentos na elaboração de filmes biodegradáveis associados à capacidade antioxidante.

Concomitante aos atributos verificados, o estudo possibilitou aumentar a visibilidade do achachairu, visando o reaproveitamento de resíduos, conforme é tratada a sua semente, além de valorizar suas propriedades em termos nutricionais e farmacológicos.

## CONTRIBUIÇÕES FUTURAS

O estudo realizado sugere futuras aplicações, tais como o desenvolvimento de produto utilizando as farinhas de semente, cuja caracterização atende a alegação de “fonte de fibras alimentares” a partir da incorporação de 9 g da farinha, correspondente à 10% do valor diário recomendado para este macronutriente, conforme descrito em legislação nacional (BRASIL, 2020).

A atividade antioxidante das farinhas pode ser valorizada não apenas no setor alimentício, mas no desenvolvimento de cosméticos, visto que esta característica consente o apelo de combate aos radicais livres.

Conforme estudado, os amidos obtidos da semente de achachairu podem ser direcionados na elaboração de filmes biodegradáveis, além de aplicações em alimentos com elevado poder de absorção ao óleo. Contudo, no mercado fármaco, o material amiláceo proveniente das sementes de achachairu pode ser incorporado na forma de excipiente ativo, uma vez que apresenta caráter antioxidante, além de atributos de textura. Neste setor, enxerga-se ainda a riqueza na utilização das farinhas e amidos provenientes da semente de achachairu, pois este componente do fruto está relacionado com várias propriedades medicinais.

Por fim, sugere-se também a investigação industrial acerca das outras partes do fruto (casca e polpa), a fim de conhecer as demais propriedades inerentes à espécie e identificar potenciais coprodutos do achachairu.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-AAL, E. S. M.; HERNANDEZ, M.; RABALSKI, I.; HUCL, P. Composition of hairless canary seed oil and starch-associated lipids and the relationship between starch pasting and thermal properties and its lipids. **LWT**, v.125, 109257. 2020.

ACHAN, J.; TALISUNA, A. O.; ERHART, A. Quinine, an old anti-malarial drug in a modern world: role in the treatment of malaria. **Malaria Journal**, v. 144 (10). 2011.

ACUNA, U. M.; FIGUEROA, M.; KAVALIER, A.; JANCOVSKI, N.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E.J. Benzophenones and Biflavonoids from *Rheedia edulis*. **Journal of Natural Products**, v. 73, p. 1775-1779. 2010.

ADEBOWALE, K. O.; AFOLABI, T. A.; OLU-OWOLABI, B. I. Functional, physicochemical and retrogradation properties of sword bean (*Canavalia gladiata*) acetylated and oxidized starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 65(1), p. 93–101. 2006.

ADILAH, A. N.; JAMILAH, B.; NORANIZAN, M. A.; HANANI, Z. A. N. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v.16 (Janeiro, p. 1–7. 2018.

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. (1998). A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Thermochimica Acta**, v. 319(1–2), p. 17–25. 1998.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; ANGELA, M.; MEIRELES, A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 35 (2), p. 215-236. 2015.

AL-FARSI, M.; LEE, C. Y. Optimization of phenolics and dietary fiber extraction from date seeds. **Food Chemistry**, v. 108, p. 977-985. 2008.

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; ALVES, I. L.; ANDRÉ, A. M. M. C. N. (2021). Evaluation of thermodynamic properties and antioxidant activities of Achachairu (*Garcinia humilis*) peels under drying process. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 36 (2), p. 213-222. 2021.

ANDERSON, J. W.; WATERS, A. R. Raisin consumption by humans: Effects on glycemia and insulinemia and cardiovascular risk factors. **Journal of Food Science**, v. 78, p. 11-17. 2013.

ANDRADE, R. M. S.; FERREIRA, M. S. L.; GONÇALVES, É. C. B. A. Development and Characterization of Edible Films Based on Fruit and Vegetable Residues. **Journal of Food Science**, v. 81(2), E412–E418. 2016.

AOAC, 2000. Official methods of analysis of AOAC International (17<sup>th</sup> ed.), AOAC International, Gaithersburg, Md (2000).

ARAÚJO, A. G.; CARNEIRO, A. M. P.; PALHA, R. P. Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, 120350. 2020.

ASIKIN, Y.; KUSUMIYATI, TAIRA, E.; WADA, K. Alterations in the morphological, sugar composition, and volatile flavor properties of petai (*Parkia speciosa Hassk.*) seed during ripening. **Food Research International**, v. 106, p. 647-653. 2018.

AYALA-ZAVALA, J. F., VEGA-VEGA, V., ROSAS-DOMÍNGUEZ, C., PALAFOXCARLOS, H., VILLA-RODRIGUEZ, J. A., SIDDIQUI, M. D., DÁVILA-AVIÑA, J. E., GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, p. 1866-1874, 2011.

BAGATTOLI, P. C. D.; CIPRIANI, D. C.; MARIANO, L. N. B.; CORREA, M.; WAGNER, T. M.; NOLDIN, V. F.; CECHINEL FILHO V.; NIERO, R. Phytochemical, Antioxidant and Anticancer Activities of Extracts of Seven Fruits

Found in the Southern Brazilian Flora. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 78, p. 34-40. 2016.

BAGATTOLI, P. C. D. **Phytochemical profile and evaluation of antioxidant and cytotoxicity activity of fruits from the flora of the state of Santa Catarina (SC), Brazil**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Produtos Naturais e Substâncias Bioativas) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2013.

BARBI, R. C.; TEIXEIRA, G. L.; HORNUNG, P. S.; AVILA, S.; RIBANI, R. H. *Eriobotrya japonica* seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 646–658. 2018.

BARBOSA, M. C. **Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas dos géis obtidos a partir de amido de semente de jaca (*Artocarpus Integrifolia*)**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetininga, 2013.

BARBOSA, W.; ARTIOLI, F. A. A fruta achachairú. 2007. Obtido em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/achachairu/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/achachairu/index.htm)>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

BARBOSA, W.; CHAGAS, E. A.; MARTINS, L.; PIO, R.; TUCCI, M. L. S.; ARTIOLI, F. A. Germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de achachairu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 263-266. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000100049>

BARROS, R. G. C.; ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. **Food Research International**, v. 102, p. 84-92. 2017.

BARROS, R. G. C.; DE OLIVEIRA, C. S.; OLIVEIRA, L. T. S.; PEREIRA, U. C.; SILVA, T. O. M.; DENADAI, M.; NARAIN, N. Enhancement of phenolic

antioxidants production in submerged cultures of endophytic microorganisms isolated from achachairu (*Garcinia humilis*), araca-boi (*Eugenia stipitata*) and bacaba (*Oenocarpus bacaba*) fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 111, p. 370-377. 2019.

BENINCA, C.; DEMIATE, I. M.; LACERDA, L. G.; FILHO, M. A. S. C.; IONASHIRO, M.; SCHNITZLER, E. Thermal behavior of corn starch granules modified by acid treatment at 30 and 50 ° C. **Eclética Química**, v. 33 (3), p. 13–18. 2008.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 76, p. 70-76. 1996.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Springer-Verlag, New York, 1986.

BILIADERIS, C. G. Differential Scanning Calorimetry in Food Research - A Review. **Food Chemistry**, v. 10, p. 239-265. 1983.

BLIGH E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid. Extraction and purification. **Can J Biochem Physiol**, v. 37, p. 911-917. 1959.

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

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA n. 12 de 24 de setembro de 1978. Dispõe sobre os padrões de identidade e qualidade para os alimentos (e bebidas). Brasília, DF: ANVISA, 1978.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Resolução RDC n. 263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico Para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. Brasília, DF: ANVISA, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Resolução RDC n. 54 de 12 de novembro de 2012. Regulamento Técnico sobre informação Nutricional Complementar. Brasília, DF: ANVISA, 2012.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of 2,3-butanediol. **Journal of sensory and nutritive qualities of food**, v. 65, n. 3600, p. 1248–1252, 2000.

CARCHON, H.; BRUYNE, C. R. Purification and properties of coffee bean  $\alpha$ -D galactosidase. **Carbohydr. Res.**, v. 41, p. 175-189, 1975.

CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais. Potencialidades e Uso da Madeira EMBRAPA-CNPQ/SPI. Colombo/PR, 1994.

CECHINEL-FILHO, V.; MEYRE-SILVA, C.; NIERO, R.; MARIANO, L. N. B.; DO NASCIMENTO, F. G.; FARIAS, I. V.; GAZONI, V. F.; SILVA, B. S.; GIMÉNEZ, A.; GUTIERREZ-YAPU, D.; SALAMANCA, E.; MALHEIROS, A. Evaluation of Antileishmanial Activity of Selected Brazilian Plants and Identification of the Active Principles. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, article number: 265025. 2013.

CEREDA, M. P. Série Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido. **Fundação Cargill**, São Paulo, v. 1, p. 207, 2001.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. Ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.

COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. de L. M. Chemical composition, functional properties and technological applications of chia (*Salvia hispanica L*) seeds in foods. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17 (4), p. 259-268, 2014.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, v. 227(C), p. 103–112. 1992.

COLLONA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starch hydrolysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 17-32. 1992.

CRIZEL, T. DE M.; RIOS, A. DE O. D.; ALVES, V.; BANDARRA, N.; MOLDÃO-MARTINS, M.; HICKMANN FLÔRES, S. Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 139–150. 2018.

CURY, G. C.; GISBERT, M. C. A.; PORCEL, W. J. R. Um estudo da fruta comestível de *Garcinia gardeneriano*. **Revista Boliviana de Química**, v. 33 (4), p. 158- 163. 2016.

DAL MOLIN, M. M.; SILVA, S.; ALVES, D. R.; QUINTÃO, N. L. M.; MONACHE, F. D.; CECHINEL-FILHO, V.; NIERO, R. Phytochemical analysis and antinociceptive properties of the seeds of *Garcinia achachairu*. **Archives of Pharmacal Research**, v. 35 (4), p. 623-631. 2012.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (2010). *Química de Alimentos de Fennema* (4th ed.). Porto Alegre: Artmed.

DA SILVA, B. L. B.; COSTA, E.; BINOTTI, F. F. DA S.; BENETT, C. G. S.; DA SILVA, A. G. Growth and quality of *Garcinia humilis* seedlings as a function of substrate and shading level. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 48 (4), p. 407-413. 2018.

DA SILVA, B. L. B.; COSTA, E.; SALLES, J. S. S.; BINOTTI, F. F. DA S.; BENETT, C. G. S. Protected Environments and Substrates for Achachairu Seedlings. **Engenharia Agrícola**, v. 3 (38), p. 309-318. 2018.

DA SILVA, B. L. B.; SOUZA, V. C. D. M.; COSTA, E.; DA SILVA, A.; BINOTTI, F. F. DA S.; CAVALCANTE, D. F.; BENETT, C. G. S.; ZOZ, T. Reflective materials

and seeds from different plant positions for production of achachairu seedlings.

**Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8 (1), article number: e5709. 2021.

DENG, G.; SHEN, C.; XU, X.; KUANG, R.; GUO, Y.; ZENG, L.; GAO, L.; LIN, X.; XIE, J.; XIA, E.; LI, S.; WU, S.; CHEN, F.; LING, W.; LI, H. (2012). Potential of Fruit Wastes as Natural Resources of Bioactive Compounds. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13 (7), p. 8308–8323. 2012.

DE OLIVEIRA, C. S.; ANDRADE, M. M. P.; COLMAN, T. A. D.; DA COSTA, F. J. O. G.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and rheological behavior of native and modified waxy corn starch with hydrochloric acid at different temperatures. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115 (1), p.13–18. 2014.

DUARTE, I. F.; BARROS, A.; DELGADILLO, I.; ALMEIDA, C.; GIL, A. M. Application of FTIR spectroscopy for the quantification of sugars in mango juice as a function of ripening. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50 (11), p. 3104–3111. 2002.

DUARTE, O. Achachairú (*Garcinia humilis*) (Vhal) C. D. Adam. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits, v. 54, p. 48-53. 2011.

ECKERT, R. G. e ALMEIRA, P. G. de O. Centesimal dosage and comparative analysis in omega 3 of chia seed (*Salvia hispanica*) and flaxseed (*Linum usitatissimum*). **Ciência dos Alimentos**, v. 04 (01), p. 49-64. 2014.

EID, N.; ENANI, S.; WALTON, G.; CORONA, G.; COSTABILE, A.; GIBSON, G.; ROWLAND, I.; SPENCER, J. P. The impact of date palm fruits and their component polyphenols, on gut microbial ecology, bacterial metabolites and colon cancer cell proliferation. **Journal of Nutritional Science**, v. 3, p. 1-9. 2014.

EL-HAMSHARY, H.; EL-NEWEHY, M. H.; AL-DEYAB, S. S. Oxidation of phenol by hydrogen peroxide catalyzed by metal-containing poly (amidoxime) grafted starch. **Molecules**, v. 16 (12), p. 9900-9911. 2011.

ELIASSON, A.C. Starch in food - Structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC. 605p. 2004.

ELIASSON, A.C. Carbohydrates in food. 664p (2nd ed.). New York: Taylor & Francis Group, (Chapter 9). 2006.

ESPÍRITO SANTO, A. P., CARTOLANO, N. S., SILVA, T. F. SOARES, F. A. S. M., GIOIELLI, L. A., PEREGO, P., CONVERTI, A., OLIVEIRA, M. N. Fibers from fruit by-products enhance probiotic viability and fatty acid profile and increase CLA content in yoghurts. **International Journal of Food Microbiology**, v. 154, p. 135–144, 2012.

FAVA, F.; ZANAROLI, G.; VANNINI, L.; GUERZONI, E.; BORDONI, A.; VIAGGI, D.; ROBERTSON, J.; WALDRON, K.; BALD, C.; ESTURO, A.; TALENS, C.; TUEROS, I.; CEBRIÁN, SEBŐK, A.; KUTI, T.; BROEZE, J.; MACIAS, M.; BRENDLE, H. G. New advances in the integrated management of food processing by-products in Europe: sustainable exploitation of fruit and cereal processing by-products with the production of new food products (NAMASTE EU). **New Biotechnology**, v. 30, p. 647–655. 2013.

FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C.; CASTANHO, P. S.; NETTO-OLIVEIRA, E. R. Cookies produced with banana meal: chemical, physical and sensorial evaluation. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 524-529. 2007.

FERREIRA, M. S. L.; FAI, A. E. C.; ANDRADE, C. T.; PICCIANI, P. H.; AZERO, E. G.; GONÇALVES, É. C. B. A. Edible films and coatings based on biodegradable residues applied to acerolas (*Malpighia puniceifolia* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96 (5), p. 1634–1642. 2016.

FIGUEREDO, Y. N.; GARCIA-PUPO, L.; RUBIO, O. C.; HERNÁNDEZ, R. D.; NAAL, Z.; CURTI, C.; ANDREU, G. L. P. A Strong protective action of guttiferone A, a naturally occurring prenylated benzophenone, against iron-induced neuronal cell damage. **Journal of Pharmacological Sciences**, v. 36, p. 36-46. 2011.

FUCHS, M.; TURCHIULI, C.; BOHIN, M.; CUVELIER, M. E.; ORDONNAUD, C.; PEYRAT-MAILLARD, M. N.; DUMOULIN, E. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 75 (1), p. 27–35. 2006.

GALANI, Y. J. H.; MANKAD, M. P.; SHAH, A. K.; PATEL, N. J.; ACHARYA, R. R.; TALATI, J. G. Effect of Storage Temperature on Vitamin C, Total Phenolics, UPLC Phenolic Acids profile and Antioxidant Capacity of Eleven Potato (*Solanum tuberosum L.*) Varieties. **Horticultural Plant Journal**, v. 3, p. 73-89. 2017.

GONÇALVES, P. M.; NOREÑA, C. P. Z.; da SILVEIRA, N. P.; BRANDELLI, A. Characterization of starch nanoparticles obtained from Araucaria angustifolia seeds by acid hydrolysis and ultrasound. **Food Science and Technology**, v. 58 (1), p. 21–7. 2014.

GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, K. M. S. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25 (4), p. 825-827. 2005.

GORDILLO, S. C. A.; VALENCIA, A. G.; ZAPATA, V. R. A.; HENAO, A. A. C. Physicochemical Characterization of Arrowroot Starch (*Maranta arundinacea Linn*) and Glycerol/Arrowroot Starch Membranes. **International Journal of Food Engineering**, v. 10, p. 727–735. 2014.

HAASE, D. N. New polyisoprenylated benzophenone derivative and potential chemopreventive xanthenes from *Garcinia humilis*. Conferência: 242<sup>nd</sup> National Meeting of the American-Chemical-Society (ACS) - Denver, CO. Abstracts of Papers of The American Chemical Society, 242, **Meeting summary**: 41 -AEI. 2011.

HAASE, D. N.; PARKER, S.; JACOBS, H.; BADAL, S.; FRANCIS, S.; DELGODA, R.; HUANG, G.; TZENG, T. J. Potential chemopreventive xanthenes and a new polyisoprenylated benzophenone derivative from *Garcinia humilis*. Conferência: 242<sup>nd</sup> National Meeting of the American-Chemical-Society (ACS) - Denver, CO.

Abstracts of Papers of The American Chemical Society, 242, **Meeting summary:** 99-AGFD. 2011.

HABAUZIT, V.; MORAND, C. Evidence for a protective effect of polyphenols-containing foods on cardiovascular health: an update for clinicians. **Therapeutics Advances in Chronic Disease**, v. 3, p. 87-106. 2012.

HARAN, J.; GROVE, T.; NOORT, S. V.; BENOIT, L.; ADDISON, P. Natural biocontrol of fruit flies in indigenous hosts: A perspective for population control in the agroecosystem. **Biological Control**, v. 137, Article number: 104022. 2019.

HARBORNE, J. B. Cyanogenic glucosides and their function. *Phytochemical Ecology*, 104–123. London: Academic Press. 1972.

HART W. F.; COLLARES-QUEIROZ, P. F.; CHANG, K. Y. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose Physicochemical, rheological, morphological, and thermal characterization of normal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29 (4), p. 748. 2009.

HASANVAND, E.; FATHIB, M.; BASSIRIC, A.; JAVANMARD, M.; ABBASZADEH, R. Novel starch based nanocarrier for vitamin D fortification of milk: Production and characterization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 96, p. 264–277. 2015.

HENRÍQUEZ, C.; SPEISKY, H.; CHIFFELLE, I.; VALENZUELA, T.; ARAYA, M.; SIMPSON, R.; ALMONACID, S. Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary fiber. **Journal of Food Science**, v. 75, p. 172-181, 2010.

HERATH, K.; JAYASURIYA, H.; ONDEYKA, J. G.; GUAN, Z.; BORRIS, R. P.; STIJFHOORN, E.; STEVENSON, D.; WANG, J.; SHARMA, N.; MACNAUL, K.; MENKE, J. G.; ALI, A.; SCHULMAN, M. J.; SINGH, S. B. Guttiferone I, a new

prenylated benzophenone from *Garcinia humilis* as a liver X receptor ligand. **Journal of Natural Products**, v. 68 (4), p. 617-619. 2005.

HONG, J.; LI, L.; LI, C.; LIU, C.; ZHENG, X.; BIAN, K. Effect of Heat–Moisture Treatment on Physicochemical, Thermal, Morphological, and Structural Properties of Mechanically Activated Large A- and Small B-Wheat Starch Granules. **Journal of Food Science**, v. 84, p. 2795-2804. 2019.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45 (3), p. 253–267. 2001.

HORNUNG, P. S.; ÁVILA, S.; LAZZAROTTO, M.; DA SILVEIRA LAZZAROTTO, S. R.; DE ANDRADE DE SIQUEIRA, G. L.; SCHNITZLER, E.; RIBANI, R. H. Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: Mixture as a green modification process. **Thermochimica Acta**, v. 649, p. 31–40. 2017.

HORNUNG, P. S.; DE OLIVEIRA, C. S.; LAZZAROTTO, M.; DA SILVEIRA LAZZAROTTO, S. R.; SCHNITZLER, E. Investigation of the photo-oxidation of cassava starch granules: Thermal, rheological and structural behaviour. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 123 (3), p. 2129–2137. 2016.

HUANG Y.; CHOW, C.; FANG, Y. Preparation and Physicochemical Properties of FiberRich Fraction from Pineapple Peels as a Potential Ingredient. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 19 (3) p. 318-323, 2011.

IAHNKE, A. O. E. S.; COSTA, T. M. H.; DE OLIVEIRA RIOS, A.; FLÔRES, S. H. Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. Conditiva) residues. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133 (10), p. 1–10. 2016.

IBCE – Instituto Boliviano de Comércio Exterior. Perfil de mercado: Copoazú y Achachairú. (2010). Obtido em: <[www.ibce.org.bo](http://www.ibce.org.bo)>. Acesso em 16 de maio de 2021.

International Association for Cereal Science and Technology. (1995) Schwechat, Austria. ICC. Retrived Obtido em: <<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BPOA-0013-0017>>. Acesso em 6 de janeiro de 2021.

ITURRIAGA, L.; LOPEZ, B.; AÑON, M. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. **Food Research International**, v. 37, p. 437–47. 2004.

JANICK, J.; PAULL, R. E. *Rheedia laterifolia* – Achachairú. **The encyclopedia of Fruit & Nuts**. Cambridge, UK: CABI, p. 272-273. 2008.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **Journal of Food Engineering**, v.63, p. 125-134, 2004.

JOHN, O. D.; WANYONYI, S.; MOUATT, P.; PANCHAL, S. K.; BROWN, L. Achacha (*Garcinia humilis*) Rind Improves Cardiovascular Function in Rats with Diet-Induced Metabolic Syndrome. **Nutrients**, v. 10, p. 1425. 2018.

KARIM, A. A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, v. 71 (1), p. 9 – 36. 2000.

KHENG, T. Y.; DING, P.; RAHMAN, N. A. A. Determination of optimum harvest maturity and physico-chemical quality of Rastali banana (*Musa AAB Rastali*) during fruit ripening. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 171–176. 2012.

KIM, Y. S.; WIESENORN, D. P.; ORR, P. H.; GRANT, L. A. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**, v. 60, p. 1060-1065, 1995.

KIZIL, R.; IRUDAYARAJ, J.; SEETHARAMAN, K. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50 (14), p. 3912–3918. 2002.

KUNDU, J. K.; SURH, Y. J. Cancer chemopreventive effects of selected dried fruits. In Alasalvar, C., Shahidi, F. (Ed). Dried fruits: **Phytochemicals and health effects** (19-51). Oxford: Wiley-Blackwell. 2013.

LAWAL, O. S. Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 37 (5), p. 268–277. 2005.

LEÃO, D.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; BASTOS, R.; COIMBRA, M. A. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146-153. 2017.

LEVER, E.; COLE, J.; SCOTT, S. M.; EMERY, P. W.; WHELAN, K. Systematic review: The effect of prunes on gastrointestinal function. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, v. 40 (7), p. 750-758. 2014.

LI, M. Classifying and ranking topic terms based on a novel approach: Role differentiation of author keywords. **Scientometrics**, v. 116, p. 77-100. 2018.

LIMA, C. S. M.; GALARÇA, S. P.; BETEMPS, D. L.; RUFATO, A. R.; RUFATO, L. Avaliação física, química e fitoquímica de frutos de *Physalis*, ao longo do período de colheita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34 (4), p. 1004-1012. 2012.

LIMA, B. N. B.; CABRAL, T. B.; NETO, R. P. C.; TAVARES, M. I. B.; PIERUCCI, A. P. T. Characterization of Commercial Edible Starch Flours. **Polimeros**, v. 22 (5), p. 486–490. 2012.

LIMA, B. N. B.; LIMA, F. F.; TAVARES, M. I. B.; COSTA, A. M. M.; PIERUCCI, A. P. T. R. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 151, p. 293-299. 2014.

LINEBACK, D. R. The starch granule: organization and properties. **Bakers Digest**, v. 58, n. 2, p. 16-21. 1984.

LIU, T. P. S. L.; COSTA, R. M. P. B.; FREITAS, D. J. DE V.; NACIMENTO, C. O.; MOTTA, C. M. DE S.; BEZERRA, R. P.; HERCULANO, P. N.; PORTO, A. L. F. Tannase from *Aspergillus melleus* improves the antioxidant activity of green tea: purification and biochemical characterisation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52 (3), p. 652-661. 2017.

LÓPEZ-VARGAS, J. H.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A. VIUDAMARTOS, M. Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis var. flavicarpa*) co-products **Food Research International**, v. 51, p. 756–763, 2013.

LORENZI, H.; LACERDA, M. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura). (1ª ed.). São Paulo: Instituto Plantarum. 2006.

MAIEVES, H. A.; LÓPEZ-FROILÁN, R.; MORALES, P.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, M. L.; HOFFMANN RIBANI, R.; CÁMARA, M.; SÁNCHEZ-MATA, M. C. Antioxidant phytochemicals of *Hovenia dulcis* Thunb. peduncles in different maturity stages. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 1117–1124. 2015.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films, **Carbohydrate Polymer**, v. 56, p.129-135, 2004.

MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 47–55. 2016.

MARCON, M. J. A.; AVANCINI, S. R. P.; AMANTE, E. R. Propriedades químicas e tecnológicas do amido de mandioca e do polvilho azedo. Florianópolis: Editora da UFSC. 2007.

MARIANO, L. N. B.; BOEING, T.; DA SILVA, R. DE C. M. V. DE A. F.; CECHINEL-FILHO, V.; NIERO, R.; DA SILVA, L. M.; DE SOUZA, P.; DE ANDRADE, S. F. 1,3,5,6-Tetrahydroxyxanthone, a natural xanthone, induces diuresis and saluresis in normotensive and hypertensive rats. **Chemico-Biological Interactions**, v. 311, Article number: 108778. 2019.

MARIANO, L. N. B.; DA SILVA, L. M.; DE SOUZA, P.; BOEING, T.; SOMENSI, L. B.; BONOMINI, T. J.; MONACHE, F. D.; CECHINEL-FILHO, V.; DE ANDRADE, S. F.; NIERO, R. Gastroprotective xanthenes isolated from *Garcinia achachairu*: Study on mucosal defensive factors and H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity. **Chemico-Biological Interactions**, v. 258, p. 30-39. 2016.

MARIANO, L. N. B.; VENDRAMINI-COSTA, D. B.; RUIZ, A. L. T. G.; DE CARVALHO, J. E.; CORRÊA, R.; CECHINEL-FILHO, V.; MONACHE, F. D.; NIERO, R. In vitro antiproliferative activity of uncommon xanthenes from branches of *Garcinia achachairu*. **Pharmaceutical Biology**, v. 54, p. 1697-1704. 2015.

MAQSOOD, S.; ADIAMO, O.; AHMAD, M.; MUDGIL, P. Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. **Food Chemistry**, v. 308. 2019.

MARQUES, E. DE S.; SILVA, S.; NIERO, R.; DE ANDRADE, S. F.; ROSA, P. C. P.; PERAZZO, F. F.; MAISTRO, E. L. Genotoxicity assessment of *Garcinia achachairu* Rusby (*Clusiaceae*) extract in mammalian cells in vivo. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 142 (2), p. 362-366. 2012.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**. 1989.

MATOS, J. R.; MERCURI, L.; BARROS, G. Análise térmica aplicada a fármacos e medicamentos. In: S. Storpirtis, J. E. Gonçalves, C. Chiann e M. N. Gai, *Biofarmacotécnica (Chapter 4)*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2009.

MELIM, C.; GUIMARÃES, K.; MARTIN-QUINTAL, Z.; ALVES, A. D.; MARTINS, D. T. O.; MONACHE, F. D.; CECHINEL-FILHO, V.; CRUZ, A. B.; NIERO, R. Antimicrobial Activity of Extracts and Fractions from Aerial Parts of Selected Plants (*Garcinia achachairu*, *Macrosiphonia velame*, *Rubus niveus* and *Pilea microphylla*) Against Some Pathogenic Microorganisms. **Natural Product Communications**, v. 11 (8), p. 1567-1569. 2013.

MELO, A. M. de; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; IKEDA, M.; CARPINÉ, D.; RIBANI, R. H. Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, 2021.

MELO, M. S.; BENETT, C. G. S.; MELO, B. S.; LOURENÇO, S. L. O.; BARBOZA, F. S. Physical-chemical analysis of achachairu fruits collected in different plant parts. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, p. 17-21. 2017.

MENDES, F. M. Produção e Caracterização de Bioplásticos a partir de Amido de Batata. Poster session presentation at the meeting of 10° Congresso Brasileiro de Polímeros, Maringá, PR. 2009.

MENZ, G.; VRIESEKOOOP, F. Physical and chemical changes during the maturation of Gordal Sevillana olives (*Olea europaea L.*, cv. *Gordal Sevillana*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 4934–4938. 2010.

MICIC, D. M.; OSTOJIC, S. B.; SIMONOVIC, M. B.; PEZO, L. L.; SIMONOVIC, B. R. Thermal behavior of raspberry and blackberry seed flours and oils. **Thermochimica Acta**, v. 617, p. 21-27. 2015.

MOLIN, M. M. D.; SILVA, S.; ALVES, D. R.; QUINTÃO, N. L. M.; MONACHE, F. D.; FILHO, V. C.; NIERO, R. Phytochemical analysis and antinociceptive properties of the seeds of garcinia achachairu. **Archives of Pharmacal Research**, v. 35 (4), p. 623–631. 2012.

MONZOTE, L.; CUESTA-RUBIO, O.; MATHEEUSSEN, A.; ASSCHE, T. V.; MAES, L.; COS, P. Antimicrobial evaluation of the polyisoprenylated benzophenones nemorosone and guttiferone A. **Phytotherapy Research**, v. 25, p. 458-462. 2011.

MORAES, T. C.; JABLONSKI, R. O. A.; RECH, R.; FLÔRES, S. H. Dietary fiber from orange by products as a potential fat replacer. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 9-14, 2013.

MORRISON, W.R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Food World**, v.40, p.437-446. 1995.

NALDONI, F. J.; CLAUDINO, A. L. R.; CRUZ-JR, J. W.; CHAVASCO, J. K.; FARIA-SILVA, P. M.; VELOSO, M. P.; DOS SANTOS, M. H. Antimicrobial Activity of Benzophenones and Extracts from the Fruits of *Garcinia brasiliensis*. **Journal of Medicinal Food**, v. 12, p. 403–407. 2009

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch-Stärke**, v. 35 (12), p. 407-410. 1983.

NGOUELA, S.; LENTA, B. N.; NOUNGOUE, D. T.; NGOUPAYO, J.; BOYOM, F. F.; TSAMO, E.; GUT, J.; ROSENTHAL, P. J.; CONNOLLY, J. D. Antiplasmodial and antioxidant activities of constituents of the seed shells of *Symphonia globulifera* Linn f. **Phytochemistry**, v. 67, p. 302-306. 2006.

NIERO, R.; DAL MOLIN, M. M.; SILVA, S.; DAMIAN, N. S.; MAIA, L. O.; MONACHE, F. D.; CECHINEL-FILHO, V.; DE ANDRADE, S. F. Gastroprotective effects of extracts and guttiferone A isolated from *Garcinia achachairu* Rusby (*Clusiaceae*) against experimentally induced gastric lesions in mice. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacologist*, v. 385 (11), p. 1103-1109. 2012.

NOGUEIRA, G. F.; FAKHOURI, F. M.; DE OLIVEIRA, R. A. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. *Carbohydrate Polymers*, v. 186, p. 64–72. 2018.

NUNES, J. S. Propagación del achachairú (*Rheedia achachairu* Rusby) por estacas. 17f. Monografía – Carrera de Ciencia y Producción Agropecuária, Zamorano. 2004.

NUNES, R.; BROERING, M. F.; DE FAVERI, R.; GOLDONI, F. C.; MARIANO, L. N. B.; MAFESSOLI, P. C. M.; MONACHE, F. D.; CECHINEL-FILHO, V.; NIERO, R.; SANTIN, J. R.; QUINTÃO, N. L. M. Effect of the metanolic extract from the leaves of *Garcinia humilis* Vahl (*Clusiaceae*) on acute inflammation. *Inflammopharmacology*, v. 2 (29), p. 423-438. 2021.

ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de Alimentos: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 294p, 2005.

ORO, T.; MARIA, I. V.; MARTHA, L. I.; MIRANDA, Z. DE, SILVIA, N.; RICHARDS, S.; LUIZ, I. I. I.; GUTKOSKI, C.; ALICIA, I. V. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães Pasting properties of whole and refined wheat flour blends used for bread production. *Ciência Rural*, v. 43 (4), p. 754–760. 2013.

ORSAT, V.; CHANGRUE, V.; VIJAYA RAGHAVAN, G. S. Microwave drying of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, v. 6, p. 4-9, 2006.

PALACIOS-FONSECA, A. J.; CASTRO-ROSAS, J.; GÓMEZ-ALDAPA, C. A.; TOVAR-BENÍTEZ, T.; MILLÁN-MALO, B. M.; DEL REAL, A.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Effect of the alkaline and acid treatments on the physicochemical properties of corn starch. *CYTA - Journal of Food*, 11(SUPPL.1), p. 67–74. 2013.

PANTELIĆ, M. M.; DABIĆ ZAGORAC, D. C.; DAVIDOVIĆ, S. M.; TODIĆ, S. R.; BEŠLIĆ, Z. S.; GAŠIĆ, U. M.; TEŠIĆ, Ž. L.; NATIĆ, M. M. Identification and quantification of phenolic compounds in berry skin, pulp, and seeds in 13 grapevine varieties grown in Serbia. *Food Chemistry*, v. 211, p. 243-252. 2016.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the Physical Chemistry of Starch. *Advances in Carbohydrate Chemistry*, v. 11, p. 335–393. 2001.

PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 30, n. 4, p. 993-1000, 2010.

PELISSARI, F. M.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; SOBRAL, P. J. D. A.; MENEGALLI, F. C. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch/Staerke*, v. 64 (5), p. 382–391. 2012.

PERERA, C.; HOOVER, R. Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Chemistry*, v. 64 (3), p. 361–375. 1999.

PIMENTEL, M. R, F. Caracterização qualitativa de frutos de achachairu (*Garcinia humilis* (Vahl) C. D. Adam) cultivados em Moreno – PE. 2012. 75f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, 2012.

PINTO, V. Z.; VANIER, N. L.; DEON, V. G.; MOOMAND, K.; EL HALAL, S. L. M.; ZAVAREZE, E. D. R.; LIM, L. T.; DIAS, A. R. G. Effects of single and dual physical modifications on pinhão starch. *Food Chemistry*, v. 187, p. 98–105. 2015.

PIOVESANA, A.; BUENO, M. M.; KLAJN, V. M. Elaboration and acceptability of cookies enhanced with oat and flour grape pomace. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, p. 68-72. 2013.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. (2006). Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95 (1), p. 9 – 18. 2006.

RAVEN, H. P. *Biologia vegetal*. 5a ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan: 728 p, 1996.

RAVI, R.; SAI MANOHAR, R.; HARIDAS RAO, P. Use of Rapid Visco Analyser (RVA) for measuring the pasting characteristics of wheat flour as influenced by additives. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79 (12), p. 1571–1576. 1999.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231-1237. 1999.

RODRIGUES, S. C. S.; SILVA, A. S. DA.; CARVALHO, L. H. DE.; ALVES, T. S.; BARBOSA, R. Morphological, structural, thermal properties of a native starch obtained from babassu mesocarp for food packaging application. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9 (6), p. 15670–15678. 2020.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.; KIMUBA, M.; AMAYA-FARFAN, J. *Fontes brasileiras de carotenoides*. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidades e Florestas, Brasília, 2008.

RODRÍGUEZ-ROJAS, A.; ARANGO OSPINA, A.; RODRÍGUEZ-VÉLEZ, P.; ARANA-FLOREZ, R. ¿What is the new about food packaging material? A

bibliometric review during 1996–2016. **Trends in Food Science & Technology**, v. 85, p. 252–261. 2019.

SAJILATA, M. G., SINGHAL, R. S., KULKARNI, P. R. (2006). Resistant starch a review. **Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, p. 1-17. 2006.

SAMPAIO, C. R. P.; HAMERSKI, F.; RIBANI, R. H. Antioxidant phytochemicals of *Byrsonima ligustrifolia* throughout fruit developmental stages. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 400–410. 2015.

SANGSEETHONG, K.; TERMVEJSAYANON, N.; SRIROTH, K. Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 82 (2), p. 446–453. 2010.

SANTOS, A. A. O. et al. Elaboração de biscoitos de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo por polvilho azedo e farinha de albedo de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.3, p.531-536. 2011.

SANTOS, C. M., ABREU, C. M. P., FREIRE, J. M., QUEIROZ, E. R., MENDONÇA, M. M. Chemical characterization of the flour of peel and seed from two papaya cultivars. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 353-357, 2014.

SILVA, L. M. R., FIGUEIREDO, E. A. T., RICARDO, N. M. P. S., VIEIRA, I. G. P., FIGUEIREDO, R. W., BRASIL, I. M., GOMES, C. L. Quantification of Bioactive Compounds in Pulps And By-Products of Tropical Fruits From Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398–404. 2014.

SILVA, H. R. DA.; ASSIS, D. DA C. DE.; PRADA, A. L.; SILVA, J. O. C.; SOUSA, M. B. DE.; FERREIRA, A. M.; AMADO, J. R. R.; CARVALHO, H. DE O.; SANTOS, A. V. T. DE L. T. DOS.; CARVALHO, J. C. T. Obtaining and characterization of anthocyanins from *Euterpe oleracea* (açai) dry extract for

nutraceutical and food preparations. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29 (5), p. 677–685. 2019.

SILVEIRA, T. M. G.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Is isolating starch from the residue of annatto pigment extraction feasible? **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 117–125. 2018.

SILVERSTEIN, R.; WEBSTER, F. Identificação Espectrofotométrica de Compostos Orgânicos (6a Edição, pp. 67e135). Livros Técnicos e Científicos Editora SA. 2006.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219-231. 2003.

SINGHA, K. T.; SREEHARSHA, R. V.; MARIBOINA, S.; REDDY, A. R. Dynamics of metabolites and key regulatory proteins in the developing seeds of *Pongamia pinnata*, a potential biofuel tree species. **Industrial Crops and Products**, v. 140 (August), 111621. 2019.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. J. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16 (3), p. 144-158. 1965.

SLAVIN, J. L.; LLOYD, B. Health benefits of fruits and vegetables. **Advances in Nutrition**, v. 3, p. 506-516. 2012.

SOLIMAN, A. A. A.; EL-SHINNAWY, N. A.; MOBARAK, F. Thermal behavior of starch and oxidized starch. **Thermochimica Acta**, v. 296 (1–2), p. 149–153. 1997.

SOPRANO, E. Registro técnico – EPAGRI: Epagri pesquisa fruta exótica. **Agropecuária Catarinense**, v. 24 (1). 2011.

SOPRANO, E.; KOLLER, O. L. Avaliação de frutos de espécies frutíferas tropicais com potencial para cultivo em Santa Catarina. In: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura, 54 th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, Vitória-ES. 2008.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros**, v. 10 (1), p. 24–30. 2000.

SUORTTI, T.; GORENSTEIN, M. V.; ROGER, P. Determination of the molecular mass of amylose. **Journal of Chromatography A**, v. 828 (1–2), p. 515–521. 1998.

TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Potential of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria in the production of flour, starch and protein concentrate: Chemical, thermal and rheological characterization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90 (7), p. 1185–1193. 2010.

TERRAZAS, P. M.; MARQUES, E. S.; MARIANO, L. N. B.; CECHINEL-FILHO, V.; NIERO, R.; ANDRADE, S. F.; MAISTRO, E. L. Benzophenone guttiferone A from *Garcinia achachairu* Rusby (*Clusiaceae*) presents genotoxic effects in different cells of mice. **PLoS ONE**, v. 8 (11). 2013.

TEJADA-ORTIGOZA, V.; GARCIA-ANEZQUITA, L. E.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; WELTI-CHANES, J. (2017). The dietary fiber profile of fruit peels and functionality modifications induced by high hydrostatic pressure treatments. **Food Science and Technology International**, v. 23, p. 396-402. 2017.

TESTER, R. F.; YOUSUF, R.; KETTLITZ, B.; RÖPER, H. Use of commercial protease preparations to reduce protein and lipid content of maize starch. **Food Chemistry**, v. 105 (3), p. 926–931. 2007.

TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V.; BRITO, M. DE F.; BARBOSA, J. D. Plantas Tóxicas do Brasil para Animais de Produção. 2. ed. Rio de Janeiro: Helianthus, 2012. 586 p.

TOME, A. C.; DA SILVA, F. A.; MONTEIRO, M. L.; MÁRSICO, E. T. Effect of Achachairu Skin on the Oxidative Stability of Mechanically Separated Tilapia Meat and a Sensory Evaluation of Its Use in a Restructured Product. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 30. 2021.

TOME, A. C.; MÁRSICO, E. T.; SILVA, F. A.; KATO, L.; NASCIMENTO, T. P.; MONTEIRO, M. L. G. Achachairú (*Garcinia humilis*): chemical characterization, antioxidant activity and mineral profile. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 13, 213–221. 2018.

TORRES-LEÓN, C.; VICENTE, A. A.; FLORES-LÓPEZ, M. L.; ROJAS, R.; SERNA-COCK, L.; ALVAREZ-PÉREZ, O. B.; AGUILAR, C. N. Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. **LWT**, v. 97 (July), p. 624–631. 2018.

VANDEPUTTE, G. E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J.; DELCOUR, J. A. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. **Journal of Cereal Science**, v. 38 (1), p. 43–52. 2003.

VICENTINI, N. M.; DUPUY, N.; LEITZELMAN, M.; CEREDA, M. P.; SOBRAL, P. J. A. Prediction of cassava starch edible film properties by chemometric analysis of infrared spectra. **Spectroscopy Letters**, v. 38 (6), p. 749–767. 2005.

VILLARREAL, M. E.; RIBOTTA, P. D.; ITURRIAGA, L. B. Comparing methods for extracting amaranthus starch and the properties of the isolated starches. **LWT Food Science and Technology**, v. 51 (2), p. 441–447. 2013.

VIRGOLIN, L. B.; SEIXAS, F. R. F.; JANZANTTI, N. S. Composition, content of bioactive compounds, and antioxidant activity of fruit pulps from the Brazilian Amazon biome. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 52 (10), p. 933-941. 2017.

WANG, S.Y.; LIN, H.S. Antioxidant activity of fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 140–146. 2000.

WANG, N.; ZHANG, X.; HAN, N.; BAI, S. Effect of citric acid and processing on the performance of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 76 (1), p. 68–73. 2009.

WANG, X.; CHEN, L.; LI, X.; XIE, F.; LIU, H.; YU, L. Thermal and Rheological Properties of Breadfruit Starch. **Journal of Food Science**, v. 76 (1). 2011.

WANG, Y. J.; CHONG, S. W. Effect of Pericarp Removal of Wet-Milled Corn Starch. **Cereal Chemistry**, v. 83 (1), p. 25- 27. 2006.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29 (4), p. 748-753. 2009.

WU, J.; WANG, X.; MA, S. Study on Changes in the Characteristics of Key Carbohydrates in Wheat during the After-ripening Period. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 1 (1), p. 15–19. 2018.

XI, W.; ZHANG, Q.; LU, X.; WEI, C.; YU, S.; ZHOU, Z. Improvement of flavour quality and consumer acceptance during postharvest ripening in greenhouse peaches by carbon dioxide enrichment. **Food Chemistry**, v. 164, p. 219–227. 2014.

XU R. Investigation on after-ripening mechanism of wheat[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology. 2013.

ZAINUDDIN, S. Y. Z.; AHMAD, I.; KARGARZADEH, H. Cassava starch biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals from kenaf fibers. **Composite Interfaces**, v. 20 (3), p. 189–199. 2013.

ZAMBRANO-ZARAGOZA, M. L.; MERCADO-SILVA, E.; RAMIREZ-ZAMORANO, P.; CORNEJO-VILLEGAS, M. A.; GUTIÉRREZ-CORTEZ, E.; QUINTANAR-GUERRERO, D. Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. **Food Research International**, v. 51, p. 946-953, 2013.

ZENG, M.; MORRIS, C. F.; BATEY, I. L.; WRIGLEY, C. W. (1997). Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. **Cereal Chemistry**, v. 74 (1), p. 63–71. 1997.

ZHANG, S. D.; ZHANG, Y. R.; ZHU, J.; WANG, X. L.; YANG, K. K.; WANG, Y. Z. Modified corn starches with improved comprehensive properties for preparing thermoplastics. **Starch/Stärke**, v. 59, p. 258–268. 2007.

ZHU, F.; WANG, Y. J. Characterization of modified high-amylose maize starch- $\alpha$ -naphthol complexes and their influence on rheological properties of wheat starch. **Food Chemistry**, v. 138, p. 256-262. 2013.