

LEONARA MARTINS VIANA

**CARACTERIZAÇÃO, DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DO AMIDO E POTENCIAL
FUNCIONAL *IN VIVO* DAS FARINHAS DA POLPA, CASCA E MISTA DE BANANA
PRATA VERDE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Frederico Augusto Ribeiro de Barros

Coorientadoras: Bárbara Pereira da Silva
Hércia Stampini Duarte Martino
Mária Herminia Ferrari Felisberto

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V614c Viana, Leonara Martins, 1993-
2022 Caracterização, digestibilidade in vitro do amido e potencial funcional in vivo das farinhas da polpa, casca e mista de banana prata verde / Leonara Martins Viana. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (115 f.): il. (algumas color.).

Texto em português e inglês.

Inclui apêndice.

Orientador: Frederico Augusto Ribeiro de Barros.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.269>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Farinha de banana. 2. Digestão. 3. Ratos como animais de laboratório. I. Barros, Frederico Augusto Ribeiro de, 1983-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

CDD 22. ed. 641.34772

LEONARA MARTINS VIANA

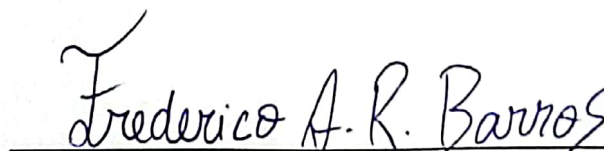
**CARACTERIZAÇÃO, DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DO AMIDO E POTENCIAL
FUNCIONAL *IN VIVO* DAS FARINHAS DA POLPA, CASCA E MISTA DE BANANA
PRATA VERDE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2022.

Assentimento:


Leonara Martins Viana
Autora


Frederico Augusto Ribeiro de Barros
Orientador

*Aos meus pais, minhas queridas afilhadas e
irmãos.*

AGRADECIMENTOS

Em especial, agradeço aos meus pais, Jovino e Sãozinha pela fortaleza que são para mim e meus irmãos, pelo apoio incondicional em todas as minhas decisões e por despertarem em mim o gosto pelo estudo desde a infância.

Aos melhores irmãos que eu poderia ter, Luciano, Lucimeire e Lucimara, que independentemente das minhas escolhas sempre me incentivam a correr atrás dos meus sonhos e objetivos. Sou imensamente grata por todo cuidado, carinho e suporte.

Às minhas amadas afilhadas, Alice e Maria Antônia, por compartilharem comigo cada pedacinho de suas vidas e por nossas conversas sempre revigorantes, o carinho e amor sincero de vocês são parte fundamental da minha rotina. Esse também é o momento de agradecer àqueles que participaram de maneira direta e indireta no desenvolvimento da pesquisa.

À Deus, por ter me dado saúde, fé e uma família maravilhosa que me permitiu concretizar esse sonho.

Ao meu orientador, professor Frederico Augusto Ribeiro de Barros (DTA/UFV) cujas lições extrapolam os contornos acadêmicos e científicos. Com muita sabedoria e paciência, o professor Frederico sempre se mostrou disponível para conversarmos sobre às escolhas e caminhos que nos eram mais convenientes para o desenvolvimento da nossa pesquisa. A você, professor Frederico, agradeço imensamente pela oportunidade, suporte, incentivo, confiança e conhecimentos partilhados ao longo desses últimos anos.

Um agradecimento especial, a minha coorientadora, professora Mária Herminia Ferrari Felisberto (DTA/UFV), por ser um grande exemplo de pessoa e profissional. Com muita gentileza e delicadeza, ela foi umas das primeiras pessoas que me recebeu e apresentou a UFV. Sempre disposta e acessível, a professora Mária se tornou muito mais do que uma coorientadora, mas uma amiga e companheira de trabalho. Obrigada por todos os ensinamentos e por todo apoio!

Agradeço também, às professoras Hércia Stampini Duarte Martino (DNS/UFV) e Bárbara Pereira da Silva (DNS/UFV), minhas coorientadoras, pela parceria exemplar e por todo suporte ao longo do experimento *in vivo*. Com muita paciência, elas sempre se mostraram disponíveis para que pudéssemos aparar as arestas sobre a execução do projeto *in vivo*. Trabalhar com animais foi uma experiência desafiante, mas com certeza seria uma tarefa mais difícil sem o apoio, paciência e auxílio de vocês. Professora Hércia, Barbára e demais integrantes do Laboratório de Nutrição Experimental, meu muito obrigada!

Aos colegas do grupo de estudo BIOCARB, pelo companheirismo, carinho, trabalho em equipe, aprendizado compartilhado e auxílio na execução das análises.

Ao Laboratório de Pesquisa e Química de Cereais, Laboratório de Nutrição Experimental, Laboratório de Anatomia Vegetal, Laboratório de Biocombustíveis e Planta de Processamento de Frutas e Hortaliças, por todo suporte para com a realização das análises. Muito Obrigada!

Ao produtor da banana verde, pela boa vontade e disponibilidade dos frutos.

Ao Biotério Central de Ciências Biológicas e da Saúde (UFV) por conceder os animais para o estudo *in vivo*.

Aos funcionários do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos pela cordialidade e disponibilidade de atendimento aos alunos. Aos professores por compartilharem conosco seus conhecimentos e pelo permanente convite à reflexão.

Aos meus amigos que sempre se dispuseram a me ouvir em momentos de aflições e medos. Em especial, agradeço as minhas *irmãs* de longa data, Jean, Quele, Josiele e Victória por acompanharem de perto as minhas angústias e por renovarem meu ânimo mesmo que de longe. Gratidão também as amigas que se fortaleceram ainda mais ao longo do mestrado, Babi, Antônio e Vini, vocês com certeza tornaram meus dias mais felizes e leves em Viçosa.

Por fim, agradeço imensamente à Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho.

Muito obrigada!!!

*“Se você quiser alguém em quem confiar, confie em si mesmo.
Quem acredita sempre alcança”.*

(Renato Russo)

BIOGRAFIA

Leonara Martins Viana, filha de Jovino Alves Viana e Maria da Conceição Martins Ferreira Viana, nasceu em 19 de janeiro de 1993, em Pedro Leopoldo, Minas Gerais.

Em fevereiro de 2014, ingressou no curso de Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ-*Campus* Sete Lagoas-MG), graduando-se em Engenharia de Alimentos em dezembro de 2018. Durante a época da graduação, teve o prazer de se apaixonar pela área de Carboidratos em Alimentos, por meio da disciplina de Análises de Alimentos (a qual foi monitora por dois anos) e também pela participação ativa em pesquisas relacionadas com o desenvolvimento de produtos a base de cereais. Porém, essa vontade de aperfeiçoar ainda mais seu conhecimento e experiência, veio através da oportunidade de execução de um projeto de pesquisa relacionado com a caracterização de produtos farináceos a base de mandioca. A execução de um projeto científico com produtores rurais de sua cidade natal (Santana de Pirapama/MG), só evidenciou a vontade de se desenvolver trabalhos que impactam e beneficiam não só o meio acadêmico mas também a população em geral.

Assim, com o intuito de aprimorar ainda mais seus conhecimentos acadêmicos e profissionais, em fevereiro de 2020, Leonara ingressou no programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (DTA-UFV), em nível de mestrado, sob a orientação do professor Frederico Barros, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2022.

RESUMO

VIANA, Leonara Martins, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Caracterização, digestibilidade *in vitro* do amido e potencial funcional *in vivo* das farinhas da polpa, casca e mista de banana prata verde.** Orientador: Frederico Augusto Ribeiro de Barros. Coorientadoras: Bárbara Pereira da Silva, Hércia Stampini Duarte Martino e Mária Herminia Ferrari Felisberto.

A utilização da casca e polpa de banana verde tem se tornado uma alternativa viável para a produção de farinhas com alto teor de amido resistente, amido lentamente digerível, fibras alimentares e minerais. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar as farinhas de polpa (FPBV) e casca (FCBV) de banana prata verde, avaliar a digestibilidade *in vitro* do amido e o efeito do consumo da combinação dessas farinhas no perfil de lipídios, glicemia e na saúde intestinal de ratos *Wistar*. Foram utilizadas bananas prata (*Musa spp.*) verdes e o grau de maturação dos frutos foi avaliado por meio da análise de firmeza e cor. Experimento 1: farinhas de polpa e casca de bananas foram obtidas e caracterizadas (granulometria, cor, análise centesimal, fenólicos totais, taninos, perfil de ácidos graxos, classificação dos lipídios, etc). Além disso, avaliou-se as propriedades tecnológicas (propriedades de pasta do amido, força do gel, índice de absorção e solubilidade em água) e a digestibilidade *in vitro* do amido das farinhas. Experimento 2: realizou-se um estudo *in vivo*, com ratos *Wistar*, e foi avaliado o ganho de peso, adiposidade, peso do ceco, pH e umidade das fezes, características histomorfométricas do ceco, análises bioquímicas e biomoleculares. Com base nos resultados do experimento 1, observou-se que o conteúdo de lipídios, fibra alimentar total, minerais, cinzas, assim como a concentração de fenólicos totais e taninos foi maior na FCBV do que na FPBV. Os monoacilgliceróis e lipídios polares apresentaram maior percentual entre as frações lipídicas do óleo da FCBV, enquanto o óleo da FPBV apresentou, como principais lipídios, os triacilgliceróis e monoacilgliceróis. Ademais, ácidos poli-insaturados, como ácido linoleico, ácido linolênico e ácido eicosapentaenoico foram mais abundantes na FCBV. A FPBV apresentou maior conteúdo de amido total, valores de viscosidade de pico, viscosidade final e dureza do gel. Observou-se maior conteúdo de amido resistente nas amostras de FPBV (44,11%) e baixos valores de amido rapidamente e lentamente digerível (2,33 e 2,37%, respectivamente). No experimento 2, observou-se que o ganho de peso e coeficiente de eficiência alimentar dos grupos que receberam a M1 (mistura 1: 90% de FPBV e 10% de FCBV), M2 (mistura 2: 80% de FPBV e 20% de FCBV) ou P (Polpa: 100% de FPBV) foram menores do que o grupo DP (dieta padrão-AIN-93G). A adição de farinhas de polpa e/ou mistas

reduziu os níveis de adiposidade e pH cecal, aumentou o peso do ceco, umidade das fezes, melhorou as características histomorfométricas e expressão gênica. Parâmetros bioquímicos, como glicose, colesterol total, triacilglicerídeos, lipoproteína de densidade muito baixa (VLDL-c) e lipoproteína de alta densidade (LDL-c) foram reduzidos no grupos M1, M2 e P. Os resultados obtidos indicaram que tanto a FPBV quanto a FCBV apresentaram boas características físicas, químicas e tecnológicas, e portanto, elas podem ser utilizadas como ingrediente no desenvolvimento de alimentos funcionais. Ademais, as farinhas de polpa e/ou mista (com substituição de 10% ou 20% da FPBV pela FCBV) reduziram os níveis lipídicos e glicêmicos, além de melhorarem os parâmetros histomorfométricos e aumentar a expressão de genes proteicos envolvidos com a saúde intestinal.

Palavras-chave: Farinha de banana verde. Polpa. Casca. Amido resistente. Alimento funcional. Caracterização. Funcionalidade intestinal.

ABSTRACT

VIANA, Leonara Martins, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Characterization, *in vitro* starch digestibility and *in vivo* functional potential of ‘Prata’ green banana pulp and peel flours, and their mixture.** Adviser: Frederico Augusto Ribeiro de Barros. Co-advisers: Bárbara Pereira da Silva, Hércia Stampini Duarte Martino and Mária Herminia Ferrari Felisberto.

The use of unripe banana peel and pulp has become a viable alternative for the production of flours with a high content of resistant starch, slowly digestible starch, dietary fiber and minerals. Thus, the objective of this work was to characterize as pulp (GBPF) and peel (GBPeF) flours of green bananas, to evaluate the *in vitro* digestibility of starch and the effect of consumption of flours on the profile and intestinal health of *Wistar* rats. The bananas used (*Musa* spp.) were silver green and the degree of maturation was evaluated by means of the analysis of the fruits of firmness and color. Experiment 1: the banana pulp and peel flours were obtained and characterized (granulometry, color, proximate analysis, total phenolics, tannins, fatty acid profile, lipid classification, etc). Furthermore, the technological properties (starch paste properties, gel strength, absorption index and water solubility) and *in vitro* starch digestibility of the flours were evaluated. Experiment 2: an *in vivo* study was carried out with *Wistar* rats, and weight gain, adiposity, cecum weight, pH and feces moisture, histomorphometric characteristics of the cecum, biochemical and biomolecular analyzes were evaluated. Based on the results of experiment 1, it was observed that the content of lipids, total dietary fiber, minerals, ash, as well as the concentration of total phenolics and tannins was higher in GBPeF than in GBPF. Monoacylglycerols and polar lipids showed a higher percentage among the lipid fractions of GBPeF oil, while the GBPF oil presented, as main lipids, triacylglycerols and monoacylglycerols. Furthermore, polyunsaturated acids such as linoleic acid, linolenic acid and eicosapentaenoic acid were more abundant in GBPeF. GBPF showed higher total starch content, peak viscosity, final viscosity and gel hardness values. Higher resistant starch content was observed in GBPF samples (44.11%) and low values of rapidly and slowly digestible starch (2.33 and 2.37%, respectively). In experiment 2, it was observed that the weight gain and feed efficiency coefficient of the groups that received M1 (mixture 1: 90% GBPF and 10% GBPeF), M2 (mixture 2: 80% GBPF and 20% of GBPeF) or P (Pulp: 100% of GBPF) were lower than the SD group (standard diet-AIN-93G). The addition of pulp and/or mixed flours reduced the levels of adiposity and cecal pH, increased cecal weight, feces moisture, improved histomorphometric characteristics and gene expression. Biochemical parameters such as

glucose, total cholesterol, triacylglycerides, very low density lipoprotein (VLDL-c) and high density lipoprotein (LDL-c) were reduced in groups M1, M2 and P. The results obtained indicated that both GBPF and GBPeF showed good physical, chemical and technological characteristics, and therefore, they can be used as an ingredient in the development of functional foods. In addition, pulp and/or mixed flours (with replacement of 10% or 20% of GBPF by GBPeF) reduced lipid and glycemic levels, in addition to improving histomorphometric parameters and increasing the expression of protein genes involved with intestinal health.

Keywords: Green banana flour. Pulp. Peel. Resistant starch. Functional food. Characterization. Intestinal functionality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REVISÃO DE LITERATURA – CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Etapas do processamento da farinha de banana verde.....36
- Figura 2 - Curva de viscosidade típica do Analisador Rápido de Viscosidade com identificação dos parâmetros avaliados.....40

ARTIGO 1 – CAPÍTULO 2

- Figure 1 - Green banana flours- A: green banana pulp flour (GBPF); B: green banana peel flour (GBPeF) pre-treated with citric acid 0.5% (w/v).....93
- Figure 2 - Thin-layer chromatography of the oils extracted from the green banana pulp and peel flours. S: standard; TAG: triacylglycerols; FFA: free fatty acids; MAG: monacylglycerols; GBFPO: oil from the green banana pulp flour; GBFePO: oil from the green banana peel flour.....94

ESTUDO *IN VIVO* – CAPÍTULO 3

- Figura 1- Efeitos do consumo de farinhas mistas e de polpa de banana verde por 28 dias em variáveis bioquímicas de ratos *Wistar* (n = 8). DP: dieta padrão; Mistura 1 (M1): tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca de banana verde; Mistura 2 (M2): tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca de banana verde; Polpa (P): tratamento com 100% de farinha de polpa de banana verde. CT: colesterol total; HDL-c: lipoproteína de alta densidade; LDL-c: lipoproteína de baixa densidade; VLDL-c: lipoproteína de densidade muito baixa; TAG: triglicerídeos; AST: alanina aminotransferase; ALT: aspartate aminotransferase103
- Figura 2 - Efeitos do consumo da farinha de casca e polpa de banana por 28 dias na expressão genética proteica relacionada à saúde intestinal em ratos *Wistar* (n = 8). DP: dieta padrão; M1: mistura 1 (tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca); M2: mistura 2 (tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca) e P: polpa (tratamento com 100% de farinha de polpa)104

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA - CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Composição química da parte comestível de frutos de três cultivares de banana	29
Tabela 2 - Composição da farinha de casca e polpa de banana prata verde (<i>Musa paradisiaca</i>)	31
Tabela 3 - Fenólicos totais, flavonoides e capacidade antioxidante na casca e polpa da banana Cavendish (<i>Musa acuminata L</i>) em estágios verdes e maduros	33
Tabela 4 - Efeito de diferentes processos de secagem em farinhas de banana verde	39

ARTIGO 1 – CAPÍTULO 2

Table 1 - Particle size distribution of the green banana pulp and peel flours	87
Table 2 - Changes in color of the green banana pulp and peel flours	87
Table 3 - Proximate composition of the green banana pulp and peel flours	88
Table 4 - Minerals content of green banana pulp and peel flours	88
Table 5 - Water activity, pH and total titratable acidity of green banana pulp and peel flours ..	89
Table 6 - Concentration of total phenolics, condensed tannins and phytic acid of green banana pulp and peel flours	89
Table 7 - Fatty acid composition of green banana pulp and peel flours	90
Table 8 - Pasting properties and gel strenght of the green banana pulp and peel flours, and their mixture	91
Table 9 - Water absorption (WAI) and water solubility (WSI) of the green banana pulp and peel flours	92
Table 10 - <i>In vitro</i> starch digestibility of the green banana pulp and peel flours	92

ESTUDO *IN VIVO* – CAPÍTULO 3

Tabela 1- Composição das dietas experimentais (g/kg de dieta)	97
Tabela 2- Sequenciamento de <i>primers</i> usados na análise RT-qPCR	99
Tabela 3 - Ganho de peso, adiposidade, consumo alimentar, coeficiente de eficiência alimentar (CEA) e consumo de amido resistente dos animais por 28 dias	100

Tabela 4 - Peso do ceco, índice cecal, pH, umidade e características histomorfométricas do ceco dos animais	101
---	-----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AACC	American Association for Clinical Chemistry
ABTS	2,2'-azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-sulfonato
AGL	Ácidos graxos livres
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
AT	Amido total
AR	Amido resistente
ALD	Amido lentamente digerível
ARD	Amido rapidamente digerível
AP	Amino peptidase
CMC	Camada muscular circular
CML	Camada muscular longitudinal
DM	Diabetes mellitus tipo 1
ALT	Alanina aminotransferase
AST	Aminotransferase aspartate
ANOVA	Análise de variância
AGCC's	Ácidos graxos de cadeia curta
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
cDNA	DNA complementar
CEA	Coeficiente de eficiência alimentar
C14:00	Ácido mirístico
C16:0	Ácido palmítico
C18:0	Ácido esteárico
C18:1n9c	Ácido oleico
C19:0	Padrão interno
C18:2n6c	Ácido linoleico
C18:3n6	Ácido linolênico
C20:5n3	Ácido eicosapentaenoico
C20:4n6	Ácido araquidônico
C24:4n9	Ácido nervônico
DP	Dieta padrão
DPPH	1,1- difenil-2-picrilhidrazila

EPA	Ácido eicosapentaenoico
FAME's	Ésteres metílicos de ácidos graxos
FAO	Food and Agriculture Organization
FAT	Fibra alimentar total
FCBV	Farinha de casca de banana verde
FI	Fibra alimentar insolúvel
FS	Fibra alimentar solúvel
FPBV	Farinha de polpa de banana verde
FPBVM	Farinha da polpa de banana verde modificada
IAA	Índice de absorção de água
IB	Índice de brancura
IE	Índice de escurecimento
IS	Isomaltase de sacarose
ISA	Índice de solubilidade em água
GC	Cromatografia gasosa
GOPOD	Reagente de glicose oxidase/peroxidase
HPLC	High-performance liquid chromatography
HCl	Ácido clorídrico
HDL-c	Colesterol de lipoproteína de alta densidade
LDL-c	Colesterol de lipoproteína de baixa densidade
LMR	Limite Máximo de Resíduos
MAG	Monoacilgliceróis
mRNA	RNA mensageiro
M1	Farinha mista com 90% polpa e 10% casca de banana verde (90:10)
M2	Farinha mista com 80% polpa e 20% casca de banana verde (80:20)
OCBV	Óleo da farinha de casca de banana verde
OPBV	Óleo da farinha de polpa de banana verde
PepT-1	Transportador de peptídeos 1
RT-qPCR	Reação quantitativa em cadeia de transcriptase reversa
RVA	Analizador rápido de viscosidade
SGLT-1	Proteína de transporte de sódio-glicose 1
TAG	Triacilgliceróis
TLC	Cromatografia em camada delgada

T_{pasta}	Temperatura de pasta
V_{final}	Viscosidade final
$V_{\text{máx.}}$	Viscosidade máxima
$V_{\text{mín.}}$	Viscosidade mínima
VLDL-c	Lipoproteína de densidade muito baixa

LISTA DE SÍMBOLOS

® - Marca Registrada

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	22
REFERÊNCIAS.....	24
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	26
2. GREEN BANANA (<i>MUSA SSP.</i>) MIXED PULP AND PEEL FLOUR: NEW INGREDIENT WITH INTERESTING BIOACTIVE, NUTRITIONAL, CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES FOR FOOD APPLICATIONS.....	58
1. INTRODUCTION.....	60
2. MATERIALS AND METHODS.....	61
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	67
3.1 Fruit ripening stage.....	67
3.2 Physical and chemical characterization of the green banana flours.....	68
3.2.1 Particle size.....	68
3.2.2 Instrumental color.....	68
3.2.3 Proximate composition.....	69
3.2.4 Minerals.....	70
3.2.5 Water activity, pH, and total titratable acidity.....	71
3.2.6 Total phenolics, tannins, and phytic acid.....	71
3.2.7 Lipid classification and fatty acid profile of the lipids extracted from the flours..	72
3.3 Technological properties of the green banana flours.....	73
3.3.1 Pasting Properties.....	73
3.3.2 Gel strength.....	75
3.3.3 Water absorption index and solubility index.....	75
3.4 <i>In vitro</i> starch digestibility of green banana pulp and peel flours.....	76
4. CONCLUSION.....	77
5. REFERENCES.....	79
3. EFEITO DO CONSUMO DE FARINHAS DE POLPA E/OU MISTAS DE POLPA E DE CASCA DE BANANA VERDE NO PERFIL DE LIPÍDIOS, GLICEMIA E SAÚDE INTESTINAL.....	96
1. MATERIAIS E MÉTODOS.....	96
2. RESULTADOS.....	100
2.1 Ganho de peso, adiposidade, consumo alimentar, coeficiente de eficiência alimentar (CEA) e consumo total de amido resistente, fibras solúveis e insolúveis.....	100
2.2 Peso do ceco, índice cecal, ph, umidade e características histomorfométricas do ceco dos animais.....	101
2.3 Análises bioquímicas.....	102

2.4	Determinação da expressão gênica de proteínas envolvidas na saúde intestinal por reação quantitativa em cadeia de transcriptase reversa (RT-qPCR).....	103
3.	DISCUSSÃO.....	104
4.	CONCLUSÃO	108
5.	REFERÊNCIAS.....	109
	CONCLUSÕES GERAIS.....	112
	APÊNDICE.....	113

Introdução Geral

Este tópico apresenta uma introdução geral sobre o tema que será abordado na dissertação, bem como apresenta os objetivos geral e específicos da pesquisa.

INTRODUÇÃO GERAL

A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais comercializadas e produzidas em todo mundo. Além de ser altamente nutritiva, desempenha importante papel para a segurança alimentar e como base econômica em diversos países, o que implica em um alto consumo pela população (Mesquita et al., 2016; Khoozani et al., 2019a). No entanto, grandes quantidades de bananas são perdidas no processo de comercialização, sobretudo em decorrência do manejo deficiente na pós-colheita, sendo portanto, produzidas altas quantidades de resíduos (Angelis-Pereira et al., 2016; Bi et al., 2017).

Considerando a grande perda de banana ao longo da sua cadeia produtiva, a utilização do fruto ainda verde pode ser uma alternativa viável para reduzir o desperdício, além de minimizar os custos de gestão e prevenir os riscos ambientais (Khoozani et al., 2020). Ademais, o alto teor de amido resistente, amido lentamente digerível, fibras alimentares, compostos antioxidantes e minerais em seu estágio inicial de maturação, contribuem para que a banana verde seja uma matéria-prima adequada para a produção de farinha com potenciais benefícios à saúde (Pereira et al., 2020; Angelis-Pereira et al., 2016).

Grande parte dos efeitos benéficos associados ao consumo de farinhas obtidas a partir da banana verde são atribuídos principalmente ao amido resistente (AR), que é importante na redução do risco de doenças, sobretudo as crônicas não transmissíveis. O AR não é digerido, possui baixo valor calórico e é fermentado por bactérias colônicas específicas para produzir vários metabólitos, como ácidos graxos de cadeia curta (AGGC). Com base nisto, uma série de funções fisiológicas com diferentes efeitos sobre a saúde podem ser geradas, dentre elas a redução das respostas glicêmicas e insulinêmicas, ação hipocolesterolêmica (Angelis-Pereira et al., 2013, 2016), atividades anti-inflamatória (Almeida-Junior et al., 2017), antitumoral, anti-obesidade (Tan et al., 2014) e efeitos protetores contra o câncer colorretal (Langkilde et al., 2002).

Alguns estudos têm evidenciado o potencial da farinha de polpa de banana verde na prevenção de distúrbios intestinais e na redução do índice glicêmico e inflamação. No trabalho de Almeida-Junior et al. (2017), os ratos induzidos a colite ulcerativa que receberam 5% e 10% de farinha da polpa de banana anã (*Musa sp.* AAA) verde, aumentaram de 2 a 5 vezes a concentração de ácidos graxos de cadeia curta no cólon. Além disso, a farinha da polpa foi associada à redução do estresse oxidativo e possibilitou a proteção do tecido intestinal dos animais. Em outro estudo, o consumo de farinhas de polpa e de casca de banana prata (*Musa paradisiaca*) verde não afetou a resposta glicêmica de ratos normoglicêmicos. No entanto, a

farinha da polpa promoveu redução na glicose de jejum proporcional à concentração de farinha consumida, isto é, quando consumida em concentrações de 10 e 15% da dieta, ocorreram estímulos às respostas glicêmicas mais baixas nos animais (Angelis-Pereira et al., 2016).

Tendo em vista tais informações, a produção da farinha de polpa de banana verde tem despertado grande interesse da indústria de alimentos, principalmente por apresentar alta concentração de amido resistente (Pereira et al., 2020). No entanto, estudos que visam compreender melhor suas características químicas, tecnológicas, bioativas e seus efeitos sobre a saúde intestinal, sobretudo, quando a casca da fruta está presente, são escassos. A combinação da tradicional farinha da polpa de banana verde com a farinha da casca apresenta potencial como matéria-prima de novos produtos com composições padronizadas e para diversas aplicações industriais, uma vez que a casca apresenta elevada concentração de fibra alimentar, minerais e compostos bioativos (Khoozani et al., 2019a).

Além disso, estes produtos farináceos podem ser vistos como uma fonte alimentar interessante, por serem indicados para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes, obesidade e dislipidemia. A combinação das farinhas de polpa e de casca de banana verde seria também uma forma de aproveitamento integral da fruta, contribuindo com a redução da geração de resíduos. Ademais, por estarem prontamente disponíveis e seu processamento em farinha ser de baixo custo, as farinhas da casca e da polpa de banana verde podem ser utilizadas como potenciais substitutos às farinhas convencionais (Angelis-Pereira et al., 2016).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi caracterizar as farinhas obtidas da polpa (FPBV) e casca (FCBV) de banana prata verde e avaliar a digestibilidade *in vitro* do amido e o efeito do consumo da combinação dessas farinhas (farinha mista), no perfil de lipídios, glicemia e na saúde intestinal de ratos *Wistar*. Os objetivos específicos foram: produzir farinhas da polpa e da casca de bananas verdes; determinar as características físicas (ex: granulometria e cor instrumental), químicas (ex: composição centesimal, concentração de minerais, acidez total titulável, atividade de água, pH, composição de ácidos graxos, classificação dos lipídios) e bioativas (ex: compostos fenólicos, taninos e ácido fítico) das farinhas obtidas; determinar a digestibilidade *in vitro* do amido das farinhas; avaliar as propriedades tecnológicas (ex: propriedades de pasta e força do gel de amido, índice de absorção e solubilidade em água) das farinhas; e avaliar os efeitos do consumo da farinha mista de banana verde (casca e polpa) na glicemia, perfil lipídico e saúde intestinal de ratos *Wistar*.

REFERÊNCIAS

- Almeida-Junior, L. D., Curimbaba, T. F. S., Chagas, A. S., Quaglio, A. E. V., & Di Stasi, L. C. Dietary intervention with green dwarf banana flour (*Musa* sp. AAA) modulates oxidative stress and colonic SCFAs production in the TNBS model of intestinal inflammation. **Journal of Functional Foods**, v. 38, p. 497-504, 2017.
- Angelis-Pereira, M. C., Barcelos, M. D. F. P., Pereira, R. C., Pereira, J. D. A. R., & de Sousa, R. V. Chemical composition of unripe banana peels and pulps flours and its effects on blood glucose of rats. **Nutrition & Food Science**, 2016.
- Bi, Y., Zhang, Y., Jiang, H., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., ... & Li, C. Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 72, p. 219-227, 2017.
- Khoozani, A. A., Birch, J., & Bekhit, A. E. D. A. Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 548-559, 2019a.
- Khoozani, A. A., Kebede, B., & Bekhit, A. E. D. A. Rheological, textural and structural changes in dough and bread partially substituted with whole green banana flour. **LWT**, p. 109252, 2020.
- Langkilde, A. M., Champ, M., & Andersson, H. Effects of high-resistant-starch banana flour (RS2) on in vitro fermentation and the small-bowel excretion of energy, nutrients, and sterols: an ileostomy study. **The American journal of clinical nutrition**, v. 75, n. 1, p. 104-111, 2002.
- Mesquita, C. B.; C., Leonel, M., Franco, C. M. L., Leonel, S., Garcia, E. L., & dos Santos, T. P. R. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International journal of biological macromolecules**, v. 89, p. 632-639, 2016.
- Pereira, J., Malairaj, S., Brohi, SA, Boateng, EF, & Zhang, W. Impact of unripe banana flour on water states, rheological behaviour and structural properties of myofibrillar protein composite gel. **LWT**, v. 125, p. 109276, 2020.
- Tan, J., McKenzie, C., Potamitis, M., Thorburn, A. N., Mackay, C. R., & Macia, L. The role of short-chain fatty acids in health and disease. **Advances in immunology**, v. 121, p. 91-119, 2014.

– CAPÍTULO 1 –

Revisão de Literatura

Este capítulo apresenta uma revisão sobre os aspectos gerais e a produção mundial da banana, bem como apresenta a composição química e bioativa da banana e de seus coprodutos, além dos métodos de produção, propriedades tecnológicas, digestibilidade do amido e efeitos do consumo destes produtos na glicemia e saúde intestinal.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 ASPECTOS GERAIS E PRODUÇÃO DA BANANA VERDE

A banana é uma fruta climatérica tropical e compreende universalmente várias espécies do gênero *Musa* da família *Musaceae*. Os frutos são caracterizados por serem alongados, cilíndricos e curvos; com coloração variando de verde à amarelo. Devido a suas propriedades nutricionais, a banana atua como base econômica em diversos países, o que implica em um alto consumo pela população, representando a quarta mercadoria alimentar em volume de negociação (Khoozani et al., 2019a; Mesquita et al., 2016). De acordo com as últimas estatísticas da *Food and Agriculture Organization* (FAO), a Ásia é o maior produtor de banana com uma participação de 51,8% da produção mundial, seguido pela América (28,9%), África (17,3%), Oceania e Europa (1,5% e 0,5%) (FAOSTAT, 2021). Com um consumo médio de 12 kg per capita, a banana está entre as principais culturas alimentares do mundo, depois do arroz, trigo e milho (FAOSTAT, 2021).

O Brasil apresenta elevada importância no cenário mundial. Nos últimos anos, foram produzidos cerca de 6,8 milhões de toneladas de banana, o equivalente a um total de 505 mil hectares de área plantada, sendo, portanto, o terceiro maior produtor do mundo (FAOSTAT, 2021). Apesar da participação brasileira no mercado mundial de banana ter aumentado ligeiramente nas últimas décadas, o elevado índice de perdas na comercialização deste fruto faz com que apenas uma parcela, entre 50 a 60% da produção, chegue à mesa do consumidor (Bi et al., 2017; Mesquita et al., 2016). Tendo em vista o grande desperdício de bananas ao longo da sua cadeia produtiva, a utilização do fruto em seu estágio verde tem sido considerada uma alternativa viável para reduzir os resíduos da banana, que além de minimizar os custos de gestão e prevenir os riscos ambientais, atua também como um ingrediente alimentício de baixo custo (El Barnossi et al., 2020; Segundo et al., 2017).

Os frutos verdes são ricos em compostos bioativos, amido resistente, e também fornecem quantidades significativas de vitaminas A e B, potássio e outros minerais, como o magnésio (Vatanasuchart et al., 2012). A polpa da banana, que é a parte comestível da fruta, possui uma quantidade abundante de nutrientes. A casca que compreende cerca de 40% do peso total da fruta (Mesquita et al., 2016; Vu, Scarlett & Vuong, 2016), apresenta elevadas concentrações de fibra alimentar, minerais e compostos fenólicos (Khoozani et al., 2019a; Nasrin et al., 2015). Além disso, a casca da banana verde tem sido associada a inúmeros

benefícios, como propriedades antimicrobianas e antibióticas, alta capacidade antioxidante e ampla aplicabilidade em produtos farmacêuticos e nutracêuticos (Chabuck et al., 2013; Fridrianny et al., 2014).

Apesar desse coproduto ser um material que apresenta grande potencial para posterior utilização, estima-se que aproximadamente 34,72 a 46,29 milhões de toneladas de casca de banana foram gerados em 2018, sendo grande parte descartada de forma inadequada (El Barnossi et al., 2020). Diante disso, os coprodutos da banana verde têm sido considerados ingredientes ideais para a industrialização, uma vez que além de apresentarem alto teor de amido resistente e baixas concentrações de açúcar solúvel, o uso desses coprodutos contribui para a redução das perdas pós-colheita (Rayo et al., 2015).

Uma importante alternativa para o incremento na cadeia produtiva da banana se refere à produção de farinhas com qualidades funcionais consideráveis. Diferentes níveis de adição, que variam entre 10%, 15%, 30%, 45% e 100% da farinha da polpa de banana verde, têm sido utilizados no desenvolvimento de inúmeros produtos, como barras de cereais, biscoitos, pães, macarrão e massas (Agama-Acevedo et al., 2012; Carvalho et al., 2018; Juarez-Garcia et al., 2006; Ovando-Martinez et al., 2009; Vernaza et al., 2011). Além disso, o alto percentual de amido resistente presente na farinha de polpa de banana verde tem atraído atenção de nutricionistas e profissionais de saúde, devido aos seus efeitos positivos no organismo humano, como a redução ao risco de doenças crônicas não transmissíveis (Giuntini et al. 2015; Sardá et al., 2016).

Apesar da importância econômica que a banana possui, tanto em termos de volume de produção mundial quanto em valor nutricional, a presença de substâncias tóxicas, como pesticidas, que são utilizados no plantio do fruto para controle de pragas; pode constituir um risco para a saúde devido à sua toxicidade. Portanto, o monitoramento de resíduos de pesticidas na banana é uma preocupação particular do ponto de vista da segurança do consumidor (Gomes et al., 2020). Muitos países adotam o Limite Máximo de Resíduos (LMR) como forma de regular o uso de pesticidas, geralmente definido como a concentração máxima de resíduos de pesticidas em alimentos, expressa em mg/kg. O LMR para cada matriz varia de acordo com a legislação do país e o agrotóxico avaliado.

De acordo com os dados disponíveis no sistema de registro de agrotóxicos fitossanitários, no período de 2016 a 2020 o Brasil autorizou o uso de 2.012 novos ingredientes ativos de agrotóxicos, um aumento de 146,9% em relação aos cinco anos anteriores, quando foram liberados 815 ativos no país (BRASIL, 2021). Para o cultivo de banana, 46 tipos de agrotóxicos com diferentes classes e grupos químicos são permitidos, porém 38 deles são

autorizados apenas no Brasil (ANVISA, 2018; MAPA, 2018). Alguns pesticidas como clorpirifós, boscalid, imidaclopride, carbaril, difenoconazol e imazalil são os mais aplicados na produção brasileira de banana com LMR variando de 0,01 mg/kg a 1 mg/kg (Gomes et al., 2020). Apesar do grande volume de produção e consumo, poucos estudos estão voltados para a análise de agrotóxicos no fruto da banana. Um estudo recente de Gomes et al. (2021) quantificou resíduos de agrotóxicos (azoxistrobina, difenoconazol e propiconazol) em polpa de banana. Neste trabalho, os três compostos analisados apresentaram concentrações abaixo (variando entre 0,007 e 0,066 mg/kg e 0,022 e 0,199 mg/kg, para limite de detecção e quantificação, respectivamente) dos LMR previstos quando comparados aos valores estipulados por diferentes legislações. Em outro estudo proposto por Hernández-Borges et al. (2009) foi avaliado a penetrabilidade dos resíduos de clorpirifós desde a casca até a polpa da banana. Os resultados mostraram que a maior parte dos resíduos ficou retida na casca, porém, as concentrações encontradas na polpa para esse agrotóxico foram superiores ao LMR estabelecido pelas legislações brasileira e europeia.

1.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA BANANA VERDE

A polpa da banana é fonte de vários nutrientes e compostos bioativos, enquanto a casca é rica em minerais, compostos bioativos e fibras alimentares, como pectina, celulose, hemicelulose e lignina (Khoozani et al., 2019b). As composições químicas de diferentes variedades de banana que são comumente consumidas e comercializadas em solo brasileiro estão resumidas na Tabela 1. Observa-se que o teor de umidade para os cultivares de banana ‘Prata’ e ‘Pacova’ foi notavelmente superior do que o observado na variedade de banana da terra. O teor de umidade dos frutos variou de 63,9 a 77,6 %, o que está de acordo com os resultados anteriores encontrados por Aurore et al. (2009), que relataram um teor de umidade variando de 63 a 74 % para bananas verdes.

A umidade em qualquer matéria-prima depende muito de fatores genéticos, como variedade e local de plantio (por exemplo, solo) (Dotto et al., 2019), portanto, isto pode explicar as possíveis diferenças observadas entre as cultivares de bananeira citadas na Tabela 1. O nível de umidade de alimentos ou produtos alimentícios fornece indícios de seu frescor e prazo de validade (Annor et al., 2016). Logo, alimentos com alto teor de umidade são mais suscetíveis a danos microbianos e vida útil reduzida, que por sua vez podem resultar em sua decomposição (Baiyeri et al., 2011).

Tabela 1: Composição química da parte comestível de frutos de três cultivares de banana.

<i>Composição química</i>	Cultivares		
	Banana 'Prata'	Banana 'Pacova'	Banana da terra
Umidade (%)	71,9	77,6	63,9
Carboidrato (g/100g)	26,0	20,3	33,7
Proteína (g/100g)	1,3	1,2	1,4
Lípídeo (g/100g)	0,1	0,1	0,2
Fibra alimentar (g/100g)	2,0	2,0	1,5
Cinza (g/100g)	0,8	0,7	0,8
Minerais (mg)			
Cálcio	8,0	5,0	4,0
Magnésio	26,0	30,0	24,0
Potássio	358,0	267,0	328,0
Fósforo	22,0	20,0	26,0

Fonte: Adaptado de Nepa, 2011.

Quanto ao teor de carboidratos, observa-se uma variação de 20,3 a 33,7 g/100g entre os diferentes cultivares, e foi o mais abundante entre todos os parâmetros observados na tabela acima (Tabela 1). O cultivar de banana da terra apresentou o maior valor de carboidratos (33,7 g/100g), enquanto as cultivares de banana 'Prata' (26,0 g/100g) e 'Pacova' (20,3 g/100g) apresentaram teores menores. Essas variações devem-se, provavelmente, ao período de amadurecimento de cada cultivar, pois podem apresentar tempos de maturação diferenciados. Além disso, fatores como taxas metabólicas (respiração), produção de etileno e relação com outros hormônios, também pode influenciar nessas variações (Dotto et al., 2019). Um padrão semelhante de resultados foi obtido em um relatório de Aurore et al. (2009) que descobriram conteúdo de carboidratos para as bananas verdes variando de 21,8 a 32,0 g/100 g.

A quantidade de fibra alimentar das diferentes cultivares variou de 1,5 a 2,0 g/100g, sendo que as bananas 'Prata' e 'Pacova' apresentaram os maiores valores. Esses compostos, que não são absorvidos no intestino delgado, além de apresentarem um conteúdo calórico reduzido, são fermentados pela microbiota bacteriana no intestino grosso. Isso pode contribuir com uma série de funções fisiológicas, tendo diferentes efeitos na saúde, como por exemplo, redução das respostas glicêmica e insulinêmica, ação hipocolesterolêmica e efeitos protetores contra o câncer colorretal (Angelis-Pereira et al., 2013, 2016).

O conteúdo de cinzas dos cultivares de banana ‘Prata’, ‘Pacova’ e ‘Terra’ variou de 0,7 a 0,8 g/100g, sendo que o menor teor de cinzas foi observado na variedade ‘Pacova’. As diferenças observadas no teor de cinzas podem estar relacionadas a alguns fatores como variedade do fruto, cultivo, nutrição do solo e região (Angelis-Pereira et al., 2016; Kumssa et al., 2017). Os teores de proteínas e lipídeos se mostraram similares para os três cultivares, variando de 1,2 a 1,4 g/100g e 0,1 a 0,2 g/100g, respectivamente. Apesar de as porcentagens de gordura serem geralmente baixas em bananas, estas são consideradas de boa qualidade nutritiva e podem contribuir com a perda de peso, além de reduzir o risco de doenças graves, incluindo doenças cardíacas e diabetes (Dotto et al., 2019).

Dentre os minerais observados nos três cultivares (Tabela 1), o potássio é o elemento mais abundante, com teores variando entre 267 a 358 mg/100 g. Provavelmente, essa diferença entre as variedades se deve a área de cultivo e/ou estágio de maturação do fruto que apresentam um efeito significativo no conteúdo de minerais. De acordo com Sulaiman et al. (2011), a casca de banana verde contém uma quantidade significativamente maior de potássio (1062,1-1387,5 mg/100 g) em comparação com a polpa (295,7- 463,6 mg/100 g) no peso fresco da amostra entre diferentes cultivares.

Consideráveis estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar a qualidade nutricional e os parâmetros físico-químicos da banana verde e seus co-produtos (Campuzano et al., 2018). Neste contexto, Nasrin et al. (2015) enfatizaram o potencial da banana verde como alimento funcional. Esses autores produziram e caracterizaram o amido de polpa e de casca e a farinha de casca de banana verde da variedade *Kluai Namwa*. Assim, observou-se que a quantidade de cinza, proteína, fibra alimentar e amido da casca da banana foi relatada como significativamente maior que a da polpa, fazendo, portanto, da casca da banana verde um aditivo funcional mais eficiente.

A composição química da farinha da casca e da polpa de banana prata (*Musa paradisiaca*) verde, conforme relatado por Angelis-Pereira et al. (2016) é apresentada na Tabela 2. As farinhas da polpa e da casca apresentaram alto teor de carboidratos e minerais como, magnésio, cobre, manganês e zinco. No entanto, alguns minerais como o zinco, potássio e magnésio estiveram em maior proporção na farinha da casca. Além disso, observou-se que o teor de lipídios, proteínas, fibras e cinzas para a farinha da casca de banana foi muito superior ao obtido para farinha da polpa. A principal diferença na concentração de cinzas entre farinha da polpa e da casca de banana verde pode ser confirmada quando se observa o conteúdo dos principais minerais nelas encontrados.

Tabela 2: Composição da farinha de casca e de polpa de banana prata verde (*Musa paradisiaca*).

Parâmetro	Farinha de banana verde	
	Polpa	Casca
<i>Composição química (%)</i>		
Umidade	9,9	5,1
Lipídio	0,4	10,7
Proteína	4,8	8,1
Carboidrato	78,8	47,0
Cinza	2,3	11,1
<i>Fibra alimentar (%)*</i>		
FAT	14,8	39,9
FS	3,8	3,5
FI	11,0	36,4
<i>Minerais (mg/100g)</i>		
Cálcio	70,0	525,0
Fósforo	130,0	160,0
Potássio	102,0	366,0
Magnésio	80,0	210,0
Enxofre	100,0	90,0
Cobre	0,4	0,5
Manganês	0,7	7,5
Zinco	0,8	2,9
Ferro	1,5	2,4
Sódio	52,1	17,9
<i>Taninos (mg/100g)</i>	1.259	1.670

*FAT, fibra alimentar total; FS, fibra alimentar solúvel; FI, fibra alimentar insolúvel.

Fonte: Adaptado de Angelis-Pereira et al. (2016).

Quanto ao teor de fibra alimentar, observa-se a partir da Tabela 2, que a farinha da polpa de banana verde apresentou um conteúdo considerável de FAT (14,8%), ao passo que para a farinha da casca de banana verde, essa concentração era quase três vezes superior (39,9%). Ademais, foi reportado que a farinha da casca de banana verde é rica em fibras insolúveis (36,4%), enquanto a farinha da polpa possui proporções consideráveis de fibras insolúveis (11,0%) e solúveis (3,8%). Apesar do teor de fibras observado ter sido proporcional

ao relatado para cascas de manga (39 g/100g) (Hassan et al., 2011), a farinha da casca de banana apresentou um valor ligeiramente inferior se comparado aos teores encontrados para cascas de limão (48 g /100g) e cítricos (46-51g/100g) (Ubando-Rivera et al., 2005; Rincón et al., 2005). Alguns fatores como o tipo de fruto e o seu estágio de maturação, podem explicar as diferenças observadas quanto ao teor de fibras alimentares.

Neste estudo, os autores não analisaram as proporções de amido das farinhas, no entanto, pesquisas anteriores caracterizam a farinha da polpa de banana verde, como fonte em amido (70 e 80% com base no peso seco), sobretudo em amido resistente (Khoosani et al., 2019b). No trabalho de Patiño-Rodríguez et al. (2018), a farinha da polpa de banana verde apresentou um teor de amido total superior à farinha de banana verde inteira, isto é, 84,29 g/100g e 74,44 g/100g, respectivamente. Segundo os autores, essa diferença se deve ao efeito de diluição produzido por polissacarídeos não amiláceos presentes na casca.

Dentre as farinhas analisadas (Tabela 2), a farinha da polpa de banana verde apresentou menor teor de taninos (1,26%) do que a farinha da casca (1,67%). Uma possível explicação para os níveis intermediários de taninos nessas farinhas é que as bananas foram imersas em água, aquecidas para desidratação e moídas para o preparo da farinha, induzindo, portanto, à degradação desse composto.

Ao comparar esse estudo com outros encontrados na literatura, Waghmare e Ayra (2016) relataram que a casca de banana verde é rica em fibras alimentares e carboidratos totais. Dentre as fibras alimentares identificadas neste coproduto, uma grande quantidade consiste em frações insolúveis, como lignina (6-12%) e celulose (7,6-9,6%); e solúveis como pectina (10-21%) e hemicelulose. No estudo de Yangilar (2015) foram avaliadas as propriedades químicas e físicas da farinha da casca e da polpa de banana verde. Os autores observaram que a farinha da casca de banana apresentou maior teor de cinzas, amido e fibra alimentar total, incluindo fibra solúvel e insolúvel, em relação à farinha da polpa. Agama-Acevedo et al. (2016) também relataram que a farinha da casca de banana verde é rica em fibra alimentar, compostos fenólicos polifenólicos extraíveis, minerais e amido, tornando-a adequada para uso como um ingrediente com propriedade bioativa para o desenvolvimento de novos produtos.

1.3 COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NA BANANA VERDE

A banana é conhecida não apenas como fonte de carboidratos (por exemplo, amido e fibra alimentar), minerais e vitaminas, mas também por conter vários compostos bioativos, como fenólicos, carotenoides, aminas biogênicas e fitoesteróis; que são altamente desejáveis

na alimentação, devido aos seus inúmeros benefícios à saúde (Pereira e Maraschin, 2015; Singh et al., 2016).

A banana verde tem sido relatada como um fruto rico em compostos fenólicos, como os flavonoides, sendo a forma predominantemente presente. Neste contexto, a influência da variedade, estágio de maturação e suas respectivas partes (polpa e casca) sobre os compostos antioxidantes e capacidade antioxidante da banana foram pesquisados por Fatemeh et al. (2012), como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Fenólicos totais, flavonoides e capacidade antioxidante na casca e polpa da banana Cavendish (*Musa acuminata L*) em estágios verdes e maduros.

	Estágio verde		Estágio maduro	
	Casca	Polpa	Casca	Polpa
Fenólicos totais (mg GAE/100 g)	685,87	373,88	585,29	230,21
Flavonoides totais (mg CE/100 g)	389,33	281,18	225,91	196,45
CA: Inibição de DPPH (%)	52,66	35,21	45,08	29,38

*CE, equivalente catecol; GAE, equivalente de ácido gálico; CA: capacidade antioxidante.

Fonte: Adaptado de Fatemeh et al. (2012).

Conforme é observado na Tabela 3, o conteúdo de fenólicos e flavonoides totais apresentou-se mais alto na casca do que na polpa da banana, porém, no estágio verde, ambos os componentes apresentaram teores superiores ao estágio maduro. As variações nas quantidades de fenólicos e flavonoides totais podem ser atribuídas a alguns fatores, como composição química, estágio de maturação bem como estado do solo, condições de pós-colheita e armazenamento (Baskar et al., 2011).

Com relação à capacidade antioxidante, observa-se a partir da tabela acima que o extrato obtido da casca apresentou maior capacidade antioxidante do que a polpa tanto no estágio verde quanto no maduro. Esses dados evidenciaram a capacidade dos extratos da casca de banana em eliminar radicais livres (1,1-difenil-2-picrilhidrazil/DPPH). A capacidade de eliminação de DPPH de cada amostra foi relatada como a porcentagem de inibição desses radicais, assim, o valor mais alto de inibição foi associado a uma capacidade antioxidante mais forte (Fatemeh et al., 2012).

Ao comparar esses resultados com outros encontrados na literatura, foi observado que em geral as cascas e sementes de frutas apresentam maior capacidade antioxidante do que suas

respectivas polpas. No estudo de Morais et al. (2015), a capacidade antioxidante de diferentes cascas dos frutos (abacate, abacaxi, banana, mamão, maracujá, melancia e melão) foi avaliada por meio de sua atividade sequestrante de radicais livres. Dentre os frutos analisados, as cascas de abacate, abacaxi e banana apresentaram maior capacidade antioxidante do que as das demais frutas estudadas.

Outros compostos bioativos que estão presentes na casca e polpa da banana são os carotenoides, aminas biogênicas e os taninos. Os carotenoides e vitaminas A e C são os antioxidantes mais abundantes na polpa e casca da banana (Toh et al., 2016). Em estudos realizados, foi identificado que a casca da banana verde apresenta teores de carotenoides substancialmente mais elevados do que a polpa (Davey et al., 2009). Alguns carotenóides como o trans- α -caroteno e trans- β -caroteno cobrem 90% do total de pró-vitamina A nas polpas de *Musa*, enquanto o restante, constitui-se por luteína, cis-carotenóides e outros compostos não revelados. Na casca da banana também são identificados diversos carotenóides, dos quais se destacam trans- α -caroteno ($164,87 \pm 10,51 \mu\text{g/g}$ de peso seco), trans- β -caroteno ($174,87 \pm 7,86 \mu\text{g/g}$ de peso seco), cis- β -caroteno ($92,21 \pm 5,37 \mu\text{g/g}$ de peso seco), β -criptoxantina ($1,21 \pm 0,37 \mu\text{g/g}$ de peso seco), zeaxantina ($7,21 \pm 1,07 \mu\text{g/g}$ de peso seco) e luteína ($39,70 \pm 9,06 \mu\text{g/g}$ de peso seco) (Qamar e Shaikh, 2018).

As aminas bioativas são encontradas nos alimentos e, dependendo de suas concentrações, podem ser vantajosas não apenas para a vida de prateleira e qualidade final dos alimentos, como também para a saúde humana (Kalač, 2014). A serotonina foi detectada em grandes quantidades em *Musa* spp., especialmente quando em comparação com outras frutas e vegetais (Islam et al., 2016). Algumas aminas biogênicas como catecolaminas, dopamina, norepinefrina (noradrenalina) e epinefrina (adrenalina) são os exemplos mais conhecidos de compostos bioativos que regulam os hormônios no metabolismo do glicogênio (González-Montelongo et al., 2010). Os resultados dos níveis de dopamina em diferentes estágios de amadurecimento da banana apresentam uma relação inversa entre sua concentração e a maturidade da fruta, observando-se, portanto, que a casca continha mais dopamina do que polpa (Kanazawa e Sakakibara, 2000).

Na banana, os frutos verdes são altamente adstringentes e isto se deve a presença dos taninos, que são os principais metabólitos secundários dos materiais vegetais e são encontrados principalmente em cascas, caules, sementes, raízes, brotos e folhas (Barbehenn e Constabel, 2011). Compostos bioativos provenientes do metabolismo secundário de plantas tem um potencial terapêutico significativo por levarem à atividade antioxidante. Além disso, vários benefícios para a saúde têm sido associados aos compostos fenólicos, como a prevenção de

doenças cardiovasculares, câncer, diabetes e obesidade (Zaini et al., 2022). Angelis-Pereira et al. (2016) observaram proporções de taninos variando entre 12,59 e 16,70 mg/g para as farinhas de polpa e de casca de banana prata verde, respectivamente. Em outro estudo níveis significativos de taninos condensados foram relatados em farinha de casca de banana verde (*Musa paradisiaca* L.) (*Musa* AAB) com valor equivalente a 31,0 mg GAE/g (Agama-Acevedo et al., 2016). Em geral, o conteúdo de tanino na banana varia de acordo com as condições fisiológicas do fruto. Em geral, as concentrações deste componente varia de 20 a 47% na casca do fruto.

1.4 PRODUÇÃO DA FARINHA DE BANANA VERDE

Como forma de obtenção da farinha da banana verde, os frutos são submetidos às operações de secagem e moagem. Ao se cozinhar as bananas previamente, há uma maior facilidade na operação de descasque, além de reduzir a descoloração e reter maior teor de tanino; no entanto, é necessário maior tempo de secagem. A farinha da polpa de banana verde, cozida no vapor, tem seu uso potencial na formulação de alimentos infantis com o amido pré-gelatinizado, produzindo dispersão sem a formação de grumos. Enquanto a farinha da polpa de banana verde nativa, isto é, sem qualquer tratamento térmico antes da desidratação e moagem, pode ser empregada como agente espessante em sopas e como ingrediente à base de amido para produtos extrusados e de panificação (Mohapatra et al., 2011). Além disso, a banana verde (polpa e casca) quando modificada por tratamento térmico (por exemplo, autoclavagem/refrigeração) antes do seu processamento em farinha, possui potencial de aplicação na formulação de produtos alimentícios com a vantagem de maior estabilidade térmica do amido resistente (Paiva, 2018).

De um modo geral, as etapas de processamento utilizadas para o preparo da farinha a partir da polpa e da casca da banana verde são semelhantes, com exceção apenas do método de aquecimento a ser empregado (Khoozani et al., 2019b). As principais etapas do processamento da farinha de banana verde estão apresentadas na Figura 1.

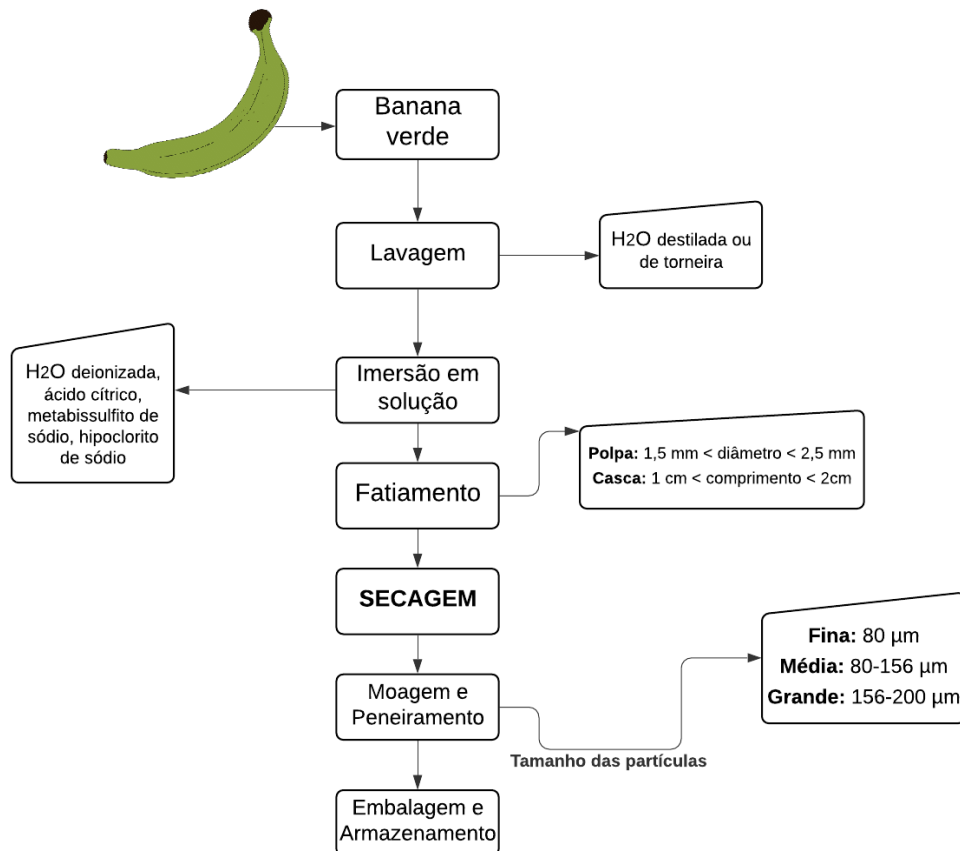


Figura 1: Etapas do processamento da farinha de banana verde (Adaptado de Khoozani et al., 2019a).

Dentre os processos de obtenção da farinha de banana verde, a secagem em forno de ar quente (50-60°C/12-24 horas) (Nasrin et al., 2015) e a secagem em leito de jorro (Bezerra et al., 2013a,b) são os métodos comumente aplicados; entretanto, o processo de liofilização (Khoozani et al., 2019b; Türker et al., 2016; Wang et al., 2012), e até mesmo, métodos que envolvem o emprego de algum tratamento térmico antes do processamento de secagem vem sendo propostos para produção de farinha da banana verde (Paiva, 2018).

No estudo de Paiva (2018), foi avaliado o efeito do método tradicional de secagem e método modificado por tratamento com autoclavagem/refrigeração, sobre as propriedades de digestibilidade *in vitro* do amido da farinha de banana verde. O emprego do tratamento térmico resultou na redução do amido resistente e aumento de amido lentamente e rapidamente digerível. Além disso, houve a conversão de amido resistente tipo 2 em amido resistente tipo 3, que tem a vantagem de maior estabilidade térmica, para emprego como ingrediente em produtos de panificação, confeitaria e massas alimentícias. Outro ponto relevante é o de que, ao se aplicar diferentes temperaturas de secagem (50 °C a 71°C) não houve diferença significativa nas propriedades de digestibilidade do amido, o que é desejável, no sentido de reduzir o tempo de

secagem e conseqüentemente o custo de produção. Entretanto, pelos resultados obtidos determinou-se que a temperatura de 71°C é a mais indicada para processamento da farinha de banana verde devido ao menor tempo para secagem até massa constante, sem efeitos significativos sobre a digestibilidade do amido e sobre a cor.

Diversos estudos que visam avaliar o efeito da temperatura de secagem nas propriedades funcionais e nutricionais da farinha da banana verde têm sido desenvolvidos nos últimos anos. No estudo de Bezerra et al. (2013a) foi avaliado a influência da secagem em leito de jorro nas propriedades químicas da farinha de banana (*Musa acuminata*) verde. O uso da secagem em leito de jorro para a produção da farinha de banana verde resultou em alto teor de fibra alimentar e amido resistente com uma média de 21,91% e 68,02%, respectivamente. Além disso, essa técnica não alterou o conteúdo de amido resistente; no entanto, esse efeito foi relatado de forma consistente, uma vez que um estudo semelhante relatou valores menores, 13,89% e 40,14% para fibra alimentar e amido resistente, respectivamente.

Pico et al. (2019) avaliaram o impacto das técnicas de secagem e extrusão no perfil fenólico e bioacessibilidade do amido da farinha de banana verde. A partir dos resultados, foi observado que o perfil fenólico pode ser alterado drasticamente dependendo do tipo de processo a ser utilizado. Com isso, percebeu-se que a combinação dos processos de liofilização e extrusão resultou em farinhas com melhor qualidade em termos de compostos fenólicos, pois a liofilização auxilia na preservação da epicatequina e a extrusão aumenta a bioacessibilidade de flavonóis e ácidos fenólicos devido ao rompimento da matriz do tecido. Em termos de fibra alimentar, a liofilização resultou ser, de longe, uma alternativa melhor em relação à secagem convencional em estufa, devido à sua efetiva inativação de α -amilases endógenas durante a etapa de congelamento, o que resulta em maior quantidade de amido resistente. No trabalho de Khoozani et al. (2019a), a composição de farinhas de banana verde obtidas por liofilização e pelo método de secagem em leito de jorro mostrou um aumento significativo no teor de ácido fenólico, vitaminas e minerais sensíveis ao calor em comparação aos métodos tradicionais de secagem, como secagem solar ou em estufa de ar quente.

A influência da secagem utilizando ar quente e da liofilização nas propriedades físico-químicas, funcionais, estruturais, e reológicas da farinha de banana verde foram avaliadas por Ahmed et al. (2020). Assim, foi observado que a secagem em bandeja de ar quente e por liofilização mostraram-se eficazes para a produção de farinha de banana. Ambos os processos de secagem não afetaram os teores de amido total da farinha, porém alteraram significativamente o tamanho da partícula, coloração, teor de amido resistente, e a capacidade de retenção de água da farinha de banana verde. Além disso, as propriedades dielétricas,

reológicas e de pasta das dispersões da farinha de banana verde foram consideravelmente afetadas pela temperatura, em particular, acima da temperatura de gelatinização.

Em outro estudo, foi observado diferenças significativas entre os teores de amido resistente encontrados em farinha de banana verde desidratadas em forno convencional (50°C) e em *spray dryer* (130 °C, temperatura de entrada; 47°C, temperatura de saída). Os autores reportaram que a secagem convencional não afetou o nível de resistência granular do amido, resultando num maior teor de amido resistente (79,89%) (Izidoro et al., 2011).

Além dos processos de secagem, os pós-tratamentos também são etapas fundamentais para garantir uma alta qualidade nutricional da farinha de banana verde. No trabalho de Segundo et al. (2017a) foi observado que os tamanhos de partículas menores de farinha de banana verde (inferior a 80 µm de diâmetro) tiveram uma quantidade maior de amido resistente, enquanto partículas de farinha maiores que 156 µm tiveram maiores teores de fibra alimentar, cinzas, proteínas e compostos fenólicos.

Em suma, observa-se que a seleção do processo de secagem depende da adequação para o produto e, em geral, da viabilidade econômica dos produtos finais. Ademais, é importante que o processo de secagem a ser aplicado produza produtos com alta qualidade e de baixo custo, além de preservar as características nutricionais e funcionais do alimento. O efeito da aplicação de diversos processos de secagem nas propriedades da farinha da casca e da polpa de banana verde está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Efeito de diferentes processos de secagem em farinhas de banana verde.

Processo	Condições	Tipo de farinha de banana verde	Observações	Referências
Secagem em estufa de ar com convecção forçada	50-60 °C 12-24-48h	FPBV	↑ Ácidos fenólicos em temperaturas mais altas ↓ 50% de AR na farinha final	Alkarkhi et al. (2011), Juarez-Garcia et al. (2006), Segundo et al. (2017a,b), Yangilar (2015)
Secagem de fluxo de ar	55 °C, 6 h 1,4 m/s	FPBV	O teor de AR permaneceu constante entre FPBV e pasta de banana Baixa dispersibilidade e solubilidade em água	Tribess et al. (2009)
Aglomerção em leito fluidizado pulsado	95 °C, 0,3 m/s 10 Hz 1 m/s (fluxo de ar)	FPBV	Menor tempo de umedecimento Dispersível em água fria Maior nível de AR alcançado em FPBV	Rayo et al. (2015)
Liofilização	- 50 °C, 12-48 h	FCBV e FPBV	Manteve a cor original em relação à menor reação de escurecimento Maior valor de flavonoides totais relatado em FCBV	Türker et al. (2016), Vu et al. (2017), Wang et al. (2012)
Secagem em secador de camada delgada	50 °C, 57 °C, 64 °C e 71 °C 1,5 m.s ⁻¹	FBVI, FPBV, FBVM, FPBVM	A temperatura de 71°C resultou no menor tempo de secagem das farinhas obtidas, sem efeitos significativos sobre a digestibilidade do amido e sobre a cor	Paiva (2018)

FBVI, FBVM, farinha da banana verde integral e modificada; FCBV, farinha da casca de banana verde; FPBV, farinha da polpa de banana verde; FPBVM, farinha da polpa de banana verde modificada; AR, amido resistente. **Fonte:** Adaptado de Khoozani et al (2019a).

1.5 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA FARINHA DE BANANA VERDE

As propriedades térmicas e reológicas das farinhas são pré-requisitos para a indicação como ingredientes para formulação de produtos específicos. Estas propriedades são afetadas pela composição física e química da farinha. O amido como componente majoritário da farinha de banana verde, em sua forma granular, gelatinizada ou retrogradada é determinante para as propriedades tecnológicas e sensoriais dos produtos (Paiva, 2018). O analisador rápido de viscosidade (RVA) é um viscosímetro de aquecimento e resfriamento que pode ser empregado para avaliar o perfil de pasta da mistura de água e farinha ou água e amido, por meio da medida da resistência ao cisalhamento sob condições controladas (Copeland et al., 2009), de forma a simular o processamento de alimentos. Os resultados de viscosidade (RVU) podem ser avaliados a partir de gráficos, em função das variáveis de temperatura (°C) e tempo (min), como indicado na Figura 2.

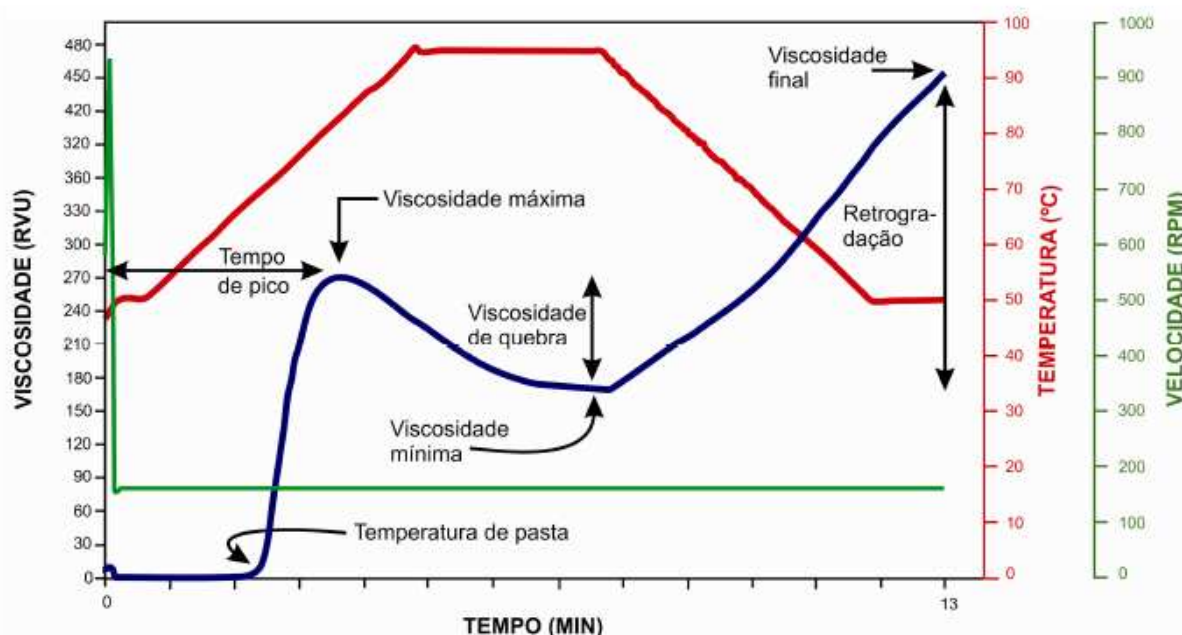


Figura 2: Curva de viscosidade típica do Analisador Rápido de Viscosidade com identificação dos parâmetros avaliados.

Fonte: Adaptado de Mondenese (2011).

A partir deste método é possível estimar os seguintes parâmetros:

- Temperatura de pasta (°C): corresponde à temperatura na qual a viscosidade começa a aumentar durante aquecimento, atribuído ao início do inchamento dos grânulos de amido e da lixiviação de moléculas de amilose;
- Viscosidade máxima ou de pico (RVU): ocorre quando os grânulos em sua maioria, estão totalmente inchados. É um parâmetro relacionado à capacidade do amido em absorver água, e, conseqüentemente ao grau de intumescimento dos grânulos de amido

durante o aquecimento. Assim, quando existem grandes quantidades de grânulos com elevada capacidade de intumescimento, ocorrem elevados picos de viscosidade;

- Tempo de viscosidade máxima ou de pico (min): tempo no qual se dá a viscosidade máxima de pasta;
- Viscosidade mínima (RVU): menor valor da viscosidade à temperatura de 95 °C;
- *Breakdown* ou quebra (RVU): diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima a 95 °C. É um índice associado à estabilidade dos grânulos de amido ao aquecimento, pois, durante esse período, os grânulos de amido inchados rompem-se, e a amilose lixivia do interior dos grânulos. Baixos valores de quebra indicam melhor resistência ao cisalhamento;
- Viscosidade final (RVU): valor da viscosidade obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50 °C;
- *Setback* (RVU): diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima, que expressa a tendência à retrogradação. Durante o resfriamento da amostra, ocorre a reassociação entre as moléculas constituintes do amido, especialmente as de amilose, que resultam na formação de uma estrutura de gel e a viscosidade aumenta novamente até atingir a viscosidade final.

É possível monitorar as mudanças da pasta de farinha de banana verde sob variação de temperatura e tempo, fornecendo informações a respeito das propriedades de cocção, relacionando-as com seus aspectos de textura e coesividade da pasta cozida. Porém, as características físico-químicas, funcionais e tecnológicas da farinha de banana verde podem variar de acordo com alguns fatores como tipo de cultivar ou variedade da fruta, presença ou ausência de casca, técnica de desidratação e condições de operação do equipamento (Silva et al., 2015).

Kongolo et al. (2017) ao avaliarem as propriedades de pasta de farinhas obtidas de diferentes cultivares de banana verde e compará-las com farinhas de cereais comumente comercializados (trigo e milho), observaram variação significativa ($<0,05$) entre os perfis de pasta. Os valores de viscosidade de pico das farinhas a base de banana verde foram significativamente maiores que as das farinhas de trigo e milho. Segundo os autores, esses resultados se devem provavelmente aos tamanhos de grânulos de amido relativamente maiores (grânulos maiores = viscosidade mais alta). Além disso, as farinhas de banana verde tiveram viscosidades finais mais altas em comparação com as farinhas de trigo e milho; valores de *setback* menor do que a farinha de trigo, mas significativamente maior do que a farinha de

milho. O valor de *setback* relativamente menor indicou maior estabilidade das pastas de farinha de banana verde contra a sinérese após o cozimento e durante o armazenamento a frio.

Em outro trabalho, Bertolini et al. (2010) avaliaram os perfis de pasta de farinhas de polpa e casca de banana verde (*Musa acuminata* var. Nanicão), e ao comparar as farinhas foi observado que as farinhas de polpa apresentaram maiores valores de viscosidade de pico do que as farinhas de casca de banana. Resultados similares foram observados por Haslinda et al. (2009) ao avaliarem farinhas de banana verde (*Musa* spp, *Awak* ABB) com casca e sem casca. Porém, estes autores observaram maiores valores de viscosidade máxima para a farinha sem casca quando comparada com a farinha com casca (362,30 RVU e 334,37 RVU, respectivamente). Isto pode ser atribuído ao tipo de cultivar ou variedade da fruta, bem como o processo de desidratação e condições de operação do equipamento, que foram diferentes para ambos os estudos.

Em trabalho recente, Kumar et al. (2019) avaliaram as propriedades físico-químicas, e estruturais, de pasta assim como a textura de farinhas de quatro variedades de banana verde em comparação com a farinha de trigo. Neste estudo, observou-se grande variação para os parâmetros analisados, sobretudo para os perfis de textura, no qual o valor de dureza variou ($p < 0,05$) entre as farinhas. A farinha obtida da variedade '*Nendran*' apresentou um valor de dureza mais alto que a variedade '*Monthan*' e a farinha de trigo, que registrou um valor mais baixo. A maior viscosidade é decorrente de um valor mais alto de dureza. Os autores concluíram que as variedades de banana-da-terra como '*Monthan*' e '*Saba*' são o melhor substituto à farinha de trigo nas indústrias de confeitaria e panificação.

Outras características tecnológicas de grande importância para a farinha de banana verde se refere a capacidade de absorção e solubilidade em água. Neste contexto, Alkarhki et al. (2011) ao compararem a capacidade de absorção de água de farinhas de polpa e casca de bananas verde e madura preparadas em diferentes condições de secagem, observaram que a média do índice de absorção de água de todas as amostras de farinha aumentou com a temperatura. Entretanto, a média deste parâmetro para todas as temperaturas testadas foi mais alta na farinha de casca (6,1-8,2 g/g de amostra seca) e a mais baixa na farinha de polpa (1,4-4,7 g/g de amostra seca). De acordo com os autores, esses resultados podem estar relacionados ao estado físico do amido, bem como a presença de fibra alimentar e proteína na farinha.

No trabalho de Bezerra et al. (2013a) foi avaliado a influência da secagem em leito de jorro no índice de solubilidade de água de farinhas de banana verde com casca e descascada. O amido da farinha de banana verde obtido neste estudo apresentou baixos valores de solubilidade em temperaturas abaixo de 70 °C. No entanto, a aplicação de temperaturas acima de 70 °C

aumentou significativamente essa propriedade, tanto para farinha com casca quanto para a farinha sem casca. Salazar et al. (2022) observaram que as farinhas de banana integral (polpa e casca) apresentaram índice de absorção de água ligeiramente superior às farinhas de polpa. Segundo os autores, isto, provavelmente se deve ao maior número de grupos hidroxila encontrados na estrutura da fibra, o que tende a permitir mais interações de água por meio de pontes de hidrogênio.

1.6 DIGESTIBILIDADE DO AMIDO DE BANANA VERDE

Com base em sua digestibilidade, o amido pode ser classificado em amido rapidamente digerível (ARD), caracterizado pelo fornecimento de energia, a partir da rápida liberação de glicose no sangue; o lentamente digerível (ALD), no qual a glicose é liberada de forma mais lenta no sangue, normalmente, entre 20 e 120 minutos (Zhang & Hamaker, 2012); e o amido resistente (AR), um polissacarídeo não digerível que atua como fibra solúvel no organismo; o mesmo não é hidrolisável no intestino delgado, sendo fermentado pelas bactérias do cólon no intestino grosso (Englyst, Kingman & Cummings, 1992; Champ et al., 2003).

O amido resistente pode ser classificado em cinco tipos, sendo eles: amido fisicamente inacessível (AR1), amido nativo granular com alta estrutura cristalina (AR2), amido retrogradado obtido por aquecimento e resfriamento de alimentos amiláceos (AR3), amido quimicamente modificado (AR4) e complexo amilose-lipídio (AR5). O fruto da banana verde é uma grande fonte de amidos resistentes do tipo II (AR2). Esse amido é compactado firmemente em um padrão radial, e esta estrutura acaba limitando a acessibilidade das enzimas digestivas, sendo, portanto, responsável pela sua natureza resistente (Khoozani et al., 2019a).

O crescente interesse pelo amido da banana verde se deve às suas propriedades de digestão, no qual as frações de ALD e AR são as responsáveis pela baixa digestibilidade deste amido. Essa maior resistência dos amidos nativos crus pode ser atribuída à interação de inúmeros fatores, tais como fonte de amido, tamanho dos grânulos, razão entre amilose e amilopectina, extensão da associação molecular entre os componentes do amido, tipo e grau de cristalinidade, bem como comprimento da cadeia de amilose, estruturas finas de amilopectina e presença de complexos amilose-lipídio (Zhang e Hamaker, 2012).

Diversos estudos que abordem a digestibilidade do amido da banana verde têm sido desenvolvidos nos últimos anos. Zhang e Hamaker (2012) avaliaram a digestibilidade da farinha e do amido de banana verde cozidos. Além disso, a digestão de outros amidos comumente comercializados, como amido de batata e milho também foi avaliada. Observou-se neste estudo que mesmo cozido, o amido da banana seja como amido isolado ou na forma de

farinha nativa apresentou frações significativas de ALD e AR. A combinação entre as frações de ALD e AR para amido de banana cozido foi equivalente a 46%, um valor considerado alto se comparado ao amido de batata ou milho. Acredita-se que a amilopectina seja responsável pela propriedade de digestão lenta, uma vez que o amido de banana estudado apresenta um teor de amilose relativamente baixo (11,2%). Além disso, o amido de banana cozido apresentou frações inferiores de ARD (54%), em comparação com os amidos de batata cozida (74%) e milho (70%).

A digestibilidade *in vitro* da farinha e do amido (cozidos e crus) de diferentes cultivares de banana verde (*Musa Dwarf Red* (MDR), *Musa ABB Pisang Awak* (MPA) e *Musa AAA Cavendish* (MC)) foi examinada por Bi et al. (2017). O teor de amido resistente nas farinhas cruas das diferentes variedades variou de 85,88 a 90,46%, sendo que a MC, apresentou a maior proporção (90,46%). Observou-se para o amido cru uma variação de AR entre 85,20 e 92,16%, sendo que a MPA apresentou o maior teor (92,16%). Em contrapartida, quando as amostras foram cozidas, os conteúdos de AR das três variedades de farinha de banana e amido foram reduzidos, provavelmente devido à conversão da maior parte de AR em ARD e ALD. Além disso, a farinha (58,66%) e o amido cozidos (22,31%) da variedade MDR apresentaram os maiores teores de AR, ao passo que as menores proporções foram identificadas na MPA, isto é, 42,39% e 19,04%, respectivamente. No entanto, tanto a farinha (22,99%) quanto o amido cozido (37,52%) da variedade MPA apresentaram as maiores proporções de ALD.

Ao comparar essas pesquisas com outras encontradas na literatura, observam-se resultados similares. Utrilla-Coello et al. (2014) estudaram a digestão *in vitro* de amidos crus e cozidos de diferentes cultivares de banana verde (Enano, Morado, Valery e Macho) e relataram que as proporções de AR sofreram reduções significativas quando os amidos da banana foram cozidos. Com isso, percebe-se que o AR contido no amido de banana é relativamente frágil a condições de cozimento, uma vez que grande parte (cerca de 90%) do AR é convertido em ARD e ALD após o cozimento. Neste estudo, o AR da variedade Macho apresentou a maior robustez ao cozimento, pois cerca de 30% do AR permaneceu após o cozimento. Esses resultados sugerem que, para evitar altos índices glicêmicos e para explorar as vantagens prebióticas do ALD e do AR, o amido de banana deve ser utilizado em produtos alimentícios em seu estado nativo.

Na pesquisa de Jiang et al. (2015) foi avaliado as mudanças nas características estruturais do amido de banana verde durante a digestão *in vitro*. Neste estudo, duas variedades de amido de banana verde foram estudadas, sendo que ambas apresentaram grandes teores de amido resistente (até 77%) e alta proporção de amilose (cerca de 30%). O conteúdo de amilose

e a cristalinidade da amilopectina diminuíram ligeiramente após a digestão, correspondendo a alterações visíveis nas micrografias durante a digestão. Assim, observou-se que as estruturas amorfas e cristalinas foram digeridas simultaneamente e a estrutura na região externa dos grânulos de amido de banana apresentavam maior resistência à digestão. Além disso, a distribuição do comprimento da cadeia da amilopectina sugere que a alta ramificação, bem como as longas cadeias internas e a grande proporção de cadeias curtas tornam o amido de banana resistente à digestão.

A digestibilidade *in vitro* e as propriedades físico-químicas da farinha e do amido de seis cultivares de banana tailandeses foram relatados por Vatanasuchart et al. (2012). A quantidade de amido resistente variou de 52,2 a 68,1% e 70,1 a 79,2% nos seis tipos de farinha e amido de banana verde, respectivamente. A quantidade de conteúdo de amilose e a cristalinidade de amilopectina demonstrou determinar a resistência dos grânulos de amido de banana durante a digestão enzimática *in vitro*.

Em outro trabalho sobre a digestibilidade *in vitro* do amido e índice glicêmico de biscoitos parcialmente substituídos por farinha de banana verde, Agama-Acevedo et al. (2012), observaram aumento significativo no conteúdo de amido resistente dos *cookies* formulados a partir da farinha de banana verde, além de maior teor de fibra alimentar. Essas características refletiram nas menores porcentagens de hidrólise e no índice glicêmico previsto. Além disso, o ARD diminuiu e o ALD aumentou quando a proporção da farinha de banana era aumentada nos biscoitos. O ALD promove saciedade ao organismo; um efeito benéfico para atletas que precisam de um suprimento prolongado e constante de glicose em sua corrente sanguínea com uma resposta glicêmica baixa. Outros benefícios do ALD incluem a melhora no controle geral da glicose de pacientes que sofrem de diabetes mellitus, diminuição do estresse oxidativo e redução dos níveis de colesterol em pacientes com hiperlipoproteinemia (Fagbohun et al., 2020).

1.7 EFEITOS DO CONSUMO DA FARINHA DE BANANA VERDE NA GLICEMIA, PERFIL LIPÍDICO E SAÚDE INTESTINAL

Matrizes que apresentam altas concentrações de AR, como farinhas de banana verde, tem sido associadas a diversos benefícios a saúde e funcionalidade intestinal. O amido resistente, no cólon, é utilizado como substrato para as bactérias da microbiota intestinal, sendo os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principalmente acético, propiônico e o butírico, os produtos finais dessa fermentação, além de gases como hidrogênio, dióxido de carbono e metano. Os principais AGCC's são absorvidos em várias regiões do intestino grosso e

metabolizados rapidamente pelos colonócitos, agindo como importante fonte energética para as células intestinais, além de apresentarem um papel fundamental na redução do risco do câncer colorretal (Amini et al., 2015; Ferronato et al., 2020). Além disso, estima-se que 95% dos AGCC's, oriundos da fermentação da microbiota, são absorvidos pela corrente sanguínea gerando diversas ações sistêmicas, como a diminuição dos níveis de lipídeos no sangue, modulação da quimiotaxia e fagocitose de neutrófilos, apoptose e resposta imune por diferentes vias. Essas ações estão intimamente relacionadas às atividades anti-inflamatórias, antitumoral, antiobesidade, dislipidêmica, antidiabética e antimicrobiana (Almeida-Junior et al., 2017).

Alguns estudos tem apontando que a suplementação de AR de farinhas de banana verde tem proporcionado um aumento da umidade das fezes, produção fecal, e cecal de AGCC total, além de aumentar também as concentrações individuais de propionato, butirato e acetato (Dan et al., 2015; Ferronato et al., 2020). Corroborando com esses autores, Almeida-Junior et al. (2017), ao analisarem os efeitos de uma intervenção dietética com farinha de banana anã (*Musa sp.* AAA) verde, também perceberam que os animais alimentados com farinha de banana anã verde a 5% aumentou em duas vezes a concentração de butirato e propionato no cólon e em cinco vezes o acetato em comparação com o grupo controle. Por outro lado, a intervenção alimentar com farinha de banana anã verde a 10% aumentou de 2 a 5 vezes a concentração de propionato e acetato no cólon. Esse aumento na produção de AGCC's se decorreu, provavelmente aos efeitos prebióticos induzidos pela presença de amido resistente na farinha de banana verde, modulando assim, o crescimento e o desenvolvimento de bactérias específicas da microbiota intestinal.

Em um estudo recente, Rosado et al. (2020) avaliaram o efeito da farinha da banana (*Musa acuminata*) verde em camundongos alimentados com alto teor de gordura, investigando os efeitos benéficos do amido resistente nos parâmetros metabólicos e na produção de ácidos graxos de cadeia curta. A partir dos resultados, observou-se que as dietas acrescidas com 15% da farinha da banana (*Musa acuminata*) verde aumentou a produção de AGCC no organismo dos animais, além de ter diminuído a expressão de genes envolvidos na lipogênese e aumentado a expressão de proteínas de transporte envolvidas na excreção de lipídios. Em geral, esses resultados apoiam o fato de que o amido resistente da farinha da banana (*Musa acuminata*) verde tem uma capacidade potencial de melhorar a esteatose hepática relacionada à obesidade e, por essa razão, pode ser usado como uma estratégia para controlar doenças relacionadas à obesidade.

Outros possíveis efeitos benéficos do AR se refere a sua atuação no metabolismo lipídico provocando a redução nos níveis de colesterol LDL (lipoproteína de baixa densidade)

e de triglicerídeos. Por conter altas proporções de AR, a farinha de banana verde tem contribuído com a queda nas respostas glicêmicas e insulinêmicas, redução do colesterol plasmático e concentração de triglicerídeos, além de aumentar a sensibilidade da insulina corporal, melhorar a saciedade e diminuir o risco de doenças crônicas não transmissíveis (Giuntini et al., 2015; Sardá et al., 2016).

Neste contexto, ao avaliar o efeito simbiótico do consumo de *kefir* e farinhas de polpa e de casca de banana verde sobre o perfil lipídico de ratos alimentados com uma dieta rica em gordura, Angelis-Pereira et al. (2013) observaram que apesar do alto teor de fibras, a adição de farinhas de polpa (em 7%) e de casca de banana (em 1%) não alterou os níveis plasmáticos de colesterol total, HDL-c e LDL-c dos animais alimentados apenas com dieta rica em gordura. No entanto, os grupos que receberam os produtos da banana verde reduziram os níveis de triglicerídeos em 22% em relação ao grupo controle.

Os mesmos autores também estudaram o efeito de farinhas obtidas a partir da polpa e da casca da banana prata verde sobre a resposta glicêmica em ratos. A partir dos resultados, observou-se que o consumo das farinhas de casca e polpa não afetou a glicemia em jejum de ratos normoglicêmicos. No entanto, a farinha da polpa de banana verde levou a uma redução na glicose em jejum proporcional à concentração de farinha consumida, ou seja, quando consumida em concentrações de 10 e 15% da dieta, ocorreram estímulos às respostas glicêmicas mais baixas nos animais. Isso pode ser explicado pelas características da matriz alimentar em questão, já que a farinha da polpa apresentou altas concentrações de amido resistente e fibras solúveis, entre outros componentes, como os taninos, substâncias que, segundo diversos autores, podem influenciar positivamente na redução da glicose (Angelis-Pereira et al., 2016).

REFERÊNCIAS

- Agama-Acevedo, E.; Islas-Hernández, J. J.; Pacheco-Vargas, G.; Osorio-Díaz, P. & Bello-Pérez, L. A. Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. **LWT-Food Science and Technology**, 2012, 46.1: 177-182.
- Agama-Acevedo, E., Sañudo-Barajas, J. A., Vélez De La Rocha, R., González-Aguilar, G. A., & Bello-Perez, L. A. Potential of plantain peels flour (*Musa paradisiaca* L.) as a source of dietary fiber and antioxidant compound. **CyTA-Journal of Food**, v. 14, n. 1, p. 117-123, 2016.
- Ahmed, J., Thomas, L., & Khashawi, R. Influence of hot-air drying and freeze-drying on functional, rheological, structural and dielectric properties of green banana flour and dispersions. *Food Hydrocolloids*, v. 99, p. 105331, 2020.
- Alkarkhi, A. F., bin Ramli, S., Yong, Y. S., & Easa, A. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 312-318, 2011.
- Almeida-Junior, L. D., Curimbaba, T. F. S., Chagas, A. S., Quaglio, A. E. V., & Di Stasi, L. C. Dietary intervention with green dwarf banana flour (*Musa* sp. AAA) modulates oxidative stress and colonic SCFAs production in the TNBS model of intestinal inflammation. **Journal of Functional Foods**, v. 38, p. 497-504, 2017.
- Angelis-Pereira, M. C. D., Barcelos, M. D. F. P., Sousa, M. S. B., & Pereira, J. D. A. R. Effects of the kefir and banana pulp and skin flours on hypercholesterolemic rats. **Acta cirurgica brasileira**, v. 28, n. 7, p. 481-486, 2013.
- Angelis-Pereira, M. C., Barcelos, M. D. F. P., Pereira, R. C., Pereira, J. D. A. R., & de Sousa, R. V. Chemical composition of unripe banana peels and pulps flours and its effects on blood glucose of rats. **Nutrition & Food Science**, 2016.
- Annor, G. A., Asamoah-Bonti, P., & Sakyi-Dawson, E. Fruit physical characteristics, proximate, mineral and starch characterization of FHIA 19 and FHIA 20 plantain and FHIA 03 cooking banana hybrids. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 796, 2016.
- Amini, A., Khalili, L., Keshtiban, A. K., & Homayouni, A. Resistant starch as a bioactive compound in colorectal cancer prevention. **Bioactive Foods in Health Promotion**, p. 773-780, 2015.
- Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 2, p. 78-91, 2009.

- Babbar, N., Oberoi, H. S., Uppal, D. S., & Patil, R. T. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 391-396, 2011.
- Baiyeri, K. P., Aba, S. C., Otitoju, G. T., & Mbah, O. B. The effects of ripening and cooking method on mineral and proximate composition of plantain (*Musa sp.* AAB cv. 'Agbagba') fruit pulp. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 36, p. 6979-6984, 2011.
- Baskar, R., Shrisakthi, S., Sathyapriya, B., Shyampriya, R., Nithya, R., & Poongodi, P. Antioxidant potential of peel extracts of banana varieties (*Musa sapientum*). **Food and Nutrition Sciences**, v. 2011, 2011.
- Bennett, R. N., Shiga, T. M., Hassimotto, N. M., Rosa, E. A., Lajolo, F. M., & Cordenunsi, B. R. Phenolics and antioxidant properties of fruit pulp and cell wall fractions of postharvest banana (*Musa acuminata* Juss.) cultivars. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 13, p. 7991-8003, 2010.
- Bertolini, A. C., Bello-Pérez, L. A., Méndez-Montevalvo, G., Almeida, C. A., & Lajolo, F. Rheological and functional properties of flours from banana pulp and peel. **Starch-Stärke**, v. 62, n. 6, p. 277-284, 2010.
- Bezerra, C. V., Amante, E. R., de Oliveira, D. C., Rodrigues, A. M., & da Silva, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed—Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241-249, 2013a.
- Bezerra, C. V., Rodrigues, A. M. D. C., Amante, E. R., & Silva, L. H. M. D. Nutritional potential of green banana flour obtained by drying in spouted bed. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1140-1146, 2013b.
- Bi, Y., Zhang, Y., Jiang, H., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., ... & Li, C. Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 72, p. 219-227, 2017.
- BRASIL. 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT: Sistema de agrotóxicos fitossanitários. 2021. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 26 de março de 2021.
- Borges, C. V., de Oliveira Amorim, V. B., Ramlov, F., da Silva Ledo, C. A., Donato, M., Maraschin, M., & Amorim, E. P. Characterisation of metabolic profile of banana

- genotypes, aiming at biofortified *Musa* spp. cultivars. **Food chemistry**, v. 145, p. 496-504, 2014.
- Chabuck, Z. A. G., Al-Charrakh, A. H., Hindi, N. K. K., & Hindi, S. K. K. Antimicrobial effect of aqueous banana peel extract, Iraq. **Res Gate Pharm Sci**, v. 1, p. 73-75, 2013.
- Champ, M.; Langkilde, A.M.; Brouns, F. Advances in dietary fiber characterization. Consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labeling. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, p. 143-161, 2003.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. Form and functionality of starch. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527-1534, 2009.
- Davey, M. W., Van den Bergh, I., Markham, R., Swennen, R., & Keulemans, J. Genetic variability in *Musa* fruit provitamin A carotenoids, lutein and mineral micronutrient contents. **Food Chemistry**, v. 115, n. 3, p. 806-813, 2009.
- Dotto, J., Matem, A. O., & Ndakidemi, P. A. Nutrient composition and selected physicochemical properties of fifteen Mchare cooking bananas: A study conducted in northern Tanzania. **Scientific African**, v. 6, p. e00150, 2019.
- El Barnossi, A., Moussaid, F., & Housseini, A. I. Tangerine, banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment: A review. **Biotechnology Reports**, p. e00574, 2020.
- Englyst, H.N.; Kingman, S.M.; Cummings, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**. v. 46, p. S33-S50, 1992.
- Fagbohun, O. F., Olawoye, B., Ademakinwa, A. N., Jolayemi, K. A., & Msagati, T. A. Metabolome modulatory effects of *Kigelia africana* (Lam.) Benth. fruit extracts on oxidative stress, hyperlipidaemic biomarkers in STZ-induced diabetic rats and antidiabetic effects in 3T3 L1 adipocytes. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 72, n. 12, p. 1798-1811, 2020.
- Fatemeh, S. R., Saifullah, R., Abbas, F. M. A., & Azhar, M. E. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: influence of variety and stage of ripeness. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 3, p. 1041, 2012.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. 2020. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> >. Acesso em: 08 de abril de 2020.

- Ferronato, A. N., Rossi, R., & Cappellari, F. Amido resistente: alternativa de alimento funcional para a homeostase da glicose, redução do perfil lipídico e modulação da microbiota intestinal. **Saúde e Desenvolvimento Humano**, v. 8, n. 2, 2020.
- Fidrianny, I., Kiki Rizki, R., Insanu, M. Evaluation of antioxidant activities from various extracts of Dragon fruit peels using DPPH, ABTS assays and correlation with phenolic, flavonoid, carotenoid content. **International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences**, v. 5, n. 2, p. 104-111, 2014.
- Giuntini, E. B., Dan, M. C., Lui, M. C. Y., Lajolo, F. M., & Menezes, E. W. Positive impact of a functional ingredient on hunger and satiety after ingestion of two meals with different characteristics. **Food Research International**, v. 76, p. 395-401, 2015.
- Gomes, A. A. B., Ferreira, M. E., & Pimentel, T. C. Bread with flour obtained from green banana with its peel as partial substitute for wheat flour: Physical, chemical and microbiological characteristics and acceptance. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 5, 2016.
- Gomes, H. D. O., Cardoso, R. D. S., da Costa, J. G. M., da Silva, V. P. A., Nobre, C. D. A., Teixeira, R. N. P., & do Nascimento, R. F. Statistical evaluation of analytical curves for quantification of pesticides in bananas. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128768, 2021.
- González-Montelongo, R., Lobo, M. G., & González, M. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1030-1039, 2010a.
- Haslinda, W. H., Cheng, L. H., Chong, L. C., & Aziah, A. N. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* Colla cv. Awak) flour. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 60, n. sup4, p. 232-239, 2009.
- Hassan, F. A., Ismail, A., Hamid, A. A., Azlan, A., & Al-sheraji, S. H. Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K. fruit peels. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 283-288, 2011.
- Hernández-Borges, J., Cabrera, J. C., Rodríguez-Delgado, M. Á., Hernández-Suárez, E. M., & Saúco, V. G. Analysis of pesticide residues in bananas harvested in the Canary Islands (Spain). **Food chemistry**, v. 113, n. 1, p. 313-319, 2009.
- Ho, L. H., Tan, T. C., Aziz, N. A. A., & Bhat, R. In vitro starch digestibility of bread with banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* ABB cv. Awak) pseudo-stem flour and hydrocolloids. **Food bioscience**, v. 12, p. 10-17, 2015.

- Islam, J., Shirakawa, H., Nguyen, T. K., Aso, H., & Komai, M. Simultaneous analysis of serotonin, tryptophan and tryptamine levels in common fresh fruits and vegetables in Japan using fluorescence HPLC. **Food bioscience**, v. 13, p. 56-59, 2016.
- Izidoro, D. R., Sierakowski, M. R., Haminiuk, C. W. I., De Souza, C. F., & de Paula Scheer, A. Physical and chemical properties of ultrasonically, spray-dried green banana (*Musa cavendish*) starch. **Journal of food engineering**, v. 104, n. 4, p. 639-648, 2011.
- Juarez-Garcia, E., Agama-Acevedo, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., Rodriguez-Ambriz, S. L., & Bello-Perez, L. A. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. **Plant foods for human nutrition**, v. 61, n. 3, p. 131, 2006.
- Jiang, H., Zhang, Y., Hong, Y., Bi, Y., Gu, Z., Cheng, L., ... & Li, C. Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. **Food hydrocolloids**, v. 49, p. 192-199, 2015.
- Kalač, P. Health effects and occurrence of dietary polyamines: A review for the period 2005–mid 2013. **Food Chemistry**, v. 161, p. 27-39, 2014.
- Kanazawa, K., & Sakakibara, H. High content of dopamine, a strong antioxidant, in cavendish banana. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 48, n. 3, p. 844-848, 2000.
- Khoozani, A. A., Birch, J., & Bekhit, A. E. D. A. Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 548-559, 2019a.
- Khoozani, A. A., Bekhit, A. E. D. A., & Birch, J. Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. **International journal of biological macromolecules**, v. 130, p. 938-946, 2019b.
- Khoozani, A. A., Kebede, B., & Bekhit, A. E. D. A. Rheological, textural and structural changes in dough and bread partially substituted with whole green banana flour. **LWT**, p. 109252, 2020.
- Kongolo, J. I., Da Silva, L. S., Wokadala, O. C., Du Plessis, B., Husselman, J., Ngcobo, M. E., ... & Daneel, M. Pasting, thermal, gel texture, resistant starch and colour properties of unripe banana flour from 10 desert banana varieties cultivated in South Africa. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 3, p. 1056-1064, 2017.
- Kumar, P. S., Saravanan, A., Sheeba, N., & Uma, S. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa* spp.). **LWT**, v. 116, p. 108524, 2019.

- Kumssa, D. B., Joy, E. J., Young, S. D., Odee, D. W., Ander, E. L., & Broadley, M. R. Variation in the mineral element concentration of *Moringa oleifera* Lam. and *M. stenopetala* (Bak. f.) Cuf.: Role in human nutrition. **PLoS one**, v. 12, n. 4, p. e0175503, 2017.
- Kurhade, A., Patil, S., Sonawane, S. K., Waghmare, J. S., & Arya, S. S. Effect of banana peel powder on bioactive constituents and microstructural quality of chapatti: unleavened Indian flat bread. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v. 10, n. 1, p. 32-41, 2016.
- Mesquita, C. B.; C., Leonel, M., Franco, C. M. L., Leonel, S., Garcia, E. L., & dos Santos, T. P. R. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International journal of biological macromolecules**, v. 89, p. 632-639, 2016.
- Modenese, D. Efeito da radiação gama e de tratamentos hidrotérmicos sobre as características físico-químicas, funcionais e nutricionais da farinha e do amido de banana verde (*Musa acuminata* cv. Nanica). 2011. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.
- Morais, D. R., Rotta, E. M., Sargi, S. C., Schmidt, E. M., Bonafe, E. G., Eberlin, M. N., ... & Visentainer, J. V. Antioxidant activity, phenolics and UPLC–ESI (–)–MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. **Food Research International**, v. 77, p. 392-399, 2015.
- Mohapatra, D., Mishra, S., Singh, C. B., & Jayas, D. S. Post-harvest processing of banana: opportunities and challenges. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 3, p. 327-339, 2011.
- Nasrin, T. A. A., Noomhorm, A., & Anal, A. K. Physico-chemical characterization of culled plantain pulp starch, peel starch, and flour. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 1, p. 165-177, 2015.
- Navghare, V. V., & Dhawale, S. C. In vitro antioxidant, hypoglycemic and oral glucose tolerance test of banana peels. **Alexandria journal of medicine**, v. 53, n. 3, p. 237-243, 2017.
- NEPA - Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação. Universidade Federal de Campinas - UNICAMP. **TACO-Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Ed. 4, 2011.
- Oliveira, T. A., Alves, R. P., de Souza, T. G., & de Almeida Paula, H. A. Association between the cafeteria diet with resistant starch in the modulation of the glycemic profile in Wistar rats. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 41, n. 1, p. 107-116, 2020.
- Paiva, G. D. Impacto do processamento sobre os teores de amidos resistente e lentamente digerível em banana verde. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Viçosa- UFV. Viçosa, MG. 2018.

- Patiño-Rodríguez, O., Bello-Pérez, L. A., Flores-Silva, P. C., Sánchez-Rivera, M. M., & Romero-Bastida, C. A. Physicochemical properties and metabolomic profile of gluten-free spaghetti prepared with unripe plantain flours. **LWT**, v. 90, p. 297-302, 2018.
- Pereira, A., & Maraschin, M. Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. **Journal of ethnopharmacology**, v. 160, p. 149-163, 2015.
- Pico, J., Xu, K., Guo, M., Mohamedshah, Z., Ferruzzi, M. G., & Martinez, M. M. Manufacturing the ultimate green banana flour: Impact of drying and extrusion on phenolic profile and starch bioaccessibility. **Food chemistry**, v. 297, p. 124990, 2019.
- Qamar, S., & Shaikh, A. Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana-A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 79, p. 1-9, 2018.
- Rayo, L. M., e Carvalho, L. C., Sardá, F. A., Dacanal, G. C., Menezes, E. W., & Tadini, C. C. Production of instant green banana flour (*Musa cavendishii*, var. Nanicão) by a pulsed-fluidized bed agglomeration. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 461-469, 2015.
- Rincón, A. M., Vásquez, A., & Padilla, M. Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, v. 55, n. 3, p. 305-310, 2005.
- Rosado, C. P., Rosa, V. H. C., Martins, B. C., Soares, A. C., Santos, I. B., Monteiro, E. B., ... & Daleprane, J. B. Resistant starch from green banana (*Musa sp.*) attenuates non-alcoholic fat liver accumulation and increases short-chain fatty acids production in high-fat diet-induced obesity in mice. **International journal of biological macromolecules**, v. 145, p. 1066-1072, 2020.
- Santangelo, C., Zicari, A., Mandosi, E., Scazzocchio, B., Mari, E., Morano, S., & Masella, R. Could gestational diabetes mellitus be managed through dietary bioactive compounds? Current knowledge and future perspectives. **British Journal of Nutrition**, v. 115, n. 7, p. 1129-1144, 2016.
- Sardá, F. A. H., De Lima, F. N., Lopes, N. T., Santos, A. D. O., Tobaruela, E. D. C., Kato, E. T., & Menezes, E. W. Identification of carbohydrate parameters in commercial unripe banana flour. **Food Research International**, v. 81, p. 203-209, 2016.

- Segundo, C., Román, L., Lobo, M., Martínez, M. M., & Gómez, M. Ripe banana flour as a source of antioxidants in layer and sponge cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 72, n. 4, p. 365-371, 2017a.
- Segundo, C., Román, L., Gómez, M., & Martínez, M. M. Mechanically fractionated flour isolated from green bananas (*M. cavendishii* var. *nanica*) as a tool to increase the dietary fiber and phytochemical bioactivity of layer and sponge cakes. **Food Chemistry**, v. 219, p. 240-248, 2017b.
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits—A review. **Food Chemistry**, v. 206, p. 1-11, 2016.
- Silva, A. D. A., Barbosa, J. L., & Barbosa, M. I. M. J. Farinha de banana verde como ingrediente funcional em produtos alimentícios. **Ciência Rural**, v. 45, p. 2252-2258, 2015.
- Silva, A. R. D., Cerdeira, C. D., Brito, A. R., Salles, B. C. C., Ravazi, G. F., Moraes, G. D. O. I., ... & Santos, G. B. Green banana pasta diet prevents oxidative damage in liver and kidney and improves biochemical parameters in type 1 diabetic rats. **Archives of endocrinology and metabolism**, v. 60, n. 4, p. 355-366, 2016.
- Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. A. B., & Ooi, K. L. Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2011.
- Toh, P. Y., Leong, F. S., Chang, S. K., Khoo, H. E., & Yim, H. S. Optimization of extraction parameters on the antioxidant properties of banana waste. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 15, n. 1, p. 65-78, 2016.
- Tribess, T. B., Hernández-Uribe, J. P., Méndez-Montealvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 5, p. 1022-1025, 2009.
- Türker, B., Savlak, N., & Kaşıkçı, M. B. Effect of green banana peel flour substitution on physical characteristics of gluten-free cakes. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, v. 4, n. **Special Issue Nutrition in Conference October**, p. 197-204, 2016.
- Ubando-Rivera, J., Navarro-Ocaña, A., & Valdivia-López, M. A. Mexican lime peel: Comparative study on contents of dietary fibre and associated antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 57-61, 2005.

- Utrilla-Coello, R. G., Rodríguez-Huezo, M. E., Carrillo-Navas, H., Hernández-Jaimes, C., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of banana starches. **Carbohydrate polymers**, v. 101, p. 154-162, 2014.
- Vatanasuchart, N., Niyomwit, B., Wongkrajang, K. Resistant starch content, in vitro starch digestibility and physico-chemical properties of flour and starch from Thai bananas. **Maejo International Journal of Science and Technology**, v. 6, n. 2, p. 259, 2012.
- Vu, H. T., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. Optimization of ultrasound-assisted extraction conditions for recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity from banana (*Musa cavendish*) peel. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 5, p. e13148, 2016.
- Vu, H. T., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. Effects of drying conditions on physicochemical and antioxidant properties of banana (*Musa cavendish*) peels. **Drying technology**, v. 35, n. 9, p. 1141-1151, 2017.
- Waghmare, A. G., & Arya, S. S. Utilization of unripe banana peel waste as feedstock for ethanol production. **Bioethanol**, v. 1, n. open-issue, p. 146-156, 2016.
- Wang, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition color, texture and sensory quality in two types of snacks. **LWT-Food Science and Technology**, v.47, p.175-182, 2012.
- Yangilar, F. Effects of green banana flour on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. **Food technology and biotechnology**, v. 53, n. 3, p. 315-323, 2015.
- Zaini, H. M., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. S., & Pindi, W. Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. **Journal of Functional Foods**, v. 92, p. 105054, 2022.
- Zhang, P., & Hamaker, B. R. Banana starch structure and digestibility. **Carbohydrate polymers**, v. 87, n. 2, p. 1552-1558, 2012.

– CAPÍTULO 2 –

Green banana (*Musa ssp.*) Mixed pulp and peel flour: new ingredient with interesting bioactive, nutritional, chemical and technological properties for food applications

Este capítulo apresenta os resultados obtidos para a caracterização física, química, bem como descreve o potencial tecnológico e avaliação da digestibilidade *in vitro* do amido de farinhas da polpa e casca de banana prata verde.

Este capítulo foi submetido no periódico *Food Research International*.

2. GREEN BANANA (MUSA SSP.) MIXED PULP AND PEEL FLOUR: NEW INGREDIENT WITH INTERESTING BIOACTIVE, NUTRITIONAL, CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES FOR FOOD APPLICATIONS

Leonara Martins Viana^a, Fabiana Silva Rocha Rodrigues^a, Elizabeth Harumi Nabeshima^b, Mauricio de Oliveira Leite^c, Márcio Arêdes Martins^c, Carlos Wanderlei Piler Carvalho^d, Hércia Stampini Duarte Martino^e, Mária Herminia Ferrari Felisberto^a, Frederico Augusto Ribeiro de Barros^{a,*}

^a Department of Food Technology, Federal University of Vicosa, Vicosa-MG, Brazil

^b Cereal and Chocolate Research Center- Institute of Food Technology (ITAL), Campinas, SP, Brazil

^c Department of Agricultural Engineering, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, Brazil.

^d Embrapa Food Technology, Guaratiba, Rio de Janeiro- RJ, Brazil.

^e Department of Nutrition and Health, Federal University of Viçosa, Viçosa- MG, Brazil.

* Corresponding author at: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Avenida P.H. Rolfs, Campus Universitário S/N, Viçosa, MG 36570-900, Brazil.

E-mail address: fredbarros@ufv.br (F.A.R. Barros).

ABSTRACT

Green banana pulp (GBPF) and peel (GBPeF) flours, and their mixtures can be alternatives to minimize post-harvest loss and to improve the nutritional value of foods. However, there is a need to standardize the GBPF/GBPeF ratio in the mixed flours and to do a thorough characterization of the GBPF, GBPeF and their mixtures. Thus, the objective of this study was to evaluate the physical, chemical and technological properties, and *in vitro* starch digestibility of GBPF and GBPeF in order to evaluate the potential food applications of their mixtures, 90:10 and 80:20 (pulp:peel). Green banana pulps were immersed in drinking water, while the peels were immersed in a 0.5% (w/v) citric acid solution for 20 min. Pulps and peels were sliced and dried at 55°C, airspeed of 1.5 m.s⁻¹, for 9 h. Then, the GBPF and GBPeF were characterized (e.g. proximate composition, fatty acid profile, concentration of total phenolics, resistant starch, starch pasting properties, etc). The concentration of lipids, total dietary fiber and ash was higher in the GBPeF (7.53, 39.57 and 8.41%, respectively) than in the GBPF (0.61, 8.63 and 2.23%, respectively). In addition, some minerals such as potassium, calcium, iron and zinc, total phenolics and water absorption index, were higher in the GBPeF. Oleic acid was the main monounsaturated fatty acid in the flours, whereas linolenic acid and eicosapentaenoic acid (EPA) were mainly found in the GBPeF. The addition of up to 20% of GBPeF in the mixed flour had little effect on the starch pasting properties of the GBPF. Total starch and resistant starch contents of GBPF and GBPeF were 69.54%, 24.04%, and 44.1%, 17.9%, respectively. Both flours had low contents of rapidly and slowly digestible starch. Therefore, this study confirms the potential of the green banana mixed flours, with up to 20% GBPeF, as relevant sources of resistant starch and bioactive compounds to develop healthy foods.

Keywords: resistant starch, antioxidants, condensed tannins, gel strength, unripe.

1. Introduction

Banana (*Musa* spp.) is one of the most produced and commercialized fruits worldwide. Besides being a highly nutritious fruit, it plays an important role in food security and the global food economy, with high consumption by the population (Mesquita et al., 2016; Khoozani et al., 2019a). However, large quantities of bananas are lost in the marketing scenario, mainly due to poor post-harvest practices (Angelis-Pereira et al., 2016; Bi et al., 2017).

In this context, considering the banana loss in the supply chain, the use of the green (unripe) fruit may be a viable alternative to reduce waste, in addition to minimizing management costs and preventing environmental risks (Khoozani et al., 2019a). Moreover, the high content of resistant starch, dietary fiber, antioxidants, and minerals of the fruit at the early stages of maturity contribute to making it a suitable raw material for the manufacture of flour with potential health benefits (Pereira et al., 2020; Angelis-Pereira et al., 2016). Some studies have shown the potential of green banana pulp flour (GBPF) in preventing intestinal disorders and reducing the glycemic index and inflammation (Almeida-Junior et al. 2017; Angelis-Pereira et al., 2016). Dietary interventions with the addition of 5% and 10% of GBPF increased the concentration of short-chain fatty acids in the colon 2- to 5-fold (Almeida-Junior et al. 2017).

GBPF is the most used green banana flour for food applications and therefore, its production has aroused great interest in the food industry, mainly due to its high concentrations of resistant starch and technological properties (e.g. thickening agent) (Pereira et al., 2020). Green banana peel flour (GBPeF) is rich in minerals, bioactive compounds and dietary fiber (Angelis-Pereira et al., 2016), however, it has been little studied and underutilized. Thus, more studies on the chemical, technological and bioactive characteristics of the GBPF and GBPeF are necessary. In addition, the mixed green banana pulp and peel flour may be a potential raw material for the development of novel healthy food products and industrial applications due to GBPF and GBPeF nutritional characteristics, besides reducing waste generation due to the full use of the fruit.

However, the green banana mixed pulp and peel flours need to be standardized and characterized, once it is important to know the ideal concentrations of the GBPeF that can be mixed with the GBPF for specific applications. In addition, GBPF and green banana mixed pulp and peel flours can be used as potential substitutes for conventional flours due to their wide availability and low processing cost. Thus, the objective of this study was to evaluate the physical, chemical and technological properties, and *in vitro* starch digestibility of green banana pulp and peel flours in order to evaluate the potential food applications of their mixtures.

2. Materials and methods

2.1 Raw materials

Green banana (*Musa paradisiaca*, AAB group) bunches, cultivar “Prata”, were harvested from May to July, 2021, in a rural area (district of Rua Nova) in the city of Viçosa, state of Minas Gerais, Brazil.

2.2 Harvesting and storage

The fruits were harvested at maturity stage 1 (completely green), from 90 to 120 days after flowering, transported to the Fruit and Vegetable Processing Plant (DTA/UFV), and processed immediately. The ripening stage of bananas was assessed by subjective (visual perception) and objective measures, using the following methodologies: a) Color measurements by reading the color of the fruits directly in a colorimeter (Minolta Color Reader CR-10), with illuminant D65 (daylight, 6,500K), and 10° observation angle. The results were expressed in the CIELab system (L^* , a^* , b^* coordinates); and b) Firmness (N) of green fruits using a TA-XT2i texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, UK). Penetration tests were performed on the central part of the fruit (previously cut in 4 cm length), in a vertical position. The firmness was measured using a P/5 cylindrical probe with a flat base of 5 mm in diameter, 1.0 mm.s⁻¹ penetration speed, and 20 mm depth (Tribess et al., 2009). For both analyses, four specimens were collected from each clump, which were first subjected to color analysis, and the readings were performed directly from random points, and then the same samples were subjected to firmness evaluation.

2.3 Production of green banana pulp and peel flours

After harvesting the bunches, the clusters were removed using a stainless steel knife. The clusters were weighed, sanitized by immersion in water containing 100 mg.L⁻¹ of chlorine for 20 minutes. After this process, the fruits were peeled manually, and their respective parts were properly treated in different solutions. The pulps were immediately immersed in drinking water, while the peels were immersed in a 0.5% (w/v) citric acid solution. The sliced materials were kept in their respective solutions for 20 minutes to prevent enzymatic browning (Alkarkhi et al., 2011; Angelis-Pereira et al., 2016).

The drying process of the green fruits was performed according to the methodology proposed by Paiva (2018) with modifications. Initially, the banana pulps and peels were sliced in a food processor (Robot Coupe, CL 50) using a 2 mm slicing disc, and distributed on aluminum mesh trays. Drying was performed at 55 °C, using a tray dryer with gas heating (Polidryer PD 150). The drying airspeed was adjusted to 1.5 m.s⁻¹ using a portable digital hot-wire anemometer (Instrutherm® TAFR-180).

The drying procedure lasted approximately 9 h, which was considered the time the samples reached constant weight. After drying, the dried samples were ground in a knife mill (Brabender, WI) with a stainless steel sieve of 1.0 mm, and stored in airtight plastic bags at -18 °C until the analysis.

2.4 Physical and chemical characterization of green banana flours

2.4.1 Flour yield

The flour yield was calculated based on the final weight of flour after drying and the initial weight of banana *in natura*, and the results were expressed as g flour/kg of banana *in natura*.

2.4.2 Particle sizing test

To determine the particle size of the green banana pulp and peel flours, 100 g of flour was sieved in the Ro-Tap Sieve Shaker (Cleveland, USA), in triplicate, for 5 minutes on vibrating sieves with apertures (mm) of 0.84 - 0.42 - 0.25 - 0.21 - 0.177 - 0.149, and 0.00 (Method 66-20.01; AACC, 2000). The material retained on each sieve was weighed and the results were expressed as percentages.

2.4.3 Instrumental color

The color determination of the flours was performed using a colorimeter (Minolta Color Reader CR-10), through a direct reading of the sample, with illuminant D65 (daylight, 6,500K), and observation angle of 10°. The results were expressed in the CIELab system (coordinates L*, a*, b*). The readings were performed on the flours evenly distributed in Petri dishes, in triplicate, in different parts of the sample.

The whiteness index (WI) (Eq. 1) (Anyasi et al., 2015) and the browning index (BI) (Eq. 2 and 3) (Palou et al., 1999) were determined from the results of the color parameters (L*, a*, and b*).

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (Eq. 1)$$

$$BI = \frac{100 \cdot (X - 0.31)}{0.172} \quad (Eq. 2)$$

$$X = \frac{(a + 1.75 \cdot L)}{(5.645 \cdot L) + (a - 3.021 \cdot b)} \quad (Eq. 3)$$

2.4.4 Proximate composition

The determination of moisture, protein, lipids and ash contents was performed according to the standard methodology described by AOAC (2000). The moisture content of the green banana pulp and peel flours was determined in a hot air circulation oven at 100-105 °C for 4 hours (method 925.40; AOAC, 2000); the protein content (% N × 6.25) was determined by the Kjeldahl method (method 955.04; AOAC, 2000); total lipids were determined according to the Soxhlet extraction method using petroleum ether at 40-60 °C (method 920.39; AOAC, 2000); ash content was determined by the incineration in a muffle (method 923.03; AOAC, 2000). The total carbohydrates were calculated by difference [100- (moisture + ash + protein + lipids)]. The results were expressed in grams per 100 g of flour.

Soluble and insoluble fibers were quantified by the enzymatic-gravimetric method, using thermo-resistant α -amylase, protease, and amyloglucosidase (Sigma®) for the enzymatic hydrolysis (AOAC, 2005). The total dietary fiber content was determined by summing the soluble and insoluble fiber contents (AOAC, 2005).

2.4.5 Minerals

The concentration (mg/100g) of the major minerals of the flours [phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), boron (B), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), iron (Fe), and sodium (Na)] was determined as proposed by Alvarez et al. (2001), Braga & DeFelipo (1974) and Sarruge & Haag (1974).

2.4.6 Total titratable acidity, water activity, and pH

The total titratable acidity in malic acid (%) was determined by titration with 0.1 N sodium hydroxide and phenolphthalein, until reaching pH 8.0, according to the method 942.15 (AOAC, 2002). The water activity (aw) of the flours was determined by direct readings in a 4TE Aqualab apparatus (Decagon Devices Inc., USA), at a controlled temperature of 25.3 °C. The pH of the flours was determined according to the method 981.12 (AOAC, 2002).

2.4.7 Fatty acid composition of the flours

The determination of the fatty acid profile of the green banana flours was performed by gas chromatography (GC). First, the fatty acids of the flour samples were converted into fatty acid methyl esters via methylation with 2% methanolic sulfuric acid, as described by Guihéneuf, et al. (2015) and Ichihara & Fukubayashi (2010). For that, 50 mg of sample was mixed with 1.0 mL of 2% methanolic sulfuric acid. The mixture was incubated in a dry bath at 90 °C for 90 min under vortexing (200 rpm). After cooling, 1 mL of deionized water and 2 mL of hexane were added to the tubes and vortexed. Then, after decantation and phase separation, 0.1 g of anhydrous sodium sulfate was added, and the mixture was centrifuged at 5000 g for 5

min. The upper phase, which contained the methyl esters, was reserved for later chromatographic analysis. The chromatographic analysis was performed in Shimadzu GC-2010 equipment, equipped with a flame ionization detector (FID) and a capillary column SGE BPX70 (25 m x 0.5 mm x 0.25 μ m). The temperature program was set at 100 °C, followed by heating at a rate of 20 °C/min up to 270 °C, and finally maintaining this temperature for 10 min for better peak resolution.

2.4.8 Determination of the lipids classes by thin-layer chromatography

The lipid classes of the green banana pulp and peel flours were determined by thin-layer chromatography (TLC), according to the methodology proposed by Yao et al. (2015), with some modifications. Initially, the fat was extracted as proposed by Bligh & Dyer (1959), and then 10 mg of fat was mixed with 1 mL of chloroform. The sample solutions and the lipid standard (monolein, oleic acid, and triolein) were poured onto a chromatographic plate coated with silica gel layers (20×20 cm) (Macherey-Nagel, GmbH & Co, KG, Germany). Subsequently, the plate was placed in contact with the elution solution (hexane, ethyl ether, and acetic acid in a volumetric ratio of 70:30:1) in the TLC developing chamber and allowed to run until the solvent has reached the top of the plate (for approximately 15 min). After solvent evaporation, the bands of the compounds were visualized by exposing the developed TLC plate to iodine vapor.

2.4.9 Total phenolics, condensed tannins, and phytic acid

The concentration of total phenolics was determined according to Singleton and Rossi (1965), with modifications. For the extraction of total phenolics, 500 mg of flour was mixed with 25 mL of methanol under stirring for 2h. The extract was centrifuged at 6000 rpm for 15 min, and a 0.1 mL aliquot of the supernatant was mixed with 0.4 mL of the Folin-Ciocalteu reagent previously diluted with distilled water, 0.9 mL of an ethanolamine solution, and 1.1 mL of distilled water. The total phenolic content was expressed as mg gallic acid equivalents per g of flour (mg GAE/g).

The condensed tannin content of the flours was estimated as described by Price, Scoyoc, and Butler (1978) with modifications. The flour (3.0 g) was mixed with 8 mL of 1% HCl in methanol. The mixture was left in a water bath (30 °C/60 min) and then centrifuged at 6000 rpm/15 min. The condensed tannins concentration was expressed as mg catechin equivalent/g sample.

Phytic acid content was determined using a K-PHYT Phytic Acid (Phyt Phytic Acid)/Total Phosphorus kit (Megazyme, Wicklow, Ireland), following the manufacturer's instructions with nutritious foods. Briefly, 1g of flour was added to 20 mL of 0.66 M HCl and

mixed by stirring at room temperature overnight; 1 mL of the resulting extract was transferred to 1.5 mL tubes and centrifuged at 13000 rpm for 10 minutes. Immediately, 0.5 mL of the supernatant was transferred to 1.5 mL tubes and neutralized with 0.5 mL of NaOH (0.75 M). Then, enzymatic dephosphorylation was performed, using 1 tube for free phosphorus and 1 tube for total phosphorus, with dilutions using the neutralized sample, obtained previously, and the other components of the kit (enzymes). After enzymatic treatment, samples of total phosphorus and free phosphate were used to colorimetrically determine their phosphorus content. In addition, a standard curve was prepared, plotted as indicated in the manufacturer's leaflet, and the absorbance was read at 655 nm in a spectrophotometer.

2.5 Technological properties of the green banana flours

2.5.1 Pasting properties

The pasting properties of starches from green banana pulp and peel flours, as well as their mixtures in the proportion of 90:10 and 80:20 (pulp: peel) were evaluated through a Rapid Visco-Analyzer (RVA-4500, Warriewood, Australia), according to standard methodology 2 (STD2) of the equipment, using 3.5 g of sample (containing 14% moisture). The starch suspensions were placed in proper aluminum vials and coupled to the RVA. At the beginning of the analysis, the RVA was kept at 50 °C for 1 min and then heated at a rate of 6 °C/min until reaching 95 °C, remaining at this temperature for 5 min. It was then cooled to 50 °C at 6 °C/min and remained at this temperature until the end of the analysis. The total analysis time was 23 min. The suspensions were kept under agitation in the RVA at 160 rpm throughout the experiment. The results were analyzed by the software Termoclines for Windows. All determinations were performed in duplicate, and the parameters evaluated were maximum viscosity, minimum viscosity, breakdown, final viscosity, setback, and pasting time and temperature. In addition, the amylose content of the GBPF and GBPeF was determined using an assay kit (Amylose/Amylopectin; Megazyme International, Wicklow, Ireland).

2.5.2 Gel strength

The banana pulp and peel flours, as well as their mixtures in the proportion of 90:10 and 80:20 (pulp: peel) from the RVA analysis, were evaluated for gel strength using the TA.XT2i texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, England) according to Bourne (1978). For that, the cooked paste was kept in the aluminum vial of the RVA, capped with PVC film, allowed to cool and stored at 2 ± 5 °C for 16 h, and equilibrated to room temperature for 1 h before analysis. The test conditions were acrylic cylindrical probe of 25 mm diameter, test speed 0.5 mm/s, distance of 10 mm, and load cell of 50 kg. The analysis was performed in triplicate.

2.5.3 *Water absorption index and solubility index*

The water absorption (WAI) and water solubility (WSI) indices were determined as reported by Anderson et al. (1969), with modifications. A suspension was prepared by mixing 1.0 g of flour and 50 mL of water with stirring, and centrifugation at 6000 rpm for 10 minutes. The supernatant liquid was drained off and the remaining material (wet flour) was weighed. The supernatant liquid was used to determine the water solubility index (WSI) of the flours. For that, the water was evaporated in a Petri plate previously weighed, in an oven at 105 °C until constant weight. The water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) were calculated according to Equations 4 and 5.

$$WAI = \frac{\text{centrifugation residue (g)}}{\text{sample weight (g)}} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$WSI = \frac{\text{evaporation residue (g)}}{\text{sample weight (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

2.6 *In vitro* starch digestibility of green banana pulp and peel flours

2.6.1 *Total starch content*

The total starch (TS) content was determined according to method 76-13 (AACC, 2009), using an assay kit (Total Starch Assay Kit; Megazyme International, Wicklow, Ireland).

2.6.2 *Resistant starch, slowly digestible starch, and rapidly digestible starch*

The contents of resistant starch (RS), and the respective rapidly digestible (RDS), and slowly digestible (SDS) starch fractions were determined according to method 32-40 (AACC, 2009), using a Megazyme kit (RS assay kit; Megazyme International, Wicklow, Ireland) according to the manufacturer's instructions. The RS content was calculated as mg glucose × 0.9 (conversion factor).

For the determination of RDS and SDS contents, 3300 U/mL of α -amylase and 300 U/mL of amyloglucosidase, which were also used for the determination of resistant starch, was dissolved in sodium acetate buffer (0.1 M, 4 mM CaCl₂, pH 5.0) to hydrolyze 100 mg of sample, in a water bath at 37 °C at 190 rpm. The samples were removed at different time intervals (20 min and 120 min), and the reaction was stopped by adding 4 mL of 95% (v/v) ethanol. Then, the samples were washed with 95% ethanol (v/v) two consecutive times. After centrifugation (6000 rpm/10 min), an aliquot of the supernatant was mixed with GOPOD (glucose oxidase

and peroxidase) and the glucose concentration was determined by measuring the absorbance of the mixture in a spectrophotometer at 510 nm. The percentage of hydrolyzed starch was calculated by multiplying the glucose content by 0.9, and the RDS (20 min) and SDS (between 20-120 min) fractions were determined.

2.7 Statistical analysis

The results of physical and chemical analyzes and *in vitro* digestibility of the flours were subjected to analysis of variance (ANOVA), and the means between treatments were compared by Student's t test using GraphPad Prism software, version 8.0. The main dispersion was expressed as standard deviation, and data with p value <0.05 were considered statistically significant.

To evaluate the technological properties of the flours, the results were subjected to statistical analysis (SISVAR) version 5.6 (Ferreira, 2011). Statistical differences between treatments were calculated using analysis of variance (ANOVA), and group means were compared using Tukey's test. The significance level was set at p<0.05.

3. Results and discussion

3.1 Fruit ripening stage

The bananas showed firmness of 25.3 ± 1.04 N. The texture quality of bananas can be determined by the attribute firmness and is an objective measure, which directly influences the ripening stage of the fruit (Ditchfield, 2004). Some factors like cultivar, moisture, and chlorophyll contents are strongly related to the degree of ripeness of banana fruit (Qamar & Shaikh, 2018).

Luminosity varies from light to dark, in which 0 represents the black color and 100 represents the white color. In the present study, the bananas showed L* value of 46.85 ± 3.16 , therefore a tendency towards darker tones. Similar results were reported by Ribeiro (2006) and Souza (2015), who found luminosity values ranging from 50.58 to 57.0 for Prata banana at the initial maturity stage (green fruits).

The coordinate a* represents a color variation from green (-a*) to red (+a*), while the coordinate b* corresponds to blue (-b*) and yellow (+b*) tones. In this study, the parameter a* showed a value of -10.10 ± 0.44 , which represents the green hue (-a*) of the banana peel. The color of banana peel comes from the chlorophylls, which give its characteristic green color. Regarding the coordinate b*, a tendency towards yellow color (+b*) was observed, with a value of 28.70 ± 2.16 for green banana *in natura*. During the ripening process, the chlorophyll is degraded and the carotenoids give the yellow color to the fruit (Quintero et al., 2013).

3.2 Physical and chemical characterization of the green banana flours

The green banana pulp flour (GBPF) showed higher yields when compared to the green banana peel flour (GBPeF). The average yields of green banana pulp (GBPF) and peel (GBPeF) flours were 290.70 and 78.80 g/kg of fruit *in natura*. Similar results were observed by Santos et al. (2010), who reported a yield of 298.10 g/kg for flour from green banana pulp, Prata variety. A higher flour yield is an important quality parameter for the food industry since high yields in fruit processing can result in higher profitability for industries (Kumar et al., 2019).

3.2.1 Particle size

The results of the particle size properties of the green banana pulp and peel flours are shown in Table 1. The GBPF had a higher amount of particles retained on the 0.177 mm sieve (61%), and consequently, a higher proportion of finer particles (bottom) when compared to GBPeF. In turn, GBPeF had higher particle retention on the larger aperture sieves (0.42 and 0.25 mm, respectively), mainly on the 0.25 mm mesh sieve (25.67%). The higher concentration of insoluble fiber in the peel favors the higher particle size of the peel flour (Brito et al, 2019). Similar results were reported by Bezerra et al. (2013), who studied green banana flours with peel and without peel and found higher particle retention using 0.50 and 0.177 mm sieves, respectively. The particle size of the flours is a factor that directly influences the water retention capacity, and thus the viscosity of starch pastes, which interferes with the mixing time and the sensory characteristics of the final products, such as appearance, flavor, and texture (Brito et al., 2019).

3.2.2 Instrumental color

Significant differences ($p < 0.05$) were observed for the instrumental color of the green banana flours (Figure 1) (Table 2). The green banana pulp flour showed higher brightness and whiteness index, and a lower browning index, with values of 73.27, 68.09, and 30.24%, respectively. In contrast, lower L^* and WI values, and higher EI were observed for GBPeF, with values of 44.57, 41.28, and 61.43%, respectively. The visual observation also indicated this difference since the peel flour was much darker than the pulp flour. This behavior may be due to the presence of chlorophylls, responsible for the characteristic green color of the peel (Alkarkhi et al., 2011; Bezerra et al., 2013).

The coordinate a^* value of the peel flour was 5.67, while the pulp flour showed a a^* value of 4.97, with a tendency towards red chromaticity ($+a^*$) for both samples (Table 2). Regarding the coordinate b^* , there was a predominance of yellow ($+b^*$), with a value of 18.53 and 16.77 for the peel and pulp flours, respectively.

The sample preparation and the drying conditions significantly affected the color of the flours. In the present study, although the pulps were immersed only in drinking water before the drying process, the green banana pulp flour showed similar or lighter color (higher L* value) when compared to green banana pulp flour subjected to previous treatments for the prevention of enzymatic browning, such as the use of dilute acids and other compounds such as sodium metabisulfite (Anyasi et al., 2017; Bakare et al., 2017). The drying process used in this study, at mild temperatures for a relatively shorter time (55 °C/9 h), may have contributed to the little browning of banana pulp flour during processing. Khoozani et al. (2019b) reported that increasing the temperature from 50 °C/ 7h to 80 °C/ 4h and 110 °C/2 h resulted in the darker color of green banana pulp flours.

In the present study, a pretreatment with 0.5% (w/v) citric acid solution was performed on the green banana peels to prevent browning. When comparing the color of green banana peel flour (+5.67) with the fruit *in natura* (-10.10), a significant change was observed in the parameter a*, probably due to the drying process. Alkarkhi et al. (2011) reported similar a* values (+5.20) for green banana (*Musa acuminata* L.) peel flours, subjected to a pre-treatment with citric acid (0.5%/10 min) and drying at 60 °C.

3.2.3 Proximate composition

The proximate composition of the green banana pulp and peel flours is presented in Table 3, with significant differences in moisture, lipids, protein, ash, dietary fiber, and carbohydrate contents (p<0.05).

Significant changes were observed for the moisture content between the green banana flours, and the GBPF presented lower moisture when compared to the GBPeF, with values of 6.15 and 7.40% respectively. Although the current legislation has established the maximum limit of 15% of moisture for dried or dehydrated plant products (BRASIL, 2005), the high moisture content in dried bananas is a limiting factor for the milling operation, since it raises the particle size (BeMiller and Whistler, 2009). Moreover, moisture contents above 15% can affect the flour quality during storage, making it susceptible to microbial growth and consequently a reduced shelf life (Salazar et al., 2022).

The banana peel flour showed significantly higher lipid content when compared to the pulp flour, with values of 0.61 and 7.53%, respectively (Table 3). Angelis-Pereira et al. (2016) also studied the variety Prata in the green stage and reported high fat contents in the peel flour (10.7%). Low protein contents were observed for all samples, with higher values for GBPeF (5.8%) when compared to GBPF (3.33%) (Table 3).

Regarding the ash content, a notable difference was observed between the flours, with significantly higher levels for the peel flour (8.41%) when compared to the pulp flour (2.23%) (Table 3). In general, fruit peels have a higher content of minerals and fibers than their respective edible parts, reinforcing their importance as alternative sources of nutrients, besides preventing food waste (Gondim et al., 2005).

Concerning the dietary fiber content, GBPF presented 8.63%, while GBPeF showed almost five times higher dietary fiber levels (39.57%) (Table 3). The green banana peel flour stood out for presenting high amounts of insoluble fiber (34.68%), while the pulp flour showed considerable amounts of insoluble (6.24%) and soluble (2.39%) fibers. Thus, the green banana mixed pulp and peel flour could be a potential ingredient to be used in food formulations to increase dietary fiber content.

The high dietary fiber content of the GBPeF (39.57%) was similar to those reported for mango and prickly pear peels, with values of 39.25, and 39.33%, respectively (Garcia-Amezquita et al., 2018). This behavior was also reported by Angelis-Pereira et al. (2016), who found remarkable levels of dietary fiber in peel and pulp flours from green banana Prata variety (39.9 and 14.8%, respectively). Therefore, the green banana pulp and peel flours can be a strategy for adding nutritional value in food preparations, especially dietary fiber (Tejada-Ortigoza et al., 2021).

3.2.4 Minerals

The concentrations of the major minerals identified in the green banana flours are presented in Table 4. Potassium (K) was the most abundant mineral in these flours, followed by magnesium (Mg), phosphorus (P), calcium (Ca), sulfur (S), and manganese (Mn).

High mineral contents were observed for both green banana flours, with higher concentrations for GBPeF when compared to GBPF, except for copper (Cu), demonstrating that the peel can contribute to increasing the concentrations of these minerals in foods (Table 4). Iron (Fe) and zinc (Zn) contents were almost three and five times higher, respectively, in the GBPeF. Micronutrients, such as Fe and Zn, play fundamental roles in the proper functioning of the human organism. As a structural and/or functional component of several metalloenzymes and metalloproteins, Zn participates in many reactions of cellular metabolism, including physiological processes, such as immune function, antioxidant defense, growth, and development (Mafra & Cozzolino, 2004). In turn, Fe is an essential micronutrient that acts as a cofactor for oxygen and amino acid transport, as well as assisting in energy production, immune system function, and collagen synthesis, while its deficiency delays growth and cognitive development in children (Anhwange et al., 2009).

As shown in Table 4, the calcium (Ca) and manganese (Mn) contents were considerably higher in the GBPeF when compared to the GBPF, with a ratio of more than ten times. Calcium performs functions in strengthening bone structure, as well as participating in blood coagulation, transmitting nerve impulses, enabling muscle contraction, and helping to maintain blood pH (Jia et al., 2016). In turn, manganese contributes with the reproductive, skeletal, and cartilaginous formation of the human body (Anhwange et al., 2009). Thus, products containing green banana peel flour in their formulation can be a good source of calcium and manganese, which are fundamental compounds in the maintenance of health.

Angelis-Pereira et al. (2016) also reported high mineral contents in green banana peel flour, who found significant amounts of Fe, K, Zn, and Mn, which are essential micronutrients for human metabolism. Possible differences in mineral concentrations of the flours may be due to the cultivation of the raw material, including soil and growing season (Koneczak et al., 2011; Ferreira et al., 2020).

3.2.5 Water activity, pH, and total titratable acidity

The results of water activity (a_w), pH, and total titratable acidity of the green banana pulp and peel flours are presented in Table 5. Although a higher a_w value was observed for the peel flour when compared to the pulp flour (0.30 and 0.24, respectively), both flours showed water activity lower than 0.6, which indicates good stability against physicochemical reactions, in addition to a longer shelf life due to the lower potential for microbial growth (Khoozani et al., 2019b). Thus, high stability can be expected during the storage of the flours under proper packaging and room temperature.

As shown in Table 5, significant differences were observed for the pH and total titratable acidity values of the green banana pulp and peel flours, with a lower pH value and higher acidity for the peel flour (5.13 and 1.21%, respectively) when compared to the pulp flour (5.39 and 0.65%, respectively). The gradual decrease in pH of the flours may be due to the presence of organic acids, such as malic, citric, oxalic, and tartaric acids from the green banana fruit. In general, malic and citric acids are responsible for the acidity of green bananas, while oxalic acid contributes to the astringent taste of the fruit (Ayo-Omogie et al., 2010). Due to the lower pH value and consequently higher acidity, GBPeF probably has a higher concentration of these acids. Nevertheless, the green banana flours of this study can be classified as low acidity food since they had a pH higher than 4.5 (Franco and Landgraf, 2008).

3.2.6 Total phenolics, tannins, and phytic acid

The results of the concentration of total phenolics, condensed tannins and phytic acid of the green banana flours are presented in Table 6. The total phenolic content was significantly

higher in the peel flour when compared to the pulp flour, with values of 7.60 and 3.80 mg GAE/g, respectively, thus indicating an advantage of processing the peel into flour. In addition to condensed tannins, some phenolic compounds such as flavonoids and hydroxycinnamic acids have already been identified in banana pulp and peel flours (Passo-Tsamo et al., 2015a).

The total phenolics concentrations of the GBPF and GBPeF (Table 6) were higher than those found by Morais et al. (2015) for green banana pulp and peel flours (2.64 and 4.25 mg GAE/g, respectively), and flours from other fruits, including avocado (2.98 and 1.81 mg GAE/g), pineapple (1.98 and 4.28 mg GAE/g), and passion fruit (3.78 and 5.04 mg GAE/g). In general, the phenolic compounds in fruits are preferentially located in the peel, and to a lesser extent in the pulp (Ayala-Zavala et al., 2011).

As expected, the pulp flour showed a lower tannin content (44.70 mg CE/g) when compared to the peel flour, which showed a significantly higher value (76.00 mg CE/g) (Table 6). These compounds are secondary protective metabolites of plants, thus they are naturally present in higher concentrations on the outer part of vegetables. Lower values were reported by Angelis-Pereira et al. (2016) when compared to the present study, who found tannin contents between 12.59 and 16.70 mg/g for the pulp and peel flours, respectively. In addition to their high antioxidant capacity, condensed tannins can interact with starch, decreasing its digestibility and thus increasing the content of resistant starch, which acts as dietary fiber (Barros et al., 2012).

Although significant differences were observed for the phytic acid contents of the flours, lower values were observed, from 0.06 to 0.09 g/100g for the green banana peel and pulp flours, respectively (Table 6), which is a positive result, once phytate is an antinutritional compound that can reduce the absorption of minerals and proteins (Gemedede et al., 2014). Oyeyinka et al. (2019) reported phytate contents ranging from 2.26 to 2.36 g/100g in banana (*Musa paradisiacus*) peel and pulp flour, which are higher than that found in the present study.

3.2.7 Lipid classification and fatty acid profile of the lipids extracted from the flours

As it was determined, the total lipids content of the green banana peel flour was higher than that found in the pulp flour, with values of 7.53 and 0.61%, respectively (Table 3). Then, the lipid classes and main fatty acids present in these samples were investigated. The main lipid classes found in the GBPF and GBPeF are shown in Figure 2. The monoacylglycerols (MAG's) and polar lipids presented the highest percentage among the lipid fractions from the GBPeF, while the lipids from the GBPF presented triacylglycerols (TAG) and MAG's as main lipids.

Polar lipids (e.g. phospholipids) were identified in the GBPeF, corresponding to the lower band, and sterol esters, corresponding to the upper band, above the TAG's band

(Guihéneuf et al., 2015; Ichihara & Fukubayashi, 2010). As reported by Hamed & Abo-Elwafa (2012) and Beevi & Sukumaran (2015), the band between FFA and TAG's may indicate the presence of diacylglycerols (DAG's) in the peel flour. Lipids such as MAG's, DAG's, and phospholipids exhibit excellent emulsifying properties and are widely used in the food, cosmetic, pharmaceutical, and chemical industries (Ferreira et al., 2021). Interactions between lipids and other compounds in the green banana peel and pulp may have affected a complete separation of the lipid fractions by the methodology used in this study, impairing the free fatty acids (FFA) identification.

The main fatty acids composition of the GBPF and GBPeF are shown in Table 7. The average saturated fatty acids content ranged from 56.11 to 60.66% for the peel and pulp flours, respectively. Among the saturated fatty acids, palmitic acid was the most abundant component in the green banana pulp and peel flours, with values of 41.19 and 47.81%, respectively (Table 7). Oleic acid was the main monounsaturated fatty acid, with 16.42 and 27.98% for GBPeF and GBPF, respectively. The consumption of foods that are sources of monounsaturated fatty acids, such as oleic acid, assists in the reduction of plasma low-density lipoprotein (LDL-cholesterol) and total cholesterol, with health benefits by reducing the risk of cardiovascular diseases (Nogueira de Almeida et al., 2018).

As shown in Table 7, the polyunsaturated fatty acids levels of the green banana pulp and peel flours ranged from 10.63 to 26.61%. From this group, linoleic acid or omega-6 (C18:2) was the predominant compound, with higher values for GBPeF (13.40 %) when compared to GBPF (8.84 %).

The green banana peel flour showed high levels of linolenic acid (3.77%) and eicosapentaenoic acid (EPA) (6.09%). The polyunsaturated fatty acids of the omega-3 families (EPA and linolenic acid) contribute to the development of the nervous system, besides acting in the control of cardiovascular diseases, as well as in the prevention of several types of cancer and delaying aging (Perini et al., 2010). The RDC 54/2012 has established functional claims for the presence of omega-3 fatty acids, especially for a value of 40 mg of EPA per food serving.

3.3 Technological properties of the green banana flours

3.3.1 Pasting properties

The pasting properties of the GBPF and GBPeF, as well as their mixtures, M1 [green banana mixed pulp (90%) and peel (10%) flour], and M2 [green banana mixed pulp (80%) and peel (20%) flour], are presented in Table 8. The pasting temperature values did not differ statistically between the samples (69.89 °C). Bertolini et al. (2010) reported higher pasting temperatures (74 and 76.2 °C) for green banana peel and pulp flours, respectively, variety

Nanicão. Moreover, Haslinda et al. (2009) found higher values for green banana flours variety Awak ABB, with and without peel (83.25 and 80.88 °C), respectively. These differences may be due to the different varieties studied, as well as the harvest season, growing conditions, among other factors, which are directly related to the composition of the fruit and consequently its technological properties.

The GBPF showed higher peak viscosity when compared to the GBPeF, with values of 5971.0 and 1851.67cP, respectively (Table 8). This behavior is due to the higher fiber and lower starch contents of the peel flour when compared to the pulp flour. In addition, fiber competes with starch in water absorption, resulting in lower apparent viscosity of the peel flour. Similar results were observed by Bertolini et al. (2010) for green banana (*Musa acuminata* var. Nanicão) flours, who reported a higher paste viscosity for pulp flours when compared to peel flours (3470 and 1210 cP, respectively). When comparing the maximum viscosity values of the GBPF with the respective mixtures (M1 and M2), no significant differences (<0.05) were observed, with values of 5971.00, 5936.33, and 6006.33 cP for the pulp flour, M1, and M2, respectively. Therefore, the addition of up to 20% of peel flour to the pulp flour did not affect the pasting properties of the GBPF.

Breakdown viscosity is one of the main factors affecting the processing of starch-rich foods. In this study, the breakdown values of the samples increased significantly with the starch concentrations (Table 8). The pulp flour and the flour mixture (M1 and M2) have higher breakdown levels when compared to the peel flour. The lower breakdown viscosity of the peel flour is probably due to the difference in particle size properties, as well as the high dietary fiber and lipid contents. According to Zheng et al. (2021), the higher lipid content of whole wheat flour can favor the shear strength of the material during heating, which increases the stability and strength of the starch gel structure after extrusion.

The increase in breakdown levels in the mixed flours (M1 and M2) was due to the presence of the same type of starch as in GBPF. The starch granules present in these flours have low shear stability during heating, and consequently higher swelling capacity, which is usually associated with the high percentage of amylopectin present in this type of raw material, which is responsible for the swelling and gelatinization properties, as reported by Tester and Morrison (1990).

The parameter final viscosity ($Visc_{final}$) represents the strength of the starch gel at room temperature. As shown in Table 8, the mixed flours M1 and M2 presented higher $Visc_{final}$ values when compared to the peel and pulp flours. The lower final viscosity of the GBPeF may be due to the type of fiber, which probably reduces the mobility of free water in the system through

water absorption, impairing the starch gelatinization, in addition to the lower starch content of GBPeF when compared to M1 and M2. Similar behavior was observed by Zheng et al. (2021) in whole wheat flour when compared to refined flour and wheat starch.

Concerning the setback values, a significant variation from 1525.00 to 1947.67 cP was observed between GBPeF and GBPF (Table 8). This parameter is determined by the increase in the paste viscosities (minimum and final) after cooling to 50 °C and indicates the tendency for the starch to retrograde in a short period. A lower setback value was observed for GBPF (amylose content of 22.78% ± 0.29) when compared to GBPeF (amylose content of 25.97% ± 1.43), with values of 1525.00 and 1947.67 cP, respectively, indicating that the pulp flour preserves its technological characteristics for a longer time, probably due to the lower amylose and dietary fiber contents, and then reduced syneresis (Felisberto et al., 2020a). This property is of great interest for the food industry, especially for application in products that require low syneresis, such as frozen products. Thus, it is important to replace GBPF by only lower levels of GBPeF (up to 20%, as observed in the present work) in order to keep similar technological properties of the green banana pulp flour, which is the most used green banana flour for food applications.

3.3.2 Gel strength

The gels obtained in the analysis of the pasting properties of GBPF and GBPeF and their mixtures (M1 and M2) allow assessing the parameter hardness (Table 8), which indicates the force required to reach a certain deformation when subjected to a penetration force. Significant differences in hardness were observed among the flours (Table 8). Lower hardness was observed for the gel from the GBPeF (1.62 N) when compared to the pulp flour (7.21 N) and the respective mixtures M1 and M2 (5.34 and 5.78 N, respectively). This result was expected due to the final viscosity results, once no changes were observed in the gel formed by mixing up to 20% of peel flour with the pulp flour.

3.3.3 Water absorption index and solubility index

The water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of the GBPF and GBPeF are shown in table 9.

The WAI indicates the volume occupied by the starch granules after swelling in excess water. It can be affected by several factors such as amount of native starch granules that have disintegrated, the physical state of the starch, and the presence of dietary fiber and proteins (Khoza et al., 2021). Although the GBPeF had lower starch content, the WAI was higher than that of the GBPF, probably due to the higher number of hydroxyl groups found in the fiber structure of this product, which allows for greater water interactions through hydrogen bonds

(Aziah et al., 2012). Similar behavior was observed by Salazar et al. (2022), who reported a higher water absorption capacity for whole green banana flours (peel and pulp) when compared to green banana pulp flours of the variety *Musa acuminata* AAA.

The WSI refers to the number of soluble molecules leached from the starch granules (Ahmed et al., 2020). The WSI differed significantly between the flours, with a higher index observed for the GBPeF when compared to the GBPF, with values of 11.90 and 6.97 g/g, respectively. The WSI defines the range of interaction within the crystalline (amylose) and amorphous (amylopectin) regions of the starch molecule, along with the degree of branching as well as the length of the branches (Khoza et al., 2021). Therefore, the higher solubility of green banana peel flour may be due to a less organized granular structure (Khoza et al., 2021), probably due to the presence of other components, mainly fibers, present in smaller amounts in the pulp flour, which interact with the water molecules.

3.4 *In vitro* starch digestibility of green banana pulp and peel flours

The total starch (TS) contents of the GBPF and GBPeF were 69.54% and 24.04%, respectively (Table 10). Similar results were observed by Borges et al. (2009), who worked with bananas from the cultivar “Prata” from Juazeiro do Norte, Ceara-Brazil, and reported 75.20% of starch for the green banana pulp flour in the early maturation stage. The starch content, as well as the size and shape of the starch granules, are important parameters to determine the functional and sensory characteristics of foods made with flour high in starch (Patiño-Rodríguez et al., 2018).

As shown in Table 10, the resistant starch (RS) contents of the GBPeF and GBPF were 17.89% and 44.11%, respectively. The resistant starch present in both flours is characterized as type II starch (RS2), whose type B crystallinity makes it poorly susceptible to hydrolysis (Fuentes-Zaragoza et al., 2010).

Despite the various physiological benefits associated with the consumption of RS, there is still no resolution on the recommended daily intake of resistant starch to date. Some studies have reported that the current intake should be around 3 g/person/day, with varying values for different continents. In Europe and Latin America, the average intake of resistant starch should be around 3 and 6 g/person/day (Monteiro et al., 2013; Menezes et al., 2001), while in Asia it is estimated to be 8 to 19 g/person/day (Goñi & Martín-Carrón, 2001). Considering the daily consumption of 3g/day of RS, for a portion of 30 g pancake (RDC 359/2003, ANVISA), for example, an amount of approximately 6.80 g of green banana pulp flour would be required.

The contents of rapidly digestible (RDS), and slowly digestible (SDS) starch fractions were 1.09% and 2.33%, and 0.91% and 2.37% for the GBPeF and GBPF, respectively (Table 10). These low RDS and SDS of the flours is due to the type II starch (RS2) present in green banana, once the B-type crystallinity confers greater resistance to the action of digestive enzymes (Khoozani et al., 2019a). Bi et al. (2017) evaluated flours from different green banana cultivars (*Musa Dwarf Red*, *Musa ABB Pisang Awak*, and *Musa AAA Cavendish*) and reported RDS contents ranging from 1.63 to 3.41%, and SDS from 6.26 to 12.22%. Paiva (2018) investigated banana flour from the same cultivar (*Musa paradisiacus*, Prata variety) and reported 8.14% and 7.61% RDS and SDS, respectively, in flours without the addition of peels.

These findings indicate that both GBPF and GBPeF have a low starch digestibility (good sources of RS and lower levels of RDS), which can be associated with a lower glycemic index. Therefore, diets that include both green banana flours may positively affect blood glucose control and act to control diabetes. In addition, GBPF and GBPeF can be used as a thickener in food products, as well as for the replacement of traditional cereal starches, reducing the energy value of the final product (Felisberto et al., 2020b).

4. Conclusion

The obtained results confirm that green banana peel flour is a relevant source of dietary fiber, total phenolics, minerals and unsaturated fatty acids, such as oleic, linoleic, and eicosapentaenoic (EPA) acids. Besides, it presented polar lipids, low concentration of phytic acid and higher values of water absorption and water solubility indices, compared to green banana pulp flour, which was rich in resistant starch and had higher peak viscosity and gel strength.

The replacement of green banana pulp flour by up to 20% of green banana peel flour provided mixed flours rich in resistant starch, dietary fiber and antioxidants, and had little effect on the technological properties of the pulp flour. Therefore, the green banana mixed pulp and peel flour can be used as an ingredient in the development of functional foods. Moreover, this study can encourage the exploitation of the green banana peel flour, an underutilized and widely available material with bioactive properties, in order to reduce waste, and minimize management costs.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

We gratefully acknowledge Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)-Brazil and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- Brazil for financial support.

5. References

- AACC. American association for clinical chemistry. **International approved methods of analysis**. Washington, D. C.: AACC, 2000.
- AACC-American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of AACC**. 9ed. Saint Paul: AACC, 2009.
- Ahmed, J., Thomas, L., & Khashawi, R. Influence of hot-air drying and freeze-drying on functional, rheological, structural and dielectric properties of green banana flour and dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 99, p. 105331, 2020.
- Alkarkhi, A. F., bin Ramli, S., Yong, Y. S., & Easa, A. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 312-318, 2011.
- Almeida-Junior, L. D., Curimbaba, T. F. S., Chagas, A. S., Quaglio, A. E. V., & Di Stasi, L. C. Dietary intervention with green dwarf banana flour (*Musa sp.* AAA) modulates oxidative stress and colonic SCFAs production in the TNBS model of intestinal inflammation. **Journal of Functional Foods**, v. 38, p. 497-504, 2017.
- Alvarez V., V. H., Dias, L. E., Ribeiro Junior. E. S., & Fonseca, C. A. da. (2001). Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. **Editora UFV**. Viçosa: Editora UFV.
- Anderson, R. A., Conway, H. F.; Pfeifer, V. F.; Griffin, JR.; L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal science today**, v. 14, p. 4-12, 1969.
- Angelis-Pereira, M. C., Barcelos, M. D. F. P., Pereira, R. C., Pereira, J. D. A. R., & de Sousa, R. V. Chemical composition of unripe banana peels and pulps flours and its effects on blood glucose of rats. **Nutrition & Food Science**, 2016.
- Anhwange, B. A., Ugye, T. J., & Nyiaatagher, T. D. Chemical composition of *Musa sapientum* (banana) peels. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, v. 8, n. 6, p. 437-442, 2009.
- Anyasi, T. A., Jideani, A. I., & Mchau, G. R. Effect of organic acid pretreatment on some physical, functional and antioxidant properties of flour obtained from three unripe banana cultivars. **Food Chemistry**, v. 172, p. 515-522, 2015.
- Anyasi, T. A., Jideani, A. I., & Mchau, G. R. Effects of organic acid pretreatment on microstructure, functional and thermal properties of unripe banana flour. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 99-110, 2017.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 17th Edition, Gaithersburg, USA, 2000. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16.

- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16 th ed. Gaithersburg, USA, 2002.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official method of Analysis**. 18th Edition, Washington DC, 2005. Method 935.14 and 992.24.
- Ayala-Zavala, J., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodriguez, J. A., Siddiqui, M. W., ... & González-Aguilar, G. A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1866-1874, 2011.
- Ayo-Omogie, H. N., Adeyemi, I. A., & Otunola, E. T. Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (Musa ABB Cardaba) pulp and flour. **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 12, p. 2605-2611, 2010.
- Aziah, A. N., Ho, L. H., Shazliana, A. N., & Bhat, R. Quality evaluation of steamed wheat bread substituted with green banana flour. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 3, p. 869, 2012.
- Bakare, A. H., Ogunbowale, O. D., Adegunwa, M. O., & Olusanya, J. O. Effects of pretreatments of banana (Musa AAA, Omini) on the composition, rheological properties, and baking quality of its flour and composite blends with wheat flour. **Food science & nutrition**, v. 5, n. 2, p. 182-196, 2017.
- Barros, F., Awika, J. M., & Rooney, L. W. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 46, p. 11609-11617, 2012.
- Beevi, U. S., & Sukumaran, R. K. Cultivation of the fresh water microalga Chlorococcum sp. RAP13 in sea water for producing oil suitable for biodiesel. **Journal of applied phycology**, v. 27, n. 1, p. 141-147, 2015.
- BeMiller, J.; Whistler, R. **Starch: Chemistry and Technology**. 3a ed. Burlington, MA, USA: Academy press. 2009.
- Bertolini, A. C., Bello-Pérez, L. A., Méndez-Montevalvo, G., Almeida, C. A., & Lajolo, F. Rheological and functional properties of flours from banana pulp and peel. **Starch-Stärke**, v. 62, n. 6, p. 277-284, 2010.
- Bezerra, C. V., Amante, E. R., de Oliveira, D. C., Rodrigues, A. M., & da Silva, L. H. M. Green banana (Musa cavendishii) flour obtained in spouted bed—Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241-249, 2013.

- Bi, Y., Zhang, Y., Jiang, H., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., ... & Li, C. Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 72, p. 219-227, 2017.
- Borges, A. D. M., Pereira, J., & Lucena, E. M. P. D. Green banana flour characterization. **Food Science and Technology**, v. 29, n. 2, p. 333-339, 2009.
- Bourne, M. C. Texture profile analysis. **Food Technol.**, v. 32, p. 62-66, 1978.
- Braga, J. M., & DeFelipo, B. V. (1974). Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, 21(113), 73–85.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 54, de 12 de novembro de 2012**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, nov. 2012. Seção 1, p.3.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003**. Aprova o Regulamento Técnico de Porções de Alimentos Embalados para Fins de Rotulagem Nutricional. 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, dez. 2003.
- Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E. C. B. A., Martelli-Tosi, M., & Ferreira, M. S. L. Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. **Food Research International**, v. 121, p. 412-421, 2019.
- Ditchfield, C. **Estudo do processamento contínuo do purê de banana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- Felisberto, M. H. F., Costa, M. S., Boas, F. V., Leivas, C. L., Franco, C. M. L., de Souza, S. M., ... & Cordeiro, L. M. C. Characterization and technological properties of peach palm (*Bactris gasipaes* var. *gasipaes*) fruit starch. **Food research international**, v. 136, p. 109569, 2020a.
- Felisberto, M. H. F., Beraldo, A. L., Costa, M. S., Boas, F. V., Franco, C. M. L., & Clerici, M. T. P. S. *Bambusa vulgaris* starch: Characterization and technological properties. **Food Research International**, v. 132, p. 109102, 2020b.
- Ferreira, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- Ferreira, M. P., & Tarley, C. R. T. Assessment of in vitro bioaccessibility of macrominerals and trace elements in green banana flour. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 92, p. 103586, 2020.

- Ferreira, G. F., Pessoa, J. G. B., Pinto, L. F. R., Maciel Filho, R., & Fregolente, L. V. Mono- and diglyceride production from microalgae: Challenges and prospects of high-value emulsifiers. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, p. 589-600, 2021.
- Franco, B. D. G. M.; Landgraf, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2008. 182p.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 4, p. 931-942, 2010.
- Garcia-Amezquita, L. E., Tejada-Ortigoza, V., Heredia-Olea, E., Serna-Saldívar, S. O., & Welti-Chanes, J. Differences in the dietary fiber content of fruits and their by-products quantified by conventional and integrated AOAC official methodologies. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 67, p. 77-85, 2018.
- Gemedé, H. F., & Ratta, N. Antinutritional factors in plant foods: Potential health benefits and adverse effects. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 3, n. 4, p. 284-289, 2014.
- Gondim, J. A. M., Moura, M. D. F. V., Dantas, A. S., Medeiros, R. L. S., & Santos, K. M. Centesimal composition and minerals in peels of fruits. **Food Science and Technology**, v. 25, p. 825-827, 2005.
- Goñi, I., & Martín-Carrón, N. Fermentación colónica de fibra dietética y almidón resistente. **Fibra dietética em Iberoamérica: tecnología y salud—obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. Varela, São Paulo, p. 311-338, 2001.
- Guihéneuf, F., Schmid, M., & Stengel, D. B. Lipids and fatty acids in algae: extraction, fractionation into lipid classes, and analysis by gas chromatography coupled with flame ionization detector (GC-FID). In: **Natural products from marine algae**. Humana Press, New York, NY, 2015. p. 173-190.
- Hamed, S. F., & Abo-Elwafa, G. A. Enhancement of oxidation stability of flax seed oil by blending with stable vegetable oils. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 8, n. 10, p. 5039-5048, 2012.
- Haslinda, W. H., Cheng, L. H., Chong, L. C., & Aziah, A. N. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* Colla cv. Awak) flour. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 60, n. sup4, p. 232-239, 2009.

- Ichihara, K. I., & Fukubayashi, Y. Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography [S]. **Journal of lipid research**, v. 51, n. 3, p. 635-640, 2010.
- Jia, H. X., Han, J. H., Li, H. Z., Liang, D., Deng, T. T., & Chang, S. Y. Mineral intake in urban pregnant women from base diet, fortified foods, and food supplements: focus on calcium, iron, and zinc. **Biomedical and Environmental Sciences**, v. 29, n. 12, p. 898-901, 2016.
- Khoozani, A. A., Birch, J., & Bekhit, A. E. D. A. Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 548-559, 2019a.
- Khoozani, A. A., Bekhit, A. E. D. A., & Birch, J. Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. **International journal of biological macromolecules**, v. 130, p. 938-946, 2019b.
- Khoza, M., Kayitesi, E., & Dlamini, B. C. Physicochemical Characteristics, Microstructure and Health Promoting Properties of Green Banana Flour. **Foods**, v. 10, n. 12, p. 2894, 2021.
- Konczak, I., & Roulle, P. Nutritional properties of commercially grown native Australian fruits: Lipophilic antioxidants and minerals. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2339-2344, 2011.
- Kumar, P. S., Saravanan, A., Sheeba, N., & Uma, S. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa spp.*). **LWT**, v. 116, p. 108524, 2019.
- Latta, M., & Eskin, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 1313-1315, 1980.
- Mafra, D., & Cozzolino, S. M. F. The importance of zinc in human nutrition. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 1, p. 79-87, 2004.
- Menezes, E. W., Giuntini, E. B., & Lajolo, F. M. Perfil da ingestão de fibra alimentar e amido resistente pela população brasileira nas últimas três décadas. In: Lajolo FM, Saura-Calixto F, Witting de Penna E, Menezes EW, org. **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, v. 1, p. 165-78, 2001.
- Monteiro, F. V., & do Nascimento, K. D. O. Associação do consumo do amido resistente na prevenção e tratamento do diabetes mellitus tipo 2. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 12-19, 2013.

- Morais, D. R., Rotta, E. M., Sargi, S. C., Schmidt, E. M., Bonafe, E. G., Eberlin, M. N., & Visentainer, J. V. Antioxidant activity, phenolics and UPLC–ESI (–)–MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. **Food Research International**, v. 77, p. 392-399, 2015.
- Mesquita, C. B.; C., Leonel, M., Franco, C. M. L., Leonel, S., Garcia, E. L., & dos Santos, T. P. R. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International journal of biological macromolecules**, v. 89, p. 632-639, 2016.
- Nogueira-de-Almeida, C. A., Ued, F. D. V., Almeida, C. C. J. N. D., Almeida, A. C. F., Del Ciampo, L. A., Ferraz, I. S., ... & Oliveira, A. F. D. Nutritional profile and benefits of avocado oil (*Persea americana*): An integrative review. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- Oyeyinka, B. O., & Afolayan, A. J. Comparative evaluation of the nutritive, mineral, and antinutritive composition of *Musa sinensis* L.(Banana) and *Musa paradisiaca* L.(Plantain) fruit compartments. **Plants**, v. 8, n. 12, p. 598, 2019.
- Paiva, G. D. Impacto do processamento sobre os teores de amidos resistente e lentamente digerível em banana verde. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Viçosa- UFV. Viçosa, MG. 2018.
- Palou, E.; López-Malo, A.; Barbosa-Cánovas, G. V.; Welti-Chanes, J.; Swanson, B. G. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science**, v.64, p.42-45, 1999.
- Passo-Tsamo, C. V., Herent, M. F., Tomekpe, K., Emaga, T. H., Quetin-Leclercq, J., Rogez, H., ... & Andre, C. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). **Food chemistry**, v. 167, p. 197-204, 2015a.
- Patiño-Rodríguez, O., Bello-Pérez, L. A., Flores-Silva, P. C., Sánchez-Rivera, M. M., & Romero-Bastida, C. A. Physicochemical properties and metabolomic profile of gluten-free spaghetti prepared with unripe plantain flours. **LWT**, v. 90, p. 297-302, 2018.
- Pereira, J., Malairaj, S., Brohi, SA, Boateng, EF, & Zhang, W. Impact of unripe banana flour on water states, rheological behaviour and structural properties of myofibrillar protein composite gel. **LWT**, v. 125, p. 109276, 2020.
- Perini, J. Â. D. L., Stevanato, F. B., Sargi, S. C., Visentainer, J. E. L., Dalalio, M. M. D. O., Matshushita, M., ... & Visentainer, J. V. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: metabolism in mammals and immune response. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 6, p. 1075-1086, 2010.

- Price, M. L., Van Scoyoc, S., and Butler, L. G. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 26, p. 1214- 1218, 1978.
- Qamar, S., & Shaikh, A. Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana-A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 79, p. 1-9, 2018.
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., & Vasco, J. Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. **Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial**, v. 11, n. 1, p. 8-18, 2013.
- Ribeiro, D. M. Evolução das propriedades físicas, reológicas e químicas durante o amadurecimento da banana 'Prata-Anã'. **Tese de Doutorado**. 126f. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.
- Santos, J., Silva, G., Santos, J., & Oliveira, A. Processing and evaluation of the stability of the green banana flour. **Exacta, São Paulo**, v. 8, p. 219-224, 2010.
- Salazar, D., Arancibia, M., Lalaleo, D., Rodríguez-Maecker, R., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. Physico-chemical properties and filmogenic aptitude for edible packaging of Ecuadorian discard green banana flours (*Musa acuminata* AAA). **Food Hydrocolloids**, v. 122, p. 107048, 2022.
- Sarruge, J. R., & Haag, H. P. (1974). **Análises químicas em plantas**. Piracicaba.
- Singleton, V. L.; Rossi, J. A. Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158, 1965.
- Souza, E. G. Amadurecimento, climatização e armazenamento refrigerado de frutos de Bananeiras' BRS Platina' e 'Prata-Anã'. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Bahia, 2015.
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Campanella, O. H., Hamaker, B. R., & Welti-Chanes, J. Extrusion effect on In vitro fecal fermentation of fruit peels used as dietary fiber sources. **LWT**, p. 112569, 2021.
- Tester, R. F., & Morrison, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal chem**, v. 67, n. 6, p. 551-557, 1990.
- Tribess, T. B., Hernández-Urbe, J. P., Méndez-Montealvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 5, p. 1022-1025, 2009.

- Yao, L., Gerde, J. A., Lee, S. L., Wang, T., & Harrata, K. A. Microalgae lipid characterization. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 6, p. 1773-1787, 2015.
- Zheng, L., Liu, J., Liu, R., Xing, Y., & Jiang, H. 3D printing performance of gels from wheat starch, flour and whole meal. **Food Chemistry**, v. 356, p. 129546, 2021.

Tables

Table 1: Particle size distribution of the green banana pulp and peel flours.

Sieve size (mm)	Particle size distribution (wt %)	
	GBPF	GBPeF
0.84	0	0
0.42	7.83±0.29 ^b	18.67±0.29 ^a
0.25	8.17±2.18 ^b	25.67±3.17 ^a
0.21	5.83±2.75 ^b	18.33±9.36 ^a
0.177	61.33±4.25 ^a	20.83±0.76 ^b
0.149	1.00±0.00 ^b	4.67±0.29 ^a
0.00	16.50±4.27 ^a	12.33±1.04 ^a

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the rows (GBPF versus GBPeF) do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 2: Changes in color of the green banana pulp and peel flours.

Flours	Parameters				
	L*	a*	b*	WI (%)	BI (%)
GBPF	73.27±1.20 ^a	+4.97±0.56 ^a	+16.77±0.15 ^b	68.06 ^a	30.24 ^b
GBPeF	44.57±0.40 ^b	+5.67±0.39 ^a	+18.53±0.67 ^a	41.28 ^b	61.43 ^a

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour, WI: whiteness index; BI: browning index. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the columns (GBPF versus GBPeF) do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 3: Proximate composition of the green banana pulp and peel flours.

Proximate composition (g/100g)	Flours	
	GBPF	GBPeF
Moisture	6.15 ± 0.15 ^b	7.40 ± 0.13 ^a
Lipids	0.61 ± 0.05 ^b	7.53 ± 0.02 ^a
Proteins	3.33 ± 0.48 ^b	5.80 ± 0.00 ^a
Ash	2.23 ± 0.04 ^b	8.41 ± 0.11 ^a
Total carbohydrates	87.68 ± 0.18 ^a	70.86 ± 0.09 ^b
Dietary fiber		
TDF	8.63 ± 0.62 ^b	39.57 ± 1.23 ^a
SDF	2.39 ± 0.65 ^a	6.24 ± 0.64 ^a
IDF	4.89 ± 0.03 ^b	34.68 ± 0.59 ^a

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour TDF: total dietary fiber; SDS: soluble dietary fiber; IDF: insoluble dietary fiber. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the rows (GBPF versus GBPeF) do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 4: Minerals content of green banana pulp and peel flours.

Minerals content (mg/kg)	Flours	
	GBPF	GBPeF
Potassium	7680.0 ± 209.3 ^b	13063.0 ± 287.8 ^a
Calcium	289.5 ± 6.4 ^b	3888.5 ± 21.9 ^a
Phosphorus	779.5 ± 21.9 ^b	1039.5 ± 44.6 ^a
Magnesium	1170.0 ± 26.2 ^b	2871.0 ± 21.2 ^a
Sulfur	339.0 ± 2.8 ^b	525.0 ± 4.2 ^a
Sodium	36.0 ± 0.5 ^b	38.9 ± 0.5 ^a
Copper	2.8 ± 0.1 ^a	2.4 ± 0.1 ^b
Iron	13.4 ± 0.1 ^b	32.3 ± 1.2 ^a
Zinc	6.8 ± 0.0 ^b	32.7 ± 1.4 ^a
Manganese	23.9 ± 0.5 ^b	126.4 ± 0.7 ^a
Boron	4.0 ± 0.1 ^b	13.7 ± 0.2 ^a

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the rows (GBPF versus GBPEF) do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 5: Water activity, pH and total titratable acidity of green banana pulp and peel flours

Parameters	Flours	
	GBPF	GBPeF
a_w	0.24±0.02 ^b	0.30±0.02 ^a
pH	5.39±0.01 ^a	5.13±0.02 ^b
Total titratable acidity (%)	0.65±0.07 ^b	1.21±0.01 ^a

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour; Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the rows (GBPF versus GBPeF) do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 6: Concentration of total phenolics, condensed tannins and phytic acid of green banana pulp and peel flours.

Analysis	Farinhas	
	GBPF	GBPeF
Total phenolics (mg GAE/g)	3.80±0.002 ^b	7.60±0.004 ^a
Condensed tannins (mg CE/g)	44.70±2.02 ^b	76.00±3.20 ^a
Phytic acid (g/100g)	0.09±0.00 ^a	0.06±0.01 ^b

GAE: gallic acid equivalent; CE: catechin equivalent; *GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the rows (GBPF versus GBPeF) do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 7: Fatty acid composition of green banana pulp and peel flours.

Fatty acid profile	% fatty acid methyl esters (FAMES)	
	GBPF	GBPeF
C14:00 (Myristic acid)	11.96 ± 0.32	2.62 ± 0.24
C16:0 (Palmitic acid)	41.19 ± 1.17	47.81 ± 0.39
C18:0 (Stearic acid)	7.51 ± 0.13	5.68 ± 0.35
C18:1n9c (Oleic acid)	27.98 ± 0.86	16.42 ± 0.15
C18:2n6c (Linoleic acid)	8.84 ± 0.88	13.40 ± 0.53
C18:3n3 (Linolenic acid)	nd	3.77 ± 0.12
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid-EPA)	1.79 ± 0.13	6.09 ± 0.27
C20:4n6 (Arachidonic acid)	nd	3.35 ± 0.19
C24:1n9 (Nervonic acid)	nd	0.33 ± 0.11
Total saturated fatty acid (%)	60.66	56.11
Total monounsaturated fatty acid (%)	27.98	16.75
Total polyunsaturated fatty acid (%)	10.63	26.61

nd: not detected.

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour

Table 8: Pasting properties and gel strenght of the green banana pulp and peel flours, and their mixture.

Flours	Parameters							
	Pasting temperature (°C)	Visc _{max.} (cP)	Visc _{min.} (cP)	Breakdown (cP)	Visc _{final} (cP)	Setback (cP)	Pasting time (min.)	Gel strenght (N)
GBPF	69.92±0.38 _a	5971.00±25.12 ^a	2278.00±32.08 ^a	3693.00±43.97 ^a	3803.00±22.54 _c	1525.00±54.06 ^b	7.04±0.10 ^b	7.21±0.51 _a
M1	69.92±0.01 _a	5936.33±257.93 _a	2661.00±27.71 ^a	3275.33±230.27 _b	4239.33±90.59 _b	1578.33±72.54 ^{ab}	7.34±0.12 ^b	5.34±0.20 _b
M2	69.65±0.01 _a	6006.33±26.16 ^a	2667.00±83.16 ^a	3339.33±68.53 ^{ab}	4395.00±32.00 _a	1728.00±53.70 ^{ab}	7.82±0.10 ^b	5.78±0.39 _b
GBPeF	70.05±0.22 _a	1851.67±158.70 _b	1631.67±305.21 _b	220.00±148.54 ^c	3579.33±57.19 _d	1947.67±294.75 _a	10.89±1.14 _a	1.62±0.01 _c

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour; M1: green banana mixed pulp (90%) and peel (10%) flour; M2: green banana mixed pulp (80%) and peel (20%) flour. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the columns do not differ at 5% probability by the Tukey test.

Table 9: Water absorption (WAI) and water solubility (WSI) of the green banana pulp and peel flours

Flours	Parameters (g/g dry matter)	
	WAI	WSI
GBPF	2.06±0.01 ^b	6.97±0.22 ^b
GBPeF	4.18±0.17 ^a	11.90±0.45 ^a

WAI: water absorption index; WSI: water solubility index; GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the columns do not differ at 5% probability by the Student's t test.

Table 10: *In vitro* starch digestibility of the green banana pulp and peel flours

Flours	(g/100g) (dry basis)			
	TS	RS	SDS	RDS
GBPF	69.54±0.75 ^a	44.11±0.66 ^a	2.37±0.09 ^a	2.33±0.04 ^a
GBPeF	24.04±0.00 ^b	17.89±0.40 ^b	0.91±0.09 ^b	1.09±0.05 ^b

GBPF: green banana pulp flour; GBPeF: green banana peel flour; TS: total starch; RS: resistant starch; SDS: slowly digestible starch; RDS: rapidly digestible starch. Results were expressed as means ± standard deviation. Means followed by the same letter in the columns do not differ at 5% probability by the Student's t test.

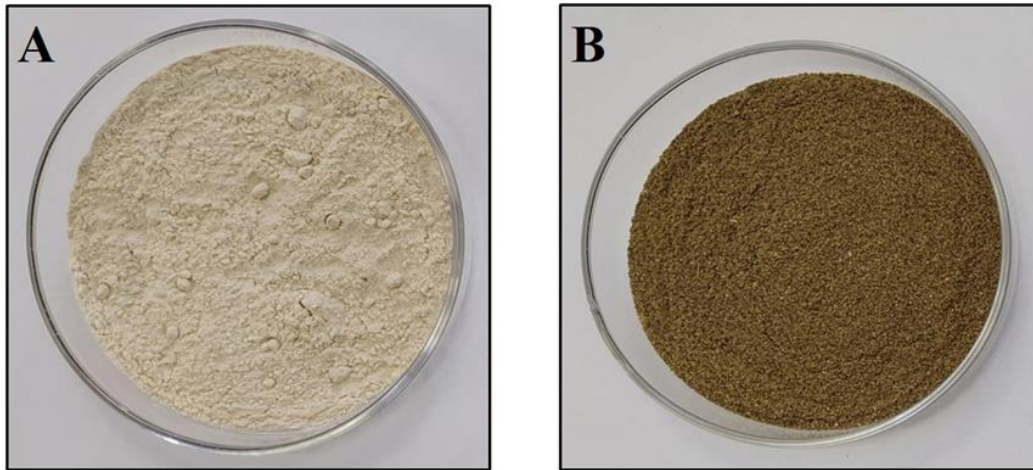
Figures

Fig. 1: Green banana flours- A: green banana pulp flour (GBPF); B: green banana peel flour (GBPeF) pre-treated with citric acid 0.5% (w/v).

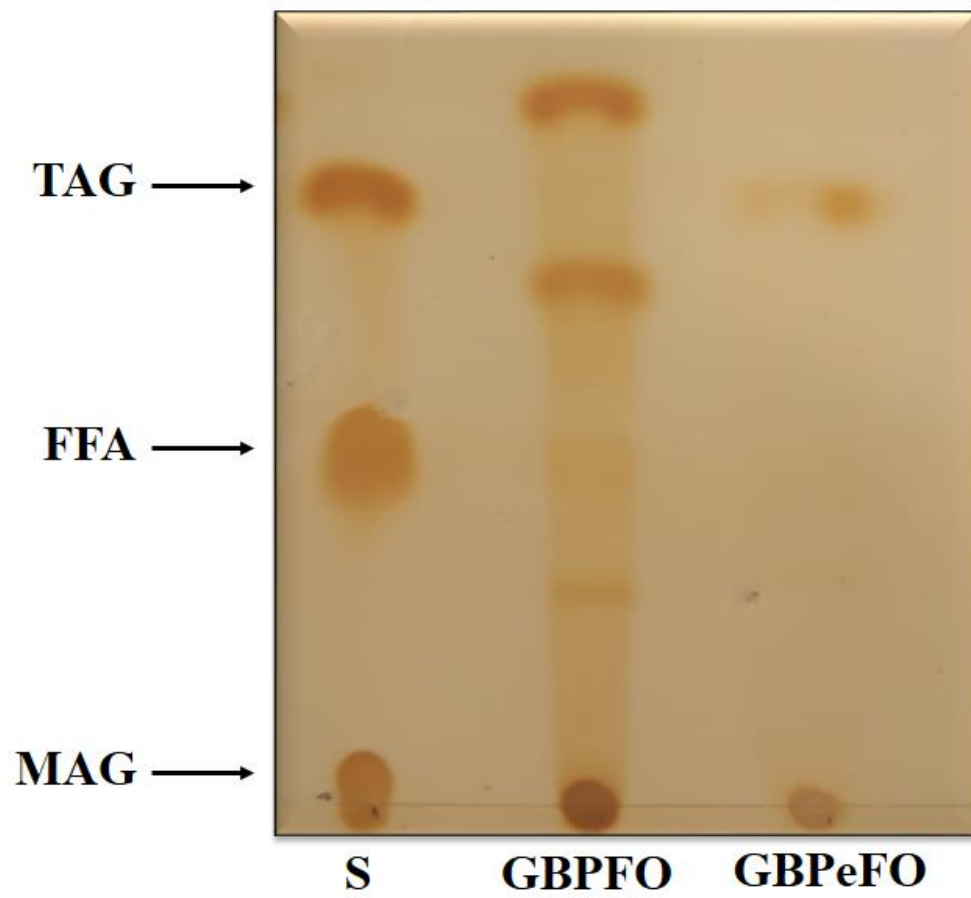


Fig. 2: Thin-layer chromatography of the oils extracted from the green banana pulp and peel flours. S: standard; TAG: triacylglycerols; FFA: free fatty acids; MAG: monacylglycerols; GBPFO: oil from the green banana pulp flour; GBPeFO: oil from the green banana peel flour.

– CAPÍTULO 3 –

Efeito do consumo da farinha mista da casca e polpa de banana verde no perfil de lipídios, glicemia e saúde intestinal

Este capítulo apresenta a avaliação do efeito do consumo de farinhas de polpa e/ou mistas de polpa e de casca de banana prata verde no perfil lipídico, glicemia e saúde intestinal de ratos *Wistar*.

3. EFEITO DO CONSUMO DE FARINHAS DE POLPA E/OU MISTAS DE POLPA E DE CASCA DE BANANA VERDE NO PERFIL DE LIPÍDIOS, GLICEMIA E SAÚDE INTESTINAL

1. MATERIAIS E MÉTODOS

1.1 Experimento *in vivo*

Trinta e dois ratos machos (*Rattus norvegicus*, *Wistar*, variedade *albinus*) do Biotério Central de Ciências Biológicas e da Saúde (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG), recém-desmamados, com 21 dias de idade, foram randomizados pelo peso corporal e sistematicamente subdivididos em 4 grupos com 8 animais cada. Os animais foram distribuídos em gaiolas individuais de aço inoxidável em um ambiente de temperatura (22°C) e ciclos claros e escuros de 12h, controlados automaticamente. Os animais receberam água deionizada e suas respectivas dietas experimentais *ad libitum*.

Os grupos experimentais receberam, cada um, uma das seguintes dietas: dieta padrão (DP); mistura 1 (M1): tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca de banana verde; mistura 2 (M2): tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca de banana verde; ou farinha da polpa (P): tratamento com 100% de farinha de polpa de banana verde. Com o intuito de evitar erros de aferição de dados e conseqüentemente tendências indesejáveis, todo o experimento *in vivo* foi realizado de maneira cega pelo avaliador, ou seja, os envolvidos na pesquisa não conheceram em que grupo, controle e experimental foi realizada a intervenção.

No 28º dia, após 12 h de jejum, os animais foram anestesiados com isoflurano (Isoforine, Cristália®) e o sangue foi coletado por punção cardíaca em tubos secos. O sangue foi centrifugado a 2865 g por 10 minutos (Fanem-204, São Paulo, Brasil) e o soro foi armazenado a -80°C. As fezes e o tecido intestinal foram coletados e armazenados a -80°C. O ganho de peso corporal e o consumo alimentar foram monitorados semanalmente durante o período experimental para determinar o coeficiente de eficiência alimentar (CEA) (Silva et al., 2016).

O índice cecal foi calculado como uma relação entre o peso do ceco e o peso corporal total, respectivamente, multiplicado por 100 (Kim, Hong, Jeon e Kim, 2016). Todos os procedimentos experimentais com animais foram realizados de acordo com a Portaria 86/609/CEE de 24 de novembro de 1986, em conformidade com os princípios éticos para a experimentação animal. Essa pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Viçosa (CEUA/UFV) (Protocolo 21/2021) (Anexo1).

1.2 Dietas experimentais

As dietas experimentais foram baseadas na dieta padrão AIN-93G (Reeves et al., 1993) com modificação para fornecer farinhas de polpa e/ou as misturas de polpa e de casca de banana verde, na proporção de 90:10 e 80:20 (polpa:casca) como fonte de 100% da fibra recomendada para roedores. Levando em consideração a composição química das respectivas farinhas a oferta dos demais ingredientes foram adicionados em quantidades suficientes para oferecer proporções adequadas de lipídios, proteínas, fibra alimentar e carboidratos totais.

Todos os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica (Gehaka, BG2000, Brasil), misturados manualmente em recipientes plásticos previamente lavados e enxaguados; por conseguinte peneirados em peneira plástica e homogeneizados em misturador industrial (Leme) por 15 minutos. Após o pré-preparo, as dietas foram acondicionadas em embalagens de polietileno, devidamente rotulados e armazenados em freezer ($-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$).

Tabela 1. Composição das dietas experimentais (g/kg de dieta).

Ingredientes	Dietas experimentais			
	DP	M1	M2	P
Mistura 1 (g)	-	426,5	-	-
Mistura 2 (g)	-	-	337,40	-
Polpa (g)	-	-	-	579,40
Caseína (g)	161,60	142,70	145,60	137,70
Amido dextrinizado (g)	132,00	132,00	132,00	65,90
Sacarose (g)	100,00	100,00	100,00	100,00
Óleo de soja (mL)	70,00	64,40	63,30	66,50
Celulose microcristalina (g)	50,00	-	-	-
Mix de minerais (g)	35,00	35,00	35,00	35,00
Mix de vitaminas (g)	10,00	10,00	10,00	10,00
L-cistina (g)	3,00	3,00	3,00	3,00
Bitartarato de colina (g)	2,50	2,50	2,50	2,50
Amido de milho (g)	435,90	83,90	171,20	0,00
Composição nutricional				
Calorias totais (Kcal)	3.948,00 ^a	3.992,80 ^a	4.014,99 ^a	3.053,91 ^a

Densidade calórica (Kcal/g)	4,15 ^a	4,19 ^a	4,21 ^a	4,15 ^a
--------------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

*Pureza de 82%. DP: dieta padrão; Mistura 1 (M1): tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca de banana verde; Mistura 2 (M2): tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca de banana verde; Polpa (P): tratamento com 100% de farinha de polpa de banana verde. Letras diferentes na mesma linha indicam uma diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Newman-Keulls.

1.3 Análises bioquímicas

Para a determinação dos parâmetros bioquímicos, utilizou-se 0,5 mL de soro. Concentrações de glicose sérica, colesterol total, colesterol de lipoproteína de alta densidade (HDL), colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL), lipoproteína de densidade muito baixa (VLDL), triglicerídeos (TGL), ácido úrico, os níveis de aminotransferase aspartate (AST) e alanina aminotransferase (ALT) foram avaliados por calorimetria, utilizando kits comerciais (Bioclin), no Laboratório de Análises Clínicas da Divisão de Saúde da UFV, Viçosa, MG, Brasil.

1.4 Análise histomorfométrica do céco

Fragmentos histológicos do céco semi-seriados de 3 μm de espessura foram obtidos em micrótomo rotativo automatizado (Reichert-Jung®, Genossen, Alemanha), sendo submetidos à coloração com hemaossilina-eosina de Harris para posterior análise (Silva et al., 2016). As lâminas histológicas foram analisadas em microscópio de luz Olympus CX40 e as imagens digitais foram capturadas por meio de fotomicroscópio AX70 TRF. Foram selecionados vinte campos aleatórios por animal para medir a profundidade e espessura de criptas, espessura das camadas musculares circulares e longitudinais e quantificar as células caliciformes. Apenas criptas com epitélio conectivo definido e visível foram utilizadas. As imagens foram processadas usando o software ImagePro-Plus®, versão® 4.5 (Media Cybernetics, Rockville USA).

1.5 pH e umidade das fezes dos animais

Para análise de pH fecal, cerca de 0,5 g de fezes do céco foram homogeneizadas em 5 mL de água destilada (1:10, g:ml), com o auxílio de um vórtex (Kasvi®). Posteriormente, as medições do pH foram realizadas em duplicata por meio de um pHmetro (Grancieri et al., 2017).

A umidade das fezes foi determinada pela técnica gravimétrica com emprego de uma estufa com circulação de ar forçado a 105°C/24 horas (Nova Ética®, 400/6ND, Brasil), segundo metodologia proposta pela AOAC (2018).

1.6 Análise biomolecular

1.6.1 Extração de mRNA do tecido intestinal e síntese de cDNA

O tecido intestinal foi macerado manualmente em nitrogênio líquido sob condições livres de RNAs e alíquotas das amostras foram retiradas para extração total de RNA. O RNA total foi extraído com o reagente TRIzol (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA). O mRNA extraído foi usado para sintetizar o cDNA com o kit de transcrição reversa M-MLV (Invitrogen Corp., Grand Island, NY) (Livak & Schmittgen, 2001).

1.6.2 Determinação da expressão genética de proteínas envolvidas na saúde intestinal por reação quantitativa em cadeia de transcriptase reversa (RT-qPCR)

Os níveis de expressão de mRNA no tecido intestinal de genes que estão envolvidos na saúde intestinal foram analisados por RT-qPCR. O mix mestre SYBR Green PCR da Applied Biosystems (Foster City, CA) foi empregado, e as análises foram realizadas no StepOne™ Sistema PCR em Tempo Real (Thermo Fisher Scientific) por meio do sistema de medição envolvendo o software SYBR-Green Fluorescence e Primer Express (Applied Biosystems, Foster City, CA). Foram utilizados sequências de primer sense e anti-senso (Biotecnologias Choma) para amplificar amino peptidase (AP) (ID: 301368687), sucrase isomaltase (SI) (ID: 301368688), transportador de peptídeos 1 (PepT-1) (ID: 301368693), proteína de transporte de sódio-glicose (SGLT-1) (ID: 301368686). Os níveis relativos de expressão do mRNA foram normalizados com o controle endógeno (beta-actina; Tabela 2). Todas as etapas foram realizadas em condições livres de RNase.

Tabela 2: Sequenciamento de *primers* usados na análise RT-qPCR.

Genes	Oligonucleotídeo (5'-3')	
	Senso	Anti-senso
Beta-actina	TTCGTTGCCGGTCCACACCC	GCTTTGCACATGCCGGAGCC
AP	CTCTCTCCTCAAACCCACATGAA	AGTTCAGGGCCTTCTCATATTC
SI	CCTCCAGAACACAATCCCTATAC	GGAGAGGTGAGATGGGATTAGA
PepT-1	CCTGGTCGTCTGCATCATATT	TTCTTCTCATCCCTCATCGAACTG
SGLT-1	CATCCAGTCCATCACCAGTTAC	CAATCAGGAAGCCGAGAATCA

AP: amino peptidase; SGLT-1: proteína de transporte de sódio-glicose 1; SI: sucrase isomaltase; PepT-1: transportador de peptídeos 1.

1.7 Análise estatística

Os tratamentos foram realizados em um desenho completamente randomizado, com oito réplicas. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para determinar a significância do "valor F", o teste de Newman-Keulls foi utilizado para comparar as médias entre os grupos. A dispersão principal foi expressa como desvio padrão. As análises estatísticas foram realizadas no software GraphPad Prism, versão 8.0. Os dados com valor $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

2. RESULTADOS

2.1 Ganho de peso, adiposidade, consumo alimentar, coeficiente de eficiência alimentar (CEA) e consumo total de amido resistente, fibras solúveis e insolúveis

A partir da Tabela 3, observou-se que não houve diferença estatística ($p < 0,05$) para o consumo alimentar entre os grupos experimentais. Entretanto, o ganho de peso, assim como o coeficiente de eficiência alimentar (CEA) dos grupos que receberam em sua dieta as farinhas de polpa e de casca de banana verde (M1, M2 e P) foram menores ($p < 0,05$) do que o grupo controle (DP). Além disso, os animais do grupo DP (4,27%) apresentaram maior adiposidade quando comparado aos animais dos grupos M1, M2 e P (2,45, 2,90 e 1,39%, respectivamente). O consumo total de amido resistente, bem como o consumo de AR/massa corporal foi maior no grupo P em relação aos grupos M1 e M2. Ademais, observou-se um aumento do consumo total de fibra insolúvel para o grupo DP, quando comparado com os grupos que receberam a adição das farinhas de polpa e/ou mistas de banana verde. Em relação a fibra sóluvel, o grupo P (1,67g) apresentou maior consumo total quando comparado com os demais grupos, M1 e M2 (1,38 e 1,17g).

Tabela 3: Ganho de peso, adiposidade, consumo alimentar, coeficiente de eficiência alimentar (CEA) e consumo de amido resistente dos animais por 28 dias.

Grupos	DP	M1	M2	P
Ganho de peso (g)	168,57±9,59 ^a	153,84±10,24 ^b	154,02±7,62 ^b	146,95±6,37 ^b
Adiposidade (%)	4,27±0,77 ^a	2,45±0,41 ^b	2,90±0,39 ^b	1,39±0,21 ^c
Cons. alimentar (g/semana)	118,93±7,50 ^a	122,18±6,35 ^a	120,19±8,04 ^a	120,67±7,70 ^a
Consumo total de AR (g/dia)	-	3,11±0,16 ^b	2,26±0,15 ^c	4,43±0,28 ^a
Consumo total (g)				
Fibra sóluvel	-	1,38±0,07 ^b	1,17±0,08 ^c	1,67±0,11 ^a
Fibra insólúvel	5,95±0,37 ^a	4,73±0,25 ^b	4,84±0,32 ^b	4,36±0,28 ^c

Cons. de -		0,57±0,03 ^b	0,41±0,02 ^c	0,85±0,05 ^a
AR/massa corporal				
CEA	35,47±1,38 ^a	31,48±1,44 ^{bc}	32,62±1,31 ^b	30,32±1,77 ^c

Os dados são expressos como valores médios \pm desvio padrão, n = 8/grupo. DP: dieta padrão; Mistura 1 (M1): tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca de banana verde; Mistura 2 (M2): tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca de banana verde; Polpa (P): tratamento com 100% de farinha de polpa de banana verde. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Newman-Keuls a 5% de probabilidade.

2.2 Peso do ceco, índice cecal, pH, umidade e características histomorfométricas do ceco dos animais

Em relação ao grupo DP, os animais do grupo M1, M2 e P apresentaram maior ($p < 0,05$) peso de ceco e índice cecal, sobretudo os grupos M1 e P, que continham em suas dietas maiores proporções de farinha de polpa (Tabela 4). O aumento do peso do conteúdo cecal dos animais alimentados com farinha de banana verde vai de encontro aos resultados referentes a umidade das fezes, a qual foi, em média, superior nos animais dos grupos M1, M2 e P (52,98, 57,11 e 67,93%, respectivamente) quando comparado ao grupo DP (34,80%) ($p < 0,05$). Além disso, pode-se notar que os animais que receberam em sua dieta as farinhas de polpa e de cascas de banana verde tiveram um pH fecal inferior ($p < 0,05$) aos animais do grupo controle.

Com relação as características histomorfométricas do ceco dos animais, observa-se uma variação significativa entre os grupos experimentais, sendo que tanto a profundidade quanto a espessura das criptas foram maiores ($p < 0,05$) nos grupos que receberam as farinhas de polpa e/ou mistas de banana verde. Além disso, não foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os grupos experimentais para as camadas musculares circulares e longitudinais e o número de células por cripta.

Tabela 4: Peso do ceco, índice cecal, pH, umidade e características histomorfométricas do ceco dos animais.

Grupos	DP	M1	M2	P
Peso do ceco (g)	3,90±0,39 ^c	15,09±2,10 ^a	10,27±2,97 ^b	17,19±3,85 ^a
Índice cecal (%)	2,33±0,29 ^c	10,16±1,11 ^a	6,55±1,67 ^b	13,30±2,64 ^a
Umidade (%)	34,80±7,31 ^c	52,98±4,95 ^b	57,11±4,33 ^b	67,93±9,80 ^a

pH	8,32±0,38 ^a	6,80±0,68 ^b	6,29±0,78 ^b	5,17±0,34 ^c
Profundidade da cripta (µm)	130,50±15,30 ^b	166,10±22,13 ^a	176,50±14,77 ^a	192,80±29,54 ^a
Espessura da cripta (µm)	37,98±2,12 ^b	38,50±3,70 ^b	38,59±2,07 ^b	46,52±8,99 ^a
n ^o células caliciformes	19,82±2,70 ^a	19,39±2,56 ^a	21,82±2,98 ^a	21,28±3,00 ^a
CMC (µm)	58,67±11,86 ^a	73,29±6,62 ^a	69,66±13,57 ^a	69,44±5,51 ^a
CML (µm)	28,50±4,52 ^a	30,88±3,03 ^a	30,27±2,71 ^a	29,41±6,81 ^a

*CML: camada muscular circular; CML: camada muscular longitudinal. Os dados são expressos como valores médios ± desvio padrão, n = 8/grupo. Os dados são expressos como valores médios ± desvio padrão, n = 8/grupo. DP: dieta padrão; Mistura 1 (M1): tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca de banana verde; Mistura 2 (M2): tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca de banana verde; Polpa (P): tratamento com 100% de farinha de polpa de banana verde. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Newman-Keuls a 5% de probabilidade.

2.3 Análises bioquímicas

Os resultados mostraram que os grupos alimentados com dietas acrescidas de farinhas de polpa e de casca de banana verde tiveram os níveis de colesterol total, HDL-c (com exceção do grupo M2), LDL-c, VLDL-c e triglicérides reduzidos em relação ao grupo controle ($p < 0,05$) (Fig.1 A, B, C, D e E). Além disso, a farinha de polpa e de casca de banana verde reduziu ($p < 0,05$) os níveis de glicose (Fig. 1F) no sangue dos animais. Com exceção do grupo M2, a glicemia do grupo M1 e P foi menor ($p < 0,05$) do que do grupo controle (DP). As enzimas AST e ALT e os níveis de ácido úrico, que refletem os aspectos da função hepática, não diferiram ($p < 0,05$) entre os grupos experimentais (Fig. 1 G, H e I).

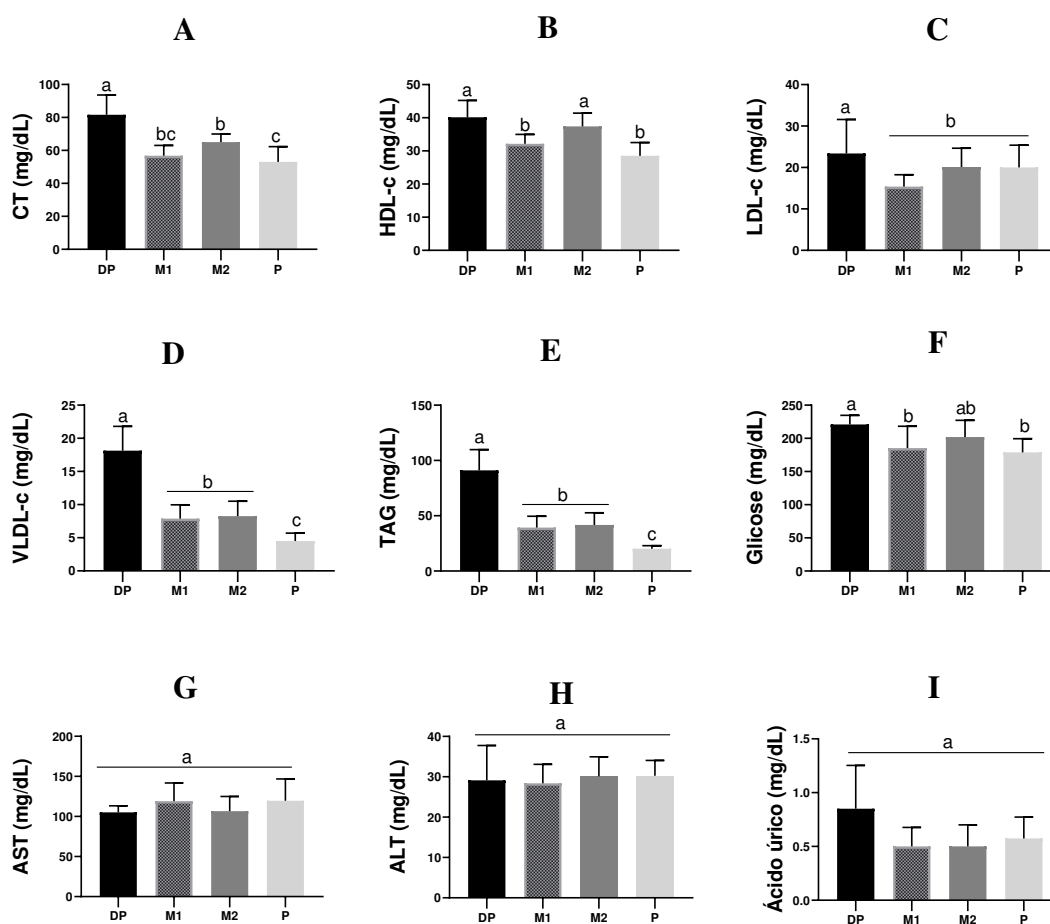


Figura 1. Efeitos do consumo de farinhas mistas e de polpa de banana verde por 28 dias em variáveis bioquímicas de ratos *Wistar* ($n = 8$). DP: dieta padrão; Mistura 1 (M1): tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca de banana verde; Mistura 2 (M2): tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca de banana verde; Polpa (P): tratamento com 100% de farinha de polpa de banana verde. CT: colesterol total; HDL-c: lipoproteína de alta densidade; LDL-c: lipoproteína de baixa densidade; VLDL-c: lipoproteína de densidade muito baixa; TAG: triglicerídeos; AST: alanina aminotransferase; ALT: aspartate aminotransferase.

2.4 Determinação da expressão genética de proteínas envolvidas na saúde intestinal por reação quantitativa em cadeia de transcriptase reversa (RT-QPCR)

A administração de farinhas de casca e de polpa de banana verde (grupos M1 e P) aumentou ($p < 0,05$) a expressão gênica da SI (sucrase isomaltase) e da SGLT-1 (proteína transportadora de sódio-glicose 1) em comparação com o grupo controle. Além disso, a expressão do gene AP (aminopeptidase) foi maior ($p < 0,05$) no grupo M2, enquanto os níveis mais baixos foram expressos nos animais dos grupos M1, P e DP. Ademais, a expressão da proteína transportadora de peptídeos 1 (PepT-1), foi regulada positivamente ($p < 0,05$) na presença da farinha de casca e de polpa de banana verde. Os grupos experimentais M1, M2 e P

apresentaram níveis mais altos de PepT-1 quando comparado com o grupo DP (Fig. 2D). Em geral, com exceção do gene AP, a expressão gênica de SI, SGLT-1 e PepT-1 foi maior ($p < 0,05$) no grupo M1.

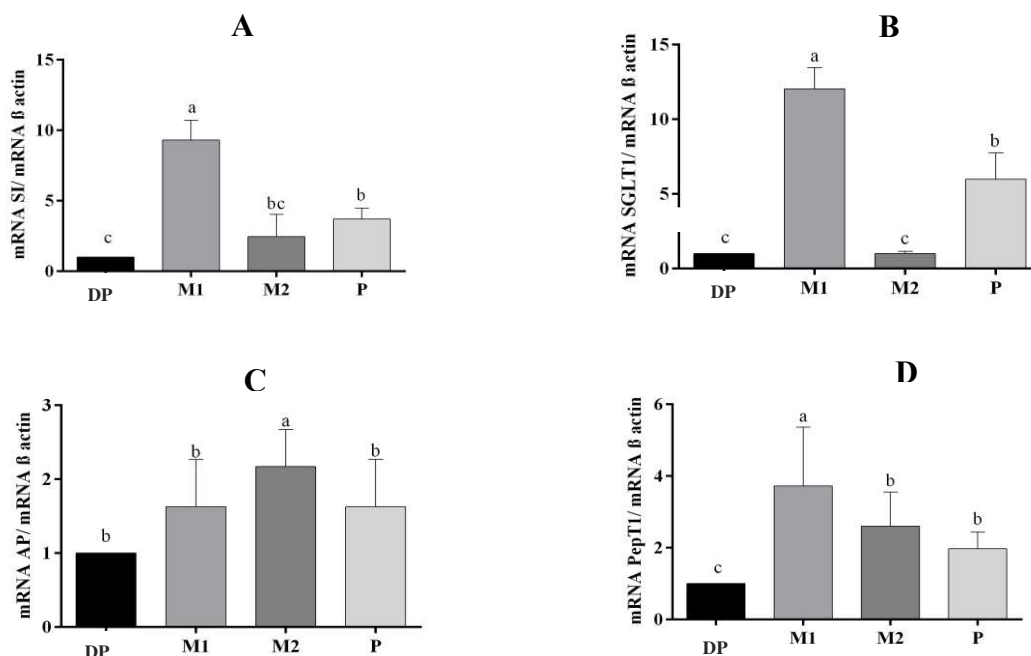


Figura 2: Efeitos do consumo da farinha de casca e polpa de banana por 28 dias na expressão gênica proteica relacionada à saúde intestinal em ratos *Wistar* ($n = 8$). DP: dieta padrão; M1: mistura 1 (tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca); M2: mistura 2 (tratamento com 80% de farinha de polpa e 20% de farinha de casca) e P: polpa (tratamento com 100% de farinha de polpa).

3. DISCUSSÃO

A farinha de banana verde tem despertado grande interesse por parte da indústria e da pesquisa, e parte disto se deve ao alto conteúdo de amido resistente, um polissacarídeo não digerível que vem sendo associado a diversos benefícios a saúde intestinal do hospedeiro. No entanto, os efeitos potenciais do consumo de farinhas de polpa e/ou mistas (polpa e de casca) de banana prata verde sobre o perfil lipídico, glicemia e saúde intestinal ainda não foram investigados.

A redução do ganho de peso corporal e do coeficiente de eficiência alimentar (CEA) observado nos animais que receberam em sua dieta as farinhas de polpa e/ou mistas de banana verde pode ser atribuído à maior saciedade durante o período experimental, conforme encontrado em outros estudos (Dan et al., 2015; Oliveira et al., 2020). Além disso, a adiposidade corporal foi menor nos grupos M1, M2 e P em comparação com o grupo controle. A redução deste parâmetro pode estar associada à maior ingestão de fibra alimentar da farinha de polpa e de casca de banana verde em relação à dieta controle. Esses resultados foram

consistentes com o estudo relatado por Oliveira et al. (2020), que observaram que a intervenção alimentar contendo biomassa/farinha de banana verde promoveram no geral, menor ganho de peso e conseqüentemente, menor acúmulo de tecido adiposo.

O maior consumo de amido resistente (AR) por parte do grupo com 100% de farinha de polpa (4,43g/dia) em relação aos grupos M1 e M2 (3,11 e 2,11g/dia, respectivamente), se deve ao reajuste de fibra alimentar na dieta. Apesar dos vários benefícios fisiológicos associados ao consumo de AR, ainda, não há, até o momento, uma resolução que especifica a recomendação de consumo diário desse composto alimentar. Alguns estudos mencionam que seu consumo atual é de cerca de 3 g/pessoa/dia, sendo que essa quantidade tem variado de acordo com o continente. Na Europa e América Latina a média do consumo de amido resistente está em torno de 3 e 6 g/pessoa/dia (Monteiro et al., 2013; Menezes et al., 2001), enquanto na Ásia estima-se um consumo de 8 a 19 g de AR/dia (Goñi & Martín-Carrón, 2001).

O estudo atual indicou que a administração das farinhas de polpa e/ou mistas (polpa e casca de banana verde) na dieta dos animais promoveu maior peso do ceco e do índice cecal, e isto se deve provavelmente ao aumento da percentagem de amido resistente nas respectivas dietas que tiveram a adição das farinhas a base de banana verde. Como um componente prebiótico, o amido resistente, no cólon, é utilizado como substrato para as bactérias da microbiota intestinal, sendo os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC's) os produtos finais dessa fermentação. Em geral, os AGCC's produzidos na fermentação, estimulam o crescimento das células mucosas (Dias et al., 2019), o que pode explicar, no presente trabalho, o maior peso do ceco e índice cecal dos animais do grupo M1, M2 e P em comparação aos animais do grupo DP.

Ademais, o aumento da umidade das fezes dos animais que consumiram as respectivas farinhas de banana verde se deve provavelmente, a composição da fibra alimentar presente em cada dieta, que tem a capacidade em proporcionar maior retenção de água no intestino grosso e conseqüentemente o aumento do peso úmido das fezes (Bernaud et al., 2013). No presente estudo, o maior consumo de fibra solúveis se deu por parte do grupos que receberam a farinha de polpa/ou mistas de banana verde, enquanto que os animais do grupo controle, consumiram em sua maioria, fibras insolúveis. Dan et al. (2015) avaliaram o efeito da biomassa (BBV) e do amido isolado de banana verde (ABV) no organismo de ratos saudáveis, encontrando maior umidade nas fezes dos grupos que receberam a BBV (40,38%) e o ABV (40,13%) em relação ao grupo controle (32,84%).

Os animais alimentados com uma dieta acrescida de farinha de polpa e de casca de banana verde tiveram um pH fecal inferior ao grupo controle. Isso sugere que a intensidade

fermentativa propiciada a partir da quantidade substancial de amido resistente adicionada às dietas, resultou num aumento da concentração de ácidos graxos de cadeia curta que contribuiu para maior acidez cecal. Resultados similares foram observados no trabalho de Dan et al. (2015), que observaram uma redução significativa do pH do ceco de animais que receberam em suas dietas a biomassa de banana verde (BBV) e o amido isolado de banana verde (ABV) (5,9 e 6,4, respectivamente) quando comparado com o grupo controle (7,0).

A partir das características histomorfométricas do ceco dos animais, foi possível inferir que as dietas que receberam as farinhas de banana verde foram capazes de aumentar a profundidade e espessura das criptas, e esse efeito está relacionado com o aumento da proliferação de células intestinais, que por sua vez melhoram a funcionalidade intestinal, mas especificamente a capacidade digestiva e absorptiva de nutrientes por parte da membrana da borda em escova. As características da matriz alimentar utilizada nas respectivas dietas, sobretudo o alto conteúdo de amido resistente pode ter contribuído com o aumento destes parâmetros.

Os grupos que receberam as farinhas de polpa e/ou mistas apresentaram um número de células caliciformes maior, embora não significativo, em comparação ao grupo controle. Em geral, essas células são produtoras e secretoras de muco e estão diretamente relacionadas com o bom estado de funcionamento da microbiota intestinal. A espessura das camadas musculares (circulares e longitudinais), não diferiram entre os grupos experimentais, provavelmente, devido ao curto prazo de experimentação e administração das dietas, impedindo portanto, que houvesse variação destes parâmetros nos respectivos grupos experimentais.

A adição de farinhas da polpa e/ou mistas alterou positivamente o perfil lipídico dos animais e isto pode ser atribuído aos altos conteúdos de fibra alimentar e outros compostos bioativos presente nas respectivas farinhas (Anderson et al., 2009). Como a única variável na dieta foi o nível de AR, pode-se inferir que o aumento na percentagem de amido resistente levou à diminuição nos níveis de colesterol total plasmático, VLDL e triglicerídeos. Da mesma forma, Sun et al. (2018) relata que quando a dose de AR foi aumentada, os lipídeos hepáticos diminuíram significativamente, indicando efeitos hipolipidêmicos. Angelis-Pereira et al. (2013) avaliaram o efeito simbiótico do consumo de *kefir* e farinhas de polpa e de casca de banana verde sobre o perfil lipídico de ratos alimentados com uma dieta rica em gordura. Apesar do alto teor de fibras, a adição de farinhas de polpa (em 7%) e de casca de banana (em 1%) não alterou os níveis plasmáticos de colesterol total, HDL-c e LDL-c dos animais alimentados apenas com dieta rica em gordura. No entanto, os grupos que receberam os produtos da banana verde reduziram os níveis de triglicerídeos em 22% em relação ao grupo controle.

Em relação a concentração de glicose, observou-se uma redução dos níveis glicêmicos dos grupos que tiveram as farinhas de polpa e de casca de banana verde adicionadas em suas dietas, possivelmente, devido à presença maior da fração de fibra solúvel das farinhas de polpa e/ou mistas em relação à dieta controle, que recebeu apenas celulose. No estudo atual, foi demonstrado que o aumento na porcentagem de farinha de polpa de banana verde levou a maior proporção de AR nas respectivas dietas. O AR, por ser considerado um tipo de fibra solúvel que aumenta a viscosidade do lúmen intestinal, leva a redução na velocidade de ação das enzimas digestivas, resultando portanto, em um baixo índice de degradação e absorção de macronutrientes, como a glicose (Weickert & Pfeiffer, 2008). Resultados semelhantes a este estudo foram observados por Oliveira et al. (2020), que observaram uma redução significativa da glicemia após intervenção com a dieta de cafeteria adicionada de farinha de banana verde.

Apesar do alto teor de fibra alimentares, a adição de farinhas de polpa (em 100%) e de suas respectivas misturas (em 90:10 e 80:20 de polpa:casca) não alterou os níveis das enzimas AST e ALT e de ácido úrico entre os grupos experimentais, indicando portanto, que estas quantidades de farinhas podem ser adicionadas na dieta sem oferecer possíveis riscos as funções hepáticas e renais.

Ademais, as farinhas de polpa e/ou mistas afetaram positivamente a saúde intestinal dos animais dos grupos M1, M2 e P, promovendo um aumento na expressão de proteínas funcionais envolvidas na digestão e absorção de nutrientes, além da melhora na morfologia intestinal, como demonstrado através do aumento da profundidade e espessura das criptas. O aumento da expressão gênica da SI (isomaltose de sacarose), principal dissacaridase localizada na membrana da borda em escova que hidrolisa dissacarídeos ou oligossacarídeos em monossacarídeos para absorção; e da SGLT-1 (responsável pela absorção de glicose e liberação do hormônio incretina no trato gastrointestinal) (Oguma et al., 2015) nos grupos M1 e P em comparação com o grupo controle, pode estar associado ao aumento do consumo de amido resistente por parte dos animais. Além disso, os grupos que receberam as farinhas de polpa e/ou mistas de banana verde apresentaram um aumento ($p < 0,05$) na expressão da proteína transportadora de peptídeos 1 (PepT-1) e da aminopeptidase (AP), uma exopeptidase que cliva aminoácidos do terminal N de peptídeos (Hou et al., 2017).

O aumento significativo na expressão destes genes está correlacionado com a redução do pH intestinal, além do aumento dos parâmetros morfométricos (profundidade e espessura das criptas) e do peso do ceco como foi observado nos grupos M1, M2 e P. Com exceção do gene AP, a expressão gênica de SI, SGLT-1 e PepT-1 foi maior ($p < 0,05$) no grupo M1 (tratamento com 90% de farinha de polpa e 10% de farinha de casca) provavelmente devido ao

aumento da porcentagem de amido resistente na dieta. A administração das farinhas de polpa e/ou mistas (isto é, polpa e casca de banana verde) demonstrou um efeito benéfico com relação a regulação positiva dos genes funcionais da membrana da borda em escova, sugerindo portanto, uma melhora significativa da funcionalidade intestinal e da capacidade digestiva e absorptiva de nutrientes (Hou et al., 2017; Martino et al., 2020; Pacifici et al., 2017).

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados acima, observa-se que as farinhas de polpa e/ou mistas de polpa e casca de banana verde atuaram positivamente no controle do ganho de peso corporal e no acúmulo de tecido adiposo. Além disso, ao se observar as variáveis bioquímicas, nota-se que o consumo das farinhas a base de banana verde reduziram os níveis de lipídios e glicose no sangue, sem alterar marcadores de função renal e hepática.

As consideráveis concentrações de amido resistente presente nas farinhas de polpa e/ou mistas de banana verde promoveram uma melhora na saúde e funcionalidade intestinal dos animais, promovendo, um aumento da umidade das fezes e do peso do ceco, redução do pH intestinal, além de melhorar os parâmetros morfométricos (profundidade e espessura das criptas) e aumentar a expressão de genes proteicos envolvidos com a saúde do intestino.

Apesar de serem altamente benéficas devido as suas propriedades nutricionais e funcionais, farinhas mistas de polpa e casca de banana não se encontram padronizadas no mercado atual, dessa forma, ressalta-se que a implementação de produtos de banana verde sobretudo de farinhas mistas, pode ser de grande valia, considerando os efeitos positivos de seus componentes bioativos, ação prebiótica e a relação custo benefício desta matriz alimentar.

5. REFERÊNCIAS

- Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A. & Williams, C. L. Health benefits of dietary fiber. **Nutrition reviews**, v. 67, n. 4, p. 188-205, 2009.
- Angelis-Pereira, M. C. D., Barcelos, M. D. F. P., Sousa, M. S. B., & Pereira, J. D. A. R. Effects of the kefir and banana pulp and skin flours on hypercholesterolemic rats. **Acta cirurgica brasileira**, v. 28, n. 7, p. 481-486, 2013.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 21th Edition. Gaithersburg, USA, 2018.
- Bernaudo, F. S. R., & Rodrigues, T. C. Dietary fiber: adequate intake and effects on metabolism health. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 57, n. 6, p. 397-405, 2013.
- Brunsgaard, G. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. **Journal of animal science**, v. 76, n. 11, p. 2787-2798, 1998.
- Dan, M. C., Cardenette, G. H., Sardá, F. A., Giuntini, E. B., Bello-Pérez, L. A., Carpinelli, Â. R., ... & Menezes, E. W. Colonic fermentation of unavailable carbohydrates from unripe banana and its influence over glycemic control. **Plant foods for human nutrition**, v. 70, n. 3, p. 297-303, 2015.
- Dias, D. M., Kolba, N., Hart, J. J., Ma, M., Sybil, T. S., Lakshmanan, N., ... & Tako, E. Soluble extracts from carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) affect the gut microbiota and iron related brush border membrane protein expression in vivo (*Gallus gallus*). **Food Research International**, v. 123, p. 172-180, 2019.
- Ferronato, A. N., Rossi, R., & Cappellari, F. Amido resistente: alternativa de alimento funcional para a homeostase da glicose, redução do perfil lipídico e modulação da microbiota intestinal. **Saúde e desenvolvimento humano**, v. 8, n. 2, 2020.
- Goñi, Martin-Carrón, 2001: Goñi, I., & Martín-Carrón, N. Fermentación colónica de fibra dietética y almidón resistente. **Fibra dietética em Iberoamérica: tecnología y salud—obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. Varela, São Paulo, p. 311-338, 2001.
- Grancieri, M., Costa, N. M. B., Tostes, M. D. G. V., de Oliveira, D. S., de Carvalho Nunes, L., de Nadai Marcon, L., ... & Viana, M. L. Yacon flour (*Smallanthus sonchifolius*) attenuates intestinal morbidity in rats with colon cancer. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 666-675, 2017.

- Hou, T., Kolba, N., Glahn, R. P., & Tako, E. Intra-amniotic administration (Gallus gallus) of cicer arietinum and lens culinaris prebiotics extracts and duck egg white peptides affects calcium status and intestinal functionality. **Nutrients**, v. 9, n. 7, p. 785, 2017.
- Kim, S., Hong, J., Jeon, R., & Kim, H. S. Adzuki bean ameliorates hepatic lipogenesis and proinflammatory mediator expression in mice fed a high-cholesterol and high-fat diet to induce nonalcoholic fatty liver disease. **Nutrition Research**, v. 36, n. 1, p. 90-100, 2016.
- Lajolo, F. M., & Genovese, M. I. Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 22, p. 6592-6598, 2002.
- Martino, H. S. D., Kolba, N., & Tako, E. Yacon (Smallanthus sonchifolius) flour soluble extract improve intestinal bacterial populations, brush border membrane functionality and morphology in vivo (Gallus gallus). **Food Research International**, v. 137, p. 109705, 2020.
- Menezes, E. W., Giuntini, E. B., & Lajolo, F. M. Perfil da ingestão de fibra alimentar e amido resistente pela população brasileira nas últimas três décadas. In: Lajolo FM, Saura-Calixto F, Witting de Penna E, Menezes EW, org. **Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud: obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, v. 1, p. 165-78, 2001.
- Monteiro, F. V., & do Nascimento, K. D. O. Associação do consumo do amido resistente na prevenção e tratamento do diabetes mellitus tipo 2. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 12-19, 2013.
- Nery, C. D. S., Pinheiro, I. L., Muniz, G. D. S., Vasconcelos, D. A. A. D., França, S. P. D., & Nascimento, E. D. Murinometric evaluations and feed efficiency in rats from reduced litter during lactation and submitted or not to swimming exercise. **Revista Brasileira de medicina do esporte**, v. 17, n. 1, p. 49-55, 2011.
- Oguma, T., Nakayama, K., Kuriyama, C., Matsushita, Y., Yoshida, K., Hikida, K., ... & Shiotani, M. Intestinal sodium glucose cotransporter 1 inhibition enhances glucagon-like peptide-1 secretion in normal and diabetic rodents. **Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics**, v. 354, n. 3, p. 279-289, 2015.
- Oliveira, T. A., Alves, R. P., de Souza, T. G., & de Almeida Paula, H. A. Association between the cafeteria diet with resistant starch in the modulation of the glycemic profile in Wistar rats. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 41, n. 1, p. 107-116, 2020.
- Pacifici, S., Song, J., Zhang, C., Wang, Q., Glahn, R. P., Kolba, N., & Tako, E. Intra amniotic administration of raffinose and stachyose affects the intestinal brush border functionality and alters gut microflora populations. **Nutrients**, v. 9, n. 3, p. 304, 2017.

- Reeves, P. G., Nielsen, F. H., & Fahey, G. C. J. Committee Report AIN/93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN/76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, v. 123, p.1939-1951, 1993.
- Silva, B. P., Dias, D. M., de Castro Moreira, M. E., Toledo, R. C. L., da Matta, S. L. P., Della Lucia, C. M., ... & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. Chia seed shows good protein quality, hypoglycemic effect and improves the lipid profile and liver and intestinal morphology of Wistar rats. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 71, n. 3, p. 225-230, 2016.
- Silva, B. P., Kolba, N., Martino, H. S. D., Hart, J., & Tako, E. Soluble extracts from chia seed (*Salvia hispanica* L.) affect brush border membrane functionality, morphology and intestinal bacterial populations in vivo (*Gallus gallus*). **Nutrients**, v. 11, n. 10, p. 2457, 2019.
- Spinelli, M. O., da Cruz, R. J., de Godoy, C. D. S., Motta, M. C., & Damy, S. B. Study of seasonal variation biochemical parameters of rodents and lagomorphs from the Vivarium of the Faculty of Medicine, University of São Paulo, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 36, n. 2, p. 219-225, 2014.
- Sun, H., Ma, X., Zhang, S., Zhao, D., & Liu, X. Resistant starch produces antidiabetic effects by enhancing glucose metabolism and ameliorating pancreatic dysfunction in type 2 diabetic rats. **International journal of biological macromolecules**, v. 110, p. 276-284, 2018.
- Weickert, M. O., & Pfeiffer, A. F. Metabolic effects of dietary fiber consumption and prevention of diabetes. **The Journal of nutrition**, v. 138, n. 3, p. 439-442, 2008.

CONCLUSÕES GERAIS

As farinhas da banana prata verde avaliadas neste estudo apresentaram alto valor nutricional, principalmente com relação a frações de fibra alimentar total, amido resistente, compostos fenólicos, ácidos graxos mono e poli-insaturados, além de ser fonte de minerais, como potássio, cálcio, manganês. A farinha de casca apresentou maior concentração de ácidos graxos poli-insaturados, fibra alimentar total, minerais e fenólicos totais enquanto que proporções superiores de amido resistente e ácidos graxos monoinsaturados foram identificados para a farinha de polpa. Além disso, a farinha de polpa de banana apresentou maior viscosidade de pasta do que a farinha de casca, porém, a adição de até 20% da farinha da casca na farinha da polpa de banana verde não apresentou efeito significativo sobre as propriedades da farinha, evidenciando portanto, o potencial de aplicação da mistura destas farinhas em produtos alimentícios.

O consumo de farinhas de polpa e de casca de banana verde por um curto período de tempo (28 dias), apresentou efeitos positivos quanto ao controle do ganho de peso corporal, prevenindo o acúmulo de tecido adiposo, assim como interveio positivamente nos níveis glicêmicos e no perfil lipídico dos animais, sem alterar marcadores de função renal e hepática. As consideráveis proporções de amido resistente presente nas farinhas de polpa e/ou mistas de banana verde contribuíram para o aumento do peso do ceco e da umidade das fezes, além de reduzir o pH do conteúdo cecal dos animais. Além disso, as farinhas obtidas da banana prata verde melhoraram os parâmetros morfométricos (profundidade e espessura das criptas) e aumentaram a expressão de genes proteicos envolvidos com a saúde do intestino, favorecendo portanto, sua funcionalidade.

APÊNDICE**ANEXO 1: APROVAÇÃO DE PROJETO DE PESQUISA PELO COMITÊ DE ÉTICA
EM PESQUISA COM ANIMAIS (UFV)**

Viçosa, 30 de abril de 2021
 Prof. Frederico Augusto Ribeiro de Barros
 Coordenador do projeto
 DTA/UFV

Sr. Coordenador,

Após avaliação da Metodologia utilizada no Projeto de Pesquisa intitulado **“Digestibilidade *in vitro* do amido e potencial funcional *in vivo* da farinha mista da casca e polpa de banana prata verde”**, aqui nomeado Processo 21/2021, a CEUA/UFV emite parecer favorável ao protocolo de utilização de animais proposto, tendo como base para análise a Legislação vigente (Lei Nº 11.794, de 08 de outubro de 2008), as Resoluções Normativas editadas pelo CONCEA/MCTIC, bem como a DBCA (Diretriz Brasileira de Prática para o Cuidado e a Utilização de Animais para Fins Científicos e Didáticos) e as Diretrizes da Prática de Eutanásia preconizadas pelo CONCEA/MCTIC.

Acresce a esse Parecer a exigência de Relatório Final de Atividades conforme itens a seguir:

RESUMO DOS RESULTADOS FINAIS OBTIDOS A PARTIR DOS EXPERIMENTOS
ENVOLVENDO A

UTILIZAÇÃO DE ANIMAIS NO PROJETO DE PESQUISA

- 1 Número do protocolo de submissão do projeto de pesquisa à CEUA/UFV:
- 2 Metodologia completa obrigatoriamente com:
 - Local (is) Geral (is) e específico (s) oficial (is) onde ocorreu a experimentação;
 - O nome científico do animal em questão;
 - Número total de animais utilizados na pesquisa.
- 3 Resultados:
- 4 Nome do coordenador do projeto:
Assinatura:
- 5 Nome do Responsável Técnico:
Assinatura:
Inscrição em CRMV:



Prof. Mariella Bontempo Duca de Freitas
 Coordenadora
 Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UFV

CERTIFICADO

A Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA/UFV certifica que o processo nº 21/2021, intitulado “**Digestibilidade *in vitro* do amido e potencial funcional *in vivo* da farinha mista da casca e polpa de banana prata verde**”, coordenado pelo professor Frederico Augusto Ribeiro de Barros do Departamento de Tecnologia de Alimentos, está de acordo com a Legislação vigente (Lei Nº 11.794, de 08 de outubro de 2008), as Resoluções Normativas editadas pelo CONCEA/MCTIC, a DBCA (Diretriz Brasileira de Prática para o Cuidado e a Utilização de Animais para Fins Científicos e Didáticos) e as Diretrizes da Prática de Eutanásia preconizadas pelo CONCEA/MCTIC, portanto sendo aprovado por esta Comissão em 30/04/2021, com validade de 12 meses.

CERTIFICATE

The Ethic Committee in Animal Use/UFV certify that the process number 21/2021, named “**In vitro digestibility of starch and in vivo functional potential of mixed silver green banana peel and pulp flour**”, is in agreement with the actual Brazilian legislation (Lei Nº 11.794, 2008, Normative Resolutions edited by CONCEA/MCTIC, the DBCA (Brazilian Practice Guideline for the Care and Use of Animals for Scientific and the Guidelines of Practice the Euthanasia recommended by CONCEA/MCTIC therefore being approved by the Committee on April 30, 2021 valid for 12 months.



Prof. Mariella Bontempo Duca de Freitas
Coordenadora

Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UFV