

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E**  
**TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TESE**

**DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTE ALIMENTÍCIO**  
**NATURAL MULTIFUNCIONAL ORIUNDO DE BATATA-DOCE**  
**DE POLPA ROXA: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO**

**PAULO CEZAR DA CUNHA JÚNIOR**

**2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTE ALIMENTÍCIO  
NATURAL MULTIFUNCIONAL ORIUNDO DE BATATA-DOCE  
DE POLPA ROXA: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO**

**PAULO CEZAR DA CUNHA JÚNIOR**

*Sob orientação da Professora*

**Dra. Elisa Helena da Rocha Ferreira**

*e coorientação dos Professores*

**Dra. Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa**

**Dr. Jorge Manuel Alexandre Saraiva**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção de grau de **Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração Ciência de Alimentos.

**Seropédica, RJ  
Agosto/2023**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C972d Cunha Júnior, Paulo Cezar da, 1991-  
DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTE ALIMENTÍCIO NATURAL  
MULTIFUNCIONAL ORIUNDO DE BATATA-DOCE DE POLPA ROXA:  
CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO / Paulo Cezar da Cunha  
Júnior. - SEROPÉDICA, 2023.  
144 f.: il.

Orientadora: Elisa Helena da Rocha Ferreira.  
Coorientadora: Maria Ivone Martins Jacintho  
Barbosa.  
Coorientador: Jorge Manuel Alexandre Saraiva.  
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2023.

1. antocianinas. 2. pigmentos naturais. 3.  
produtos lácteos. 4. clean label. 5. ingredientes  
naturais. I. Ferreira, Elisa Helena da Rocha, 1977-,  
orient. II. Barbosa, Maria Ivone Martins Jacintho,  
1977-, coorient. III. Saraiva, Jorge Manuel  
Alexandre, 1967-, coorient. IV Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. V. Título.

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS



TERMO Nº 1072/2023 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.062523/2023-77

Seropédica-RJ, 18 de setembro de 2023.

PAULO CEZAR DA CUNHA JÚNIOR

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

TESE APROVADA EM 15/09/2023

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA (Dra.) UFRRJ (orientadora)

ANELISE DIAS (Dra) UFRRJ

REGINA CELI CAVESTRE CONEGLIAN (Dra) UFRRJ

ANDRE FIORAVANTE GUERRA (Dr) CEFET/RJ

ANA CAROLINA SAMPAIO DORIA CHAVES (Dra) EMBRAPA

MARIA GABRIELA BELLO KOBLITZ (Dra) UNIRIO

*Documento não acessível publicamente*

*(Assinado digitalmente em 19/09/2023 18:35)*

ANELISE DIAS

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

PPGAO (12.28.01.00.00.00.36)

Matrícula: ###455#5

*(Assinado digitalmente em 18/09/2023 15:43)*

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DTA (12.28.01.00.00.00.46)

Matrícula: ###069#6

*(Assinado digitalmente em 18/09/2023 15:01)*

REGINA CELI CAVESTRE CONEGLIAN

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DeptFITO (12.28.01.00.00.00.32)

Matrícula: ###197#8

*(Assinado digitalmente em 18/09/2023 16:24)*

MARIA GABRIELA BELLO KOBLITZ

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.577-##

*(Assinado digitalmente em 19/09/2023 12:19)*

ANDRÉ FIORAVANTE GUERRA

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.236-##

*(Assinado digitalmente em 18/09/2023 15:53)*

ANA CAROLINA SAMPAIO DORIA CHAVES

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.428-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1072**, ano: **2023**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **18/09/2023** e o código de verificação: **941f6796ee**

## RESUMO GERAL

CUNHA JÚNIOR, Paulo Cezar da. **DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTE ALIMENTÍCIO NATURAL MULTIFUNCIONAL ORIUNDO DE BATATA-DOCE DE POLPA ROXA: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO**. 2023. 144 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Aditivos e ingredientes sintéticos são historicamente utilizados pela indústria alimentícia. Contudo, frente às evidências de efeitos negativos decorrentes da ingestão desses componentes, os consumidores vêm buscando opções mais saudáveis e próximas ao natural, onde os alimentos são obtidos por processamentos mais simples. Nesse contexto, há uma tendência de substituição de aditivos e ingredientes sintéticos por opções naturais, com destaque para os corantes. Dentre os corantes naturais, destacam-se as antocianinas, pigmento vegetal responsável por uma ampla gama de cores na natureza devido a sua capacidade de apresentar diferentes colorações frente ao pH do meio. Tal propriedade é denominada como interconversão de cores. Além disso, as antocianinas apresentam destacável capacidade bioativa. A batata-doce de polpa roxa apresenta alto teor de antocianinas, além de ser uma reconhecida fonte de amido, carboidrato de grande importância para a indústria. Assim, a utilização da batata-doce de polpa roxa para obtenção de um ingrediente natural pode acarretar na melhoria das características nutricionais, tecnológicas e bioativas de produtos. Este trabalho teve como objetivo obter e caracterizar pós liofilizados (PL) de diferentes colorações provenientes da batata-doce de polpa roxa da variedade “Beni imo” (BDPR), bem como a avaliar da aplicação desses pós como ingrediente alimentício natural multifuncional e seus possíveis impactos nas propriedades tecnológicas, físicas, químicas, funcionais e bioativas em iogurte tipo Grego e iogurte batido. A tese foi composta por introdução geral, objetivos geral e específicos, revisão bibliográfica e quatro capítulos de resultados, apresentados no formato de artigo, que abordaram a caracterização, estabilidade e aspectos tecnológicos dos pós liofilizados e dos iogurtes enriquecidos. A fim de explorar a capacidade de interconversão de cor, o batata-doce foi tratada termicamente a 80 °C/10 minutos por imersão em soluções de diferentes concentrações de ácido ascórbico (Tratamentos: A0 - 0%, A1 - 1,5%, A2 - 3% e A3 - 4,5%), com posterior trituração, congelamento, liofilização e moagem, obtendo assim quatro pós de diferentes colorações. O Capítulo I teve como objetivo caracterizar a BDPR e PL. Os principais resultados mostraram que BDPR apresentou teores iguais 16,97% para fibra alimentar total e 0,84% para lipídios, com a concentração de antocianinas de 56,84 mg cianidina-3-glicosídeo por 100 g de amostra, enquanto os pós liofilizados apresentaram teores entre 11,49% e 12,50% para fibra alimentar total, entre 3,87 e 4,22% para proteínas, entre 2,23 e 2,76% para cinzas e próximos a 0,6% para lipídios, com teores de antocianinas entre 50,59 e 53,21 mg cianidina-3-glicosídeo por 100 g de amostra. Os pós apresentaram colorações roxa (para controle) e rosa em diferentes tonalidades. Os rendimentos observados foram entre 27,30 e 32,98%, com atividade de água entre 0,167 e 0,327. Para as propriedades tecnológicas, os pós apresentaram poder de inchamento superiores a 7%, índice de solubilidade em água superior a 49%, índices de absorção de óleo superior a 5,5%, capacidades de emulsificação entre 50% e 87% e estabilidades de emulsão entre 51% e 98%. A partir dos resultados do Capítulo I, foi possível observar que explorar a capacidade de interconversão de cores das antocianinas presentes na BDPR e que os resultados para as propriedades tecnológicas avaliadas poderiam ser interessantes na elaboração de iogurtes,

motivando o Capítulo II, que teve como objetivo avaliar os efeitos da adição dos pós liofilizados de BDPR nas propriedades físico-químicas e texturais do iogurte tipo Grego, com enriquecimento em duas concentrações (2% e 4% m/m) para cada um dos quatro pós (A0, A1, A2 e A3), tendo como controle iogurte sem enriquecimento. Os iogurtes apresentaram colorações rosadas, em diferentes tonalidades e intensidades após a adição dos pós. Os tratamentos com A0 mostraram maior estabilidade em relação ao pH, acidez e sinérese, além de promover iogurtes com maior firmeza. Os resultados obtidos neste capítulo foram promissores para evidenciar o uso de PL como ingrediente multifuncional em iogurtes. Entretanto, estes mesmos resultados levaram a questionar a reprodutibilidade da obtenção de PL e do experimento realizado, sendo esta a motivação para a realização do capítulo III, que teve como objetivo avaliar o efeito da adição de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa nas características físicas, químicas e tecnológicas do iogurte grego. Neste estudo, foi utilizado o enriquecimento apenas o pó A0 em duas concentrações (2% e 4%), uma vez que este foi o que promoveu melhorias tecnológicas no iogurte no estudo anterior. Como resultados principais, A0 apresentou maior teor de amido resistente quando comparado à BDPR (16,82% *versus* 2,77%). BDPR e A0 apresentaram destacáveis teores de compostos fenólicos (superiores a 80 mg ácido gálico equivalente/g) e antocianinas monoméricas (superiores a 50 mg cianidina-3-glicosídeo/100 g), bem como boas respostas nos ensaios de FRAP (50,40 e 112,93  $\mu$ mol trolox equivalente/g, respectivamente) e DPPH (superiores a 16  $\mu$ mol trolox equivalente/g). O enriquecimento com A0 promoveu melhorias significativas ( $P < 0,05$ ) no que se refere ao teor de antocianinas, teor de compostos fenólicos e capacidade de redução do ferro (FRAP). A realização do estudo mostrou que o processo de obtenção de PL e por consequência o enriquecimento de iogurte tipo Grego é reprodutível e vantajoso no aspecto tecnológico. O capítulo IV teve como objetivo investigar a utilização da batata-doce de polpa roxa na forma de pó liofilizado como ingrediente multifuncional e seus impactos nas propriedades de iogurte batido, a fim de verificar se os efeitos observados no iogurte tipo Grego seriam similares no iogurte batido. Foram utilizadas três concentrações no enriquecimento (2%, 4% e 6%). Como principais resultados, os iogurtes enriquecidos não apresentaram pós-acidificação e tiveram coloração estável ao longo de todo armazenamento. Os iogurtes apresentaram microestruturas mais estáveis, com redes mais reticuladas e com maior organização, com melhoria na textura e sinérese do iogurte. Portanto, a BDPR mostrou-se como uma matéria-prima viável para o desenvolvimento de um ingrediente alimentício multifuncional, uma vez que PL promoveu melhorias nos aspectos tecnológicos e de qualidade do iogurte tipo Grego e iogurte batido.

**Palavras-chaves:** antocianinas; pigmentos naturais; produtos lácteos; *clean label*.

## GENERAL ABSTRACT

CUNHA JÚNIOR, Paulo Cezar da. **DEVELOPMENT OF A NATURAL MULTIFUNCTIONAL FOOD INGREDIENT FROM PURPLE FLESHED SWEET POTATOES: CHARACTERIZATION AND APPLICATION.** 2023. 144 p. Thesis (PhD in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Synthetic ingredients have historically been used by the food industry. However, in view of the evidence of negative effects resulting from the ingestion of these components, consumers have been looking for healthier and closer to natural options, where food is obtained by simpler processing. In this context, there is a trend to replace additives and synthetic ingredients with natural options, especially dyes. Among the natural dyes, anthocyanins stand out, a plant pigment responsible for a wide range of colors in nature due to its ability to present different colors in relation to the pH of the medium. This property is called color interconversion. In addition, anthocyanins have a remarkable bioactive capacity. Purple-fleshed sweet potatoes have a high content of anthocyanins, in addition to being a recognized source of starch, a carbohydrate of great importance for the industry. Thus, the use of purple-fleshed sweet potatoes to obtain a natural ingredient can lead to the improvement of the nutritional, technological and bioactive characteristics of products. The objective of this work was to obtain and characterize lyophilized powders (LP) of different colorations from purple-fleshed sweet potatoes of the variety "Beni imo" (PFSP), as well as to evaluate the application of these powders as a multifunctional natural food ingredient and their possible impacts on the technological, physical, chemical, functional and bioactive properties in Greek yogurt and whipped yogurt. The thesis was composed of a general introduction, general and specific objectives, a literature review and four chapters of results, presented in the format of an article, which addressed the characterization, stability and technological aspects of lyophilized powders and enriched yogurts. In order to explore the color interconversion capacity, the sweet potato was heat-treated at 80 °C/10 minutes by immersion in solutions of different concentrations of ascorbic acid (Treatments: A0 - 0%, A1 - 1.5%, A2 - 3% and A3 - 4.5%), with subsequent crushing, freezing, freeze-drying and grinding, thus obtaining four powders of different colors. Chapter I aimed to characterize PFSP and LP. The main results showed that PFSP presented equal contents of 16.97% for total dietary fiber and 0.84% for lipids, with an anthocyanin concentration of 56.84 mg cyanidin-3-glucoside per 100 g of sample, while the lyophilized powders presented ratios between 11.49% and 12.50% for total dietary fiber, between 3.87 and 4.22% for proteins, between 2.23 and 2.76% for ashes and close to 0.6% for lipids. with anthocyanin contents between 50.59 and 53.21 mg cyanidin-3-glycoside per 100 g of sample. The powders presented purple (for control) and pink colorations in different shades. The yields observed were between 27.30 and 32.98%, with water activity between 0.167 and 0.327. For the technological properties, the powders showed swelling power greater than 7%, water solubility index greater than 49%, oil absorption indices greater than 5.5%, emulsification capacities between 50% – 87% and emulsion stability between 51% – 98%. From the results of Chapter I, it was possible to observe that to explore the color interconversion capacity of the anthocyanins present in the PFSP and that the results for the evaluated technological properties could be interesting in the elaboration of yogurts, motivating Chapter II, which aimed to evaluate the effects of the addition of lyophilized PFSP powders on the physicochemical and textural properties of Greek yogurt, with



enrichment in two concentrations (2% and 4% w/w) for each of the four powders (A0, A1, A2 and A3), with unenriched yogurt as control. The yogurts showed pink colors, in different shades and intensities after the addition of the powders. The treatments with A0 showed greater stability in relation to pH, acidity and syneresis, in addition to promoting yogurts with greater firmness. The results obtained in this chapter were promising to show the use of LP as a multifunctional ingredient in yogurts. However, these same results led to question the reproducibility of obtaining LP and of the experiment carried out, which is the motivation for the realization of chapter III, which aimed to evaluate the effect of the addition of freeze-dried powder of PFSP on the physical, chemical and technological characteristics of Greek yogurt. In this study, we used the enrichment of only the A0 powder in two concentrations (2% and 4%), since this was the one that promoted technological improvements in yogurt in the previous study. As main results, A0 presented higher resistant starch content when compared to PFSP (16.82% vs 2.77%). PFSP and A0 showed remarkable levels of phenolic compounds (greater than 80 mg gallic acid equivalent/g) and monomeric anthocyanins (greater than 50 mg cyanidin-3-glucoside/100 g), as well as good responses in the FRAP (50.40 and 112.93  $\mu\text{mol}$  trolox equivalent/g, respectively) and DPPH (greater than 16  $\mu\text{mol}$  trolox equivalent/g). The enrichment with A0 promoted significant improvements ( $P < 0.05$ ) in terms of anthocyanin content, phenolic compound content and iron reduction capacity (FRAP). The study showed that the process of obtaining LP and consequently the enrichment of Greek yogurt is reproducible and advantageous in the technological aspect. Chapter IV aimed to investigate the use of purple-fleshed sweet potato in the form of freeze-dried powder as a multifunctional ingredient and its impacts on the properties of whipped yogurt, in order to verify whether the effects observed in Greek-type yogurt would be similar in whipped yogurt. Three concentrations were used in the enrichment (2%, 4% and 6%). As main results, the enriched yogurts did not show post-acidification and had stable color throughout storage. The yogurts showed more stable microstructures, with more cross-linked networks and greater organization, with improvement in the texture and syneresis of the yogurt. Therefore, PFSP proved to be a viable raw material for the development of a multifunctional food ingredient, since LP promoted improvements in the technological and quality aspects of Greek yogurt and whipped yogurt.

**Keywords:** anthocyanins; natural pigments; dairy products; *clean label*

### PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Capítulo	Título do manuscrito	Periódico	Status
I	Ingrediente natural obtido da batata-doce roxa proveniente da Agricultura Familiar (Seropédica/RJ): Elaboração e Caracterização	<b>Observatorio de La Economía Latinoamericana</b> (Qualis 2017 – 2020: A4)	<i>Publicado</i>
II	Efeitos da adição de pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa nas propriedades físico-químicas e na textura do iogurte tipo Grego”	<b>Observatorio de La Economía Latinoamericana</b> (Qualis 2017 – 2020: A4)	<i>Publicado</i>
III	Application of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder as a multifunctional ingredient in Greek yogurt	<b>Ciência Rural</b> (Qualis 2017 – 2020: A4)	<i>Aceito para publicação</i>
IV	Incorporation of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder in stirred yogurt: effects on viability of lactic acid bacteria, physical, chemical, textural, and bioactive properties	<b>não se aplica</b>	<i>A submeter</i>

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1. <i>Objetivo geral .....</i>	<i>4</i>
2.2. <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
<b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1. <i>Mudanças de hábitos no consumo de alimentos e novos ingredientes alimentícios.....</i>	<i>4</i>
3.2. <i>Corantes alimentícios .....</i>	<i>6</i>
3.3. <i>Antocianinas .....</i>	<i>12</i>
3.4. <i>Batata-doce de polpa roxa.....</i>	<i>18</i>
3.5. <i>Aplicação tecnológica da batata-doce de polpa roxa na produção de alimentos.....</i>	<i>24</i>
<b>4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>
<b>5.CAPÍTULO I .....</b>	<b>47</b>
<b>Ingrediente natural obtido da batata-doce de polpa roxa: Elaboração e Caracterização .....</b>	<b>47</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>47</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
2.1. <i>Material.....</i>	<i>49</i>
2.2. <i>Preparo de batata-doce e obtenção de pós liofilizados (<math>A_0</math>, <math>A_1</math>, <math>A_2</math> e <math>A_3</math>).....</i>	<i>50</i>
2.3. <i>Rendimento, atividade de água, pH e acidez titulável .....</i>	<i>51</i>
2.4. <i>Composição química e teor de antocianinas monoméricas totais .....</i>	<i>52</i>
2.5. <i>Cor.....</i>	<i>52</i>
2.6. <i>Propriedades tecnológicas .....</i>	<i>53</i>
2.7. <i>Análise estatística.....</i>	<i>54</i>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
3.1. <i>Rendimento, atividade de água, pH e acidez titulável .....</i>	<i>54</i>
3.2. <i>Composição química e teor de antocianinas monoméricas totais .....</i>	<i>57</i>
3.3. <i>Cor.....</i>	<i>59</i>
3.4. <i>Propriedades tecnológicas .....</i>	<i>61</i>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>

<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>6.CAPÍTULO II.....</b>	<b>69</b>
<b>Efeitos da adição de pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa nas propriedades físico-químicas e texturais do iogurte tipo Grego .....</b>	<b>69</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>69</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>70</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>72</b>
2.1. <i>Material.....</i>	72
2.2. <i>Processamento da batata-doce de polpa roxa (BDPR) .....</i>	73
2.3. <i>Processamento e enriquecimento do iogurte tipo grego.....</i>	74
2.4. <i>pH e acidez titulável.....</i>	75
2.5. <i>Cor instrumental .....</i>	75
2.6. <i>Sinérese .....</i>	76
2.7. <i>Viscosidade aparente .....</i>	76
2.8. <i>Perfil de Textura Instrumental .....</i>	76
2.9. <i>Análise estatística.....</i>	77
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>77</b>
3.1. <i>pH e acidez titulável.....</i>	77
3.2. <i>Cor.....</i>	80
3.3. <i>Sinérese .....</i>	83
3.4. <i>Viscosidade aparente .....</i>	85
3.5. <i>Perfil de Textura Instrumental .....</i>	86
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>88</b>
<b>6. AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>88</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>7.CAPÍTULO III .....</b>	<b>92</b>
<b>Application of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder as a multifunctional ingredient in Greek yogurt .....</b>	<b>92</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>92</b>
<b>Aplicação de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa como ingrediente multifuncional em iogurte tipo Grego .....</b>	<b>93</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>93</b>
<b>1.INTRODUCTION .....</b>	<b>94</b>
<b>2.MATERIALS AND METHODS.....</b>	<b>95</b>

<b>3. RESULTS AND DISCUSSION .....</b>	<b>102</b>
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>114</b>
<b>5. ACKNOWLEDGMENTS.....</b>	<b>114</b>
<b>6. DECLARATION OF CONFLICT OF INTEREST.....</b>	<b>114</b>
<b>7. AUTHORS' CONTRIBUTIONS.....</b>	<b>115</b>
<b>8. REFERENCES .....</b>	<b>115</b>
<b>8.CAPÍTULO IV.....</b>	<b>121</b>
<b>Enriquecimento de iogurte batido com pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa: propriedades físicas, químicas, texturais, bioativas e efeitos sobre a viabilidade de bactérias lácticas.....</b>	<b>121</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>121</b>
<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>121</b>
<b>2.MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>123</b>
2.1. <i>Material .....</i>	123
2.2. <i>Tratamento térmico de BDPRe obtenção de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa.....</i>	124
2.3. <i>Produção de iogurte batido enriquecido com LP .....</i>	124
2.4. <i>pH e acidez titulável (AT) .....</i>	124
2.5. <i>Teor de antocianinas monoméricas totais (TAM) e análise de cor instrumental.....</i>	125
2.8. <i>Microscopia Confocal de Varredura a Laser .....</i>	126
2.9. <i>Textura .....</i>	126
2.10. <i>Análise estatística .....</i>	127
<b>3.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>127</b>
3.1. <i>pH e acidez titulável (AT) .....</i>	127
3.2. <i>Teor de antocianinas monoméricas totais (TAM) e análise de cor instrumental</i>	128
3.3. <i>Contagem total de bactérias lácticas viáveis (BL) .....</i>	132
3.4. <i>Capacidade de retenção de água (CRA) e atividade de água (Aa) .....</i>	133
3.5. <i>Microscopia Confocal de Varredura a Laser .....</i>	135
3.6. <i>Análise de Textura .....</i>	136
<b>4.CONCLUSÃO.....</b>	<b>138</b>
<b>5.AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>138</b>
<b>6.REFERÊNCIAS .....</b>	<b>138</b>
<b>9.CONCLUSÃO GERAL E PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>143</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo das últimas décadas, o consumidor vem mudando seus hábitos alimentares, buscando produtos que tenham maior saudabilidade e com a ideia de natural. Alimentos menos processados e com ingredientes que não tragam malefícios à saúde humana são aspectos que se encontram em expansão no que se refere aos desejos e anseios dos consumidores. Indústrias vêm se adequando a este cenário, a fim de promover a oferta de produtos que atendam as demandas do público consumidor (ASCHEMANN-WITZEL, 2015).

Dentre as frentes, destaca-se o movimento *clean label*, que estimula a modificação dos alimentos, a fim de que em grande parte da sua composição, sejam utilizados ingredientes que possam ser identificados pelos consumidores. A não-utilização de aditivos não-naturais e/ou de fontes não-renováveis é uma das vertentes defendidas por tal movimento. Cabe destacar que os aditivos sintéticos são aplicados na indústria por conta de seus diversos benefícios tecnológicos, como preço acessível, uniformidade, compatibilidade e sinergia com outros ingredientes e baixa interferência nas características sensoriais de produtos. Contudo, com o crescimento de posições e reputações negativas decorrente do surgimento de evidências de efeitos deletérios ocasionados pela ingestão desses componentes como potencial genotóxico e mutagênico (CHEQUER et al., 2012), alterações as concentrações totais de colesterol e proteínas sanguíneas (AMIN et al., 2010) e lesões significativas ao DNA celular (MPOUNTOUKAS et al., 2010), a utilização tem sido cada vez mais questionada pelos consumidores (KERDUDO et al., 2016).

Os corantes alimentícios são de grande importância para a indústria de alimentos, uma vez que são capazes de conferir, intensificar ou padronizar a cor de alimentos, sendo esse um dos principais atributos sensoriais de produtos alimentícios, tendo relação direta com a sua aceitação. Entretanto, em virtude dos inúmeros estudos que evidenciam danos ocasionados pela ingestão de corantes artificiais, há uma tendência para a substituição desses por opções naturais e renováveis. Há uma crescente exploração, alinhada com diversos estudos, para a utilização de ingredientes e aditivos naturais, obtidos de vegetais, incluindo aqueles com intenção de colorir (AYALA-ZAVALA et al., 2011).

De forma natural, os vegetais apresentam diversos compostos com capacidade de conferir cor, como visto nas inúmeras cores presentes na natureza, como em frutas, ervas,

legumes, plantas, flores e hortaliças. Entretanto, para que uma matriz seja utilizada como fonte de corantes, essa deve seguir alguns critérios: boa disponibilidade, baixo preço e alto rendimento (SHAHID et al., 2013). Dentre os compostos com capacidade de conferir cor, destacam-se as antocianinas.

Classificadas como flavonoides, as antocianinas são polifenóis de apresentam capacidade de pigmentação em uma ampla faixa de cores, indo do vermelho ao amarelo. Estão presentes em raízes, flores, frutas, folhas, com diferentes cores e tonalidades, que são condicionadas às características intrínsecas e extrínsecas do vegetal (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2014; SIGURDSON et al., 2017). Além disso, a ingestão de antocianinas pode promover melhorias à saúde humana, trazendo benefícios como atividades antimicrobiana, anti-inflamatória, vasodilatadora, antioxidantes e proteção cardiovascular (LIM et al., 2013). As fontes de antocianinas são inúmeras, como a batata-doce de polpa roxa (*Ipomoea batatas* L. Lam).

Com altos teores de antocianinas e compostos fenólicos, a batata-doce de polpa roxa vem ganhando espaço entre os consumidores. Entretanto, há indícios do consumo dessa raiz desde o século 17 em território japonês (TANAKA et al., 2017). Estudos indicam que os compostos bioativos presentes na batata-doce de polpa roxa estão associados à prevenção ao risco e incidência de doenças crônicas não transmissíveis (LIM et al., 2013).

As antocianinas presentes na batata-doce de polpa roxa são mais estáveis frente ao aquecimento e irradiação da luz UV quando comparadas às antocianinas presentes no repolho roxo, morango e maçã (TSUKUI et al., 1999), o que facilitaria seu processamento e aplicação em outros alimentos – o que já é visto no mercado asiático, onde a utilização da batata-doce de polpa roxa em diversos produtos, como sorvetes, bolos, chocolates, produtos de panificação, cremes. Alguns estudos, ainda que em número reduzido, indicam a possibilidade da aplicação ou elaboração de produtos a partir da batata-doce de polpa roxa em produtos alimentícios (JIN et al., 2012; DWIYANTI et al., 2018; HUTASOIT et al., 2018; ZHU & SUN, 2019; SUDJATINAH et al., 2020)

Além disso, tal raiz é uma reconhecida fonte de amido, polissacarídeo de grande importância para a indústria alimentícia, com inúmeras funções, tais como: espessante, estabilizante, agente ligante, geleificante, material de revestimento e material de encapsulamento (BANGAR et al., 2022). Assim, a utilização da batata-doce de polpa

roxa em produtos alimentícios é uma alternativa promissora, podendo conferir aos produtos características tecnológicas, bioativas, sensoriais, físicas e químicas desejáveis.

Por apresentar grande adaptação em diferentes solos e climas tropicais, alto rendimento por hectare e características bioativas destacáveis e desejáveis, o Sistema Integrado de Produção Agroecológica – SIPA (Fazendinha Agroecológica), localizado no município de Seropédica, Rio de Janeiro – RJ, tem desenvolvido diversos estudos e ações a fim de otimizar o cultivo da batata-doce da variedade “Beni imo” por produtores da Agricultura Familiar em diferentes municípios do Estado do Rio de Janeiro, além de fornecer incentivos e apoio técnico, a fim de promover a possibilidade da incorporação da batata-doce de polpa roxa na cadeia de processamento de alimentos e a geração de renda. Vale destacar que o SIPA é resultado da parceria entre duas Unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia e Embrapa Solos), a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio), a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e o Colégio Técnico da UFRRJ (CTUR).

Além disso, outro importante canal de difusão e divulgação da Agricultura Familiar de Seropédica é a Feira da Agricultura Familiar da UFRRJ (FAF), que faz parte do projeto intitulado “Fortalecimento da Agricultura Familiar na Baixada Fluminense e Centro Sul do Estado do Rio de Janeiro que contempla ainda Compras Institucionais por meio do PAA e a Residência Agrônômica”, que é institucionalizado por meio do Programa de Extensão Universitária da UFRRJ.

A FAF tem gestão participativa, com os agricultores, a UFRRJ e a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio de Janeiro (Emater-Rio), e tem como foco principal fortalecer a produção familiar tendo embasamento na Agroecologia, fundamentada na comercialização e consumo local e consciente, interligando os três campi da UFRRJ (Seropédica, Nova Iguaçu e Três Rios). De acordo com BARROS (2022), a FAF é um espaço aberto para integração e interação entre os agricultores locais e a comunidade acadêmica da UFRRJ, com a ocorrência de trocas (monetárias ou não), abrangendo ainda as atividades de ensino, pesquisa e extensão (pilares da Universidade Pública no Brasil). Assim, a FAF é um dos principais canais de comunicação e comercialização da BDPR no município de Seropédica e região.

Ainda que já existam produtos no mercado oriental com a batata-doce de polpa roxa em suas formulações, os estudos científicos com essa raiz como ingrediente ainda



são limitados ao que tange à exploração dos atributos tecnológicos além de conferir cor. Assim, esse é o grande aspecto inovador deste trabalho: explorar a multifuncionalidade da batata-doce de polpa roxa da variedade “Beni imo” na forma de pó liofilizado como ingrediente alimentício, a fim de evidenciar e elucidar a ineditismo das propriedades tecnológicas, em especial, no enriquecimento de diferentes tipos de iogurte.

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um ingrediente alimentício natural multifuncional na forma de pó liofilizado a partir da batata-doce de polpa roxa e avaliar os efeitos nas propriedades tecnológicas, físicas, químicas, funcionais e bioativas em iogurte tipo Grego e iogurte batido.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Desenvolver e caracterizar pós liofilizados de diferentes colorações provenientes da batata-doce de polpa-roxa da variedade “Beni imo” e avaliar sua aplicação como ingrediente alimentício natural multifuncional em iogurte tipo Grego e iogurte batido.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar a batata-doce de polpa roxa quanto à sua composição química, digestibilidade do amido *in vitro* e capacidade antioxidante;
- Desenvolver e caracterizar os pós liofilizados quanto à sua composição química, digestibilidade do amido *in vitro* e capacidade antioxidante;
- Avaliar as propriedades tecnológicas dos pós liofilizados obtidos;
- Avaliar o efeito da adição dos pós liofilizados nas propriedades físicas, químicas, bioativas e tecnológicas de iogurte tipo Grego e iogurte batido.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Mudanças de hábitos no consumo de alimentos e novos ingredientes alimentícios**

O perfil do consumidor vem mudando de forma destacável nos últimos anos. A busca por opções mais saudáveis e modificações em seus hábitos e rotinas têm impulsionado a procura por alternativas que remetam à saudabilidade e com maior aproximação ao natural, como produtos menos processados, ou ainda, livres de componentes que possam ter impactos negativos à saúde humana, como aditivos e alergênicos. Assim, ciência e indústria têm investindo em pesquisas para a mudança no

perfil e na concepção dos produtos ofertados, a fim de atender tais demandas (ASCHEMANN-WITZEL, 2015; ASCHEMANN-WITZEL et al., 2019; GRANATO et al., 2017).

O movimento *clean label* estimula a utilização de ingredientes mínimos para elaboração de alimentos processados e que possam ser reconhecidos facilmente pelos consumidores. Entretanto, ainda que seja uma tendência de mercado e de consumo, o *clean label* ainda ocorre de forma discreta no mercado brasileiro, em especial, em produtos de amplo consumo. Além disso, não há definição comum e objetiva sobre o que define um produto como *clean label* (ASIOLI et al., 2017).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), ingrediente é qualquer substância que é empregada na fabricação e preparo de alimentos e que esteja presente no produto final (na sua forma original ou modificada), incluindo os aditivos alimentares. Ainda que sejam considerados ingredientes, os aditivos alimentares têm uma definição específica: qualquer ingrediente adicionado de forma intencional ao alimento, que não tem o propósito de nutrir. Os aditivos alimentares têm como objetivos modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento. Ingredientes e aditivos podem ser de origem natural ou produzidos sinteticamente (BRASIL, 2002).

A aplicação de aditivos pela indústria de alimentos não é algo recente. Esses ingredientes são fundamentais no processamento de alimentos, desempenhando aspectos tecnológicos. A problemática está no uso de forma quase indiscriminada de aditivos sintéticos pela indústria de alimentos, combinado com o surgimento de inúmeras evidências sobre possíveis malefícios ocasionados pela aplicação desses aditivos e amplo acesso às informações, fez com que os consumidores ficassem mais críticos e questionadores, surgindo uma maior preocupação com os possíveis efeitos adversos ocasionados por alimentos industrializados (ASIOLI et al., 2017). Outro aspecto de grande importância é a forma que os ingredientes e alimentos são obtidos. De acordo com GODFRAY et al. (2010), o consumidor também tem se preocupado com os aspectos ambientais e os impactos negativos da produção de alimentos frente à sustentabilidade. CAPUTO et al. (2013) complementam essa perspectiva, evidenciam a importância da produção de alimentos por métodos e fontes renováveis.

Segundo ASIOLI et al. (2017), as percepções e questionamentos dos consumidores sobre a produção de alimentos podem ocorrer por diversas frentes, como

presença de contaminantes químicos, pesticidas e agrotóxicos, bem como pelo uso excessivo de aditivos e ingredientes artificiais, como os corantes alimentícios. Assim, muitos consumidores baseiam a escolha de alimentos em três pilares: saúde, sustentabilidade e conveniência (GRUNERT, 2013).

Os corantes alimentícios, classe de aditivos responsáveis por conferir, intensificar ou padronizar a cor dos alimentos, são amplamente aplicados em produtos destinados ao público infanto-juvenil, como bebidas, iogurtes, biscoitos, balas, confeitos e doces. Devido à fácil aplicação e estabilidade, os corantes artificiais são os preferidos pela indústria (MESSIAS et al., 2016). Entretanto, diversos estudos evidenciam que tais substâncias podem trazer inúmeros efeitos adversos à saúde humana. Tais malefícios podem ocorrer a curto, médio e longo prazo (FREITAS-SÁ et al., 2018). Assim, a substituição desses ingredientes artificiais por alternativas naturais e sustentáveis se faz de suma importância.

### ***3.2. Corantes alimentícios***

A cor é um dos atributos de maior importância para um alimento e tem impacto direto nas preferências alimentares dos indivíduos, em sua percepção sensorial, tendo relação intrínseca com a aceitação de um produto (NETO et al., 2015). Além disso, a cor de um alimento é o primeiro parâmetro de qualidade avaliado por um consumidor (ÜNAL ŞENGÖR et al., 2019). De acordo com SPENCE (2015), esse atributo sensorial é responsável também pela definição das expectativas sensoriais sobre o sabor e aroma dos alimentos, bem como expectativas hedônicas podem ser induzidas pela cor. Tais percepções e associações realizadas variam de acordo com cada indivíduo (HOPPU et al., 2018).

Nos alimentos, os corantes são os responsáveis pela cor e, de acordo com a definição de PASIAS et al. (2015), são substâncias utilizadas para restaurar e/ou padronizar a cor e a aparência de um alimento, ou ainda, remeter a uma dada característica, fazendo com que sejam mais atrativos aos consumidores, estimulando seu consumo. Essas substâncias podem ser de origem natural ou sintética, sendo essa diferenciação a responsável pela classificação dos corantes alimentícios.

Essa definição pode sofrer pequenas alterações, de acordo com a legislação vigente em cada país e/ou região. De acordo com o International Food Information Council (IFIC) e US Food and Drug Administration (FDA), os corantes alimentícios

fazem parte da categoria aditivo de cor, que é qualquer substância ou pigmento que é capaz de conferir cor a um alimento, podendo atuar de forma isolada ou em conjunto com outras substâncias. Além disso, o FDA preconiza corante como substância solúvel em água, enquanto os insolúveis são denominados lacas, que são aplicados quando se deseja colorir a gordura dos alimentos (FDA, 2010).

European Food Safety Authority (EFSA), órgão responsável pelas determinações e legislações relacionadas a alimentos na União Europeia, traz uma definição simples e direta para corantes alimentícios: aditivos usados para adicionar ou restaurar a coloração de um alimento (EFSA, 2016).

Enquanto no Brasil, a Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (SVS – MS), por meio da Portaria n° 540, de outubro de 1997, define corante alimentício como substância capaz de conferir, intensificar ou restaurar a cor em um alimento. Essa definição faz parte do regulamento técnico de aditivos alimentares (BRASIL, 1997). Essa portaria é complementar a Resolução n° 44, de 1977, expedida pela Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA), do Ministério da Saúde Brasileiro, que define corante alimentício como substância ou mistura de substâncias que tem a capacidade de conferir ou intensificar a cor de um alimento ou bebida.

De forma mais ampla, os corantes (naturais e sintéticos) fazem parte da categoria de aditivos alimentares, que são todo e qualquer ingrediente adicionado de forma intencional, com objetivo de modificar as características de alimentos e bebidas, sejam físicas, químicas, biológicas ou sensoriais. Os aditivos podem ser adicionados durante as diferentes etapas do processo produtivo de alimentos e bebidas – fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação. Vale destacar que o uso de um aditivo nunca poderá estar condicionado ao propósito de nutrir (BRASIL, 1997). Os corantes também podem dar cor a produtos incolores e promover a manutenção de alterações na coloração decorrentes do processamento (PASIAS et al., 2015).

Os corantes alimentícios podem ser divididos em 3 classes gerais, de acordo com sua natureza: naturais, artificiais e sintéticos idênticos aos naturais. Os corantes naturais são aqueles obtidos a partir de vegetais e animais e são produzidos naturalmente por esses seres vivos, enquanto os corantes artificiais são obtidos a partir de processo de síntese química e produzidos artificiais, não sendo oriundo do metabolismo natural de vegetais e animais, tendo estruturas químicas diferentes aos naturais. Já os corantes artificiais idênticos aos naturais são substâncias também sintetizadas de forma artificial, porém

possuem estruturas químicas idênticas ou similares aos corantes naturais (DAMADORAN et al., 2010). A divisão pode ocorrer de forma mais ramificada, trazendo categorias como orgânico natural, orgânico sintético, artificial, orgânico sintético idêntico ao natural, inorgânico, caramelo e caramelo obtido pelo processo amônia.

No que se refere à utilização no processamento de alimentos, a indústria alimentícia tende a optar pelos corantes artificiais (incluindo os sintéticos idênticos aos naturais), devido às diversas vantagens que esses possuem frente aos naturais: fácil aplicação e alta reprodutibilidade, maior estabilidade química e térmica no processamento e armazenamento, menor fotossensibilidade, menor custo e processos fáceis para obtenção (GORDILLO et al., 2018).

Entretanto, mesmo apresentando inúmeros benefícios, os corantes artificiais apresentam limitações para sua utilização, decorrente de indícios clínicos e evidências científicas sobre os efeitos deletérios à saúde humana em determinadas doses (CAROCHO et al., 2015). Diversos estudos indicam possíveis danos ocasionados pela exposição e/ou ingestão de corantes artificiais. O Quadro 1 traz alguns dos malefícios já elucidados na literatura científica pela ingestão ou exposição *in vivo* e *in vitro* a corantes naturais.

**Quadro 1** – Efeitos deletérios ocasionados por corantes alimentícios artificiais

CORANTE	EFEITOS DELETÉRIOS OBSERVADOS	REFERÊNCIA
Azul brilhante, carmoisina e tartrazina.	Redução do peso corporal, concentração de hemoglobina, contagem de glóbulos vermelhos. Além disso, foi observada a redução nas concentrações de glutatona; glutatona-S-transferase e atividades da superóxido dismutase no sangue e no fígado. O estudo observou o aumento das atividades das enzimas hepáticas ALT e AST, o que é considerado uma resposta de um processo patológico prejudicial que destrói as células do fígado com a resultante liberação dessas enzimas na circulação, podendo indicar uma redução na taxa de filtração glomerular como resultado de um quadro agudo disfunção renal.	EL-WAHAB & MORAM (2012)
Eritrosina B	Foi observado que a eritrosina B tem potencial genotóxico e mutagênico. Além disso, nas concentrações mais elevadas de corante, ocorreu dano direto ao DNA celular.	CHEQUER et al. (2012)
Tartrazina e carmoisina	A tartrazina altera as concentrações totais de colesterol e proteínas sanguíneas e as atividades enzimáticas, mesmo em baixas concentrações. Houve o aumento da concentração total de proteínas plasmáticas, os níveis séricos de creatinina e albumina plasmática, concentração dos níveis séricos de ureia e globulina e redução dos níveis totais de colesterol sanguíneo e dos antioxidantes hepáticos.	AMIN et al. (2010)
Amaranto	Em temperaturas próximas a 37 °C, o amaranto foi capaz de produzir lesões significativas ao DNA celular.	MPOUNTOUKAS et al. (2010)
Amaranto, vermelho allura e new coccine	Os 3 corantes alimentares provocaram danos ao DNA no cólon, mesmo em baixas concentrações. A exposição ao corante new coccine induziu danos ao DNA no cólon, estômago e bexiga.	TSUDA et al. (2001)

Assim, os corantes naturais sobrepõem-se aos artificiais, por propiciar características biológicas, nutricionais e, em alguns casos, físicas dos alimentos e promover, de forma eficiente, propriedades sensoriais e tecnológicas desejadas, além de uma possível contribuição na promoção da saúde humana, devido à presença de substâncias bioativas (FREITAS-SÁ et al., 2018).

Entretanto, corantes naturais também podem trazer danos à saúde humana. Como exemplo, pode-se citar o corante carmim de cochonilha, que é um corante natural obtido a partir de um inseto – cochonilha (*Dactylopius coccus*), amplamente utilizado na indústria alimentícia para a obtenção de colorações rosa e vermelha. Estudos indicam que a exposição a esse corante pode trazer danos, como: asma ocupacional (LIZASO et al., 2000; AÑÍBARRO et al., 2003), anafilaxia, urticária e/ou angioedema devido processos alérgicos (BALDWIN et al., 1997; WÜTHRICH et al., 1997; CHUNG et al., 2001), asma e rinoconjuntivite ocupacionais (ACERO et al., 1998; SUZUKI et al., 2011); urticária generalizada associada a angioedema perioral e periorbital, bem como náuseas, diarreia, cólicas abdominais e/ou dispneia (KÄGI et al., 1994; DICELLO et al., 1999, KOTOBUKI et al., 2007).

Os vegetais possuem ampla gama de componentes capazes de colorir. Tal diversidade pode ser observada nas diversas cores naturais de frutas, ervas, legumes, plantas, flores e hortaliças, justificando a ampla utilização de vegetais para a obtenção de corantes naturais variados (AYALA-ZAVALA et al., 2011). De forma geral, corantes obtidos a partir de vegetais seguem a seguinte sequência: extração, purificação, estabilização e padronização. Etapas podem ser adicionadas ou retiradas, de acordo com a matéria-prima utilizada. A incorporação do corante vegetal ao alimento pode ocorrer de forma direta ou por meio de modificação química – o que promove a obtenção de diferentes tons (SHAHID et al., 2013).

Uma matriz deve seguir alguns critérios para que seja considerável fonte viável de corantes naturais: boa disponibilidade, baixo preço e alto rendimento (STINTZING & CARLE, 2004). Esses critérios possibilitam a exploração de diversas fontes diferentes das convencionais para a obtenção de corantes naturais. Nos últimos anos, diversos estudos foram desenvolvidos sobre a utilização de fontes vegetais alternativas para a obtenção de corantes naturais, frutas regionais e exóticas, raízes, hortaliças, plantas alimentícias não convencionais, flores, resíduos agroindustriais são matrizes que ainda não são comercialmente utilizadas com esse propósito, mas que já foram estudadas e relatadas na literatura científica.

Em relação a aplicação de corantes naturais em alimentos, as agências reguladoras trazem especificações sobre algumas substâncias. De acordo com CAROCHO et al. (2015), muitos corantes naturais já são utilizados pela indústria de alimentos, sendo alguns deles presentes na legislação, além dos diversos estudos indicam fontes diferentes às legisladas. Beterraba desidratada, extrato de urucum, extrato de casca de uva, extrato de cochonilha ou carmim, oleorresina de páprica, cor de caramelo, sucos de frutas e vegetais, açafrão são alguns compostos citados pela FDA como aditivos naturais de cor, que divide os corantes alimentícios em duas classes: cores certificadas – produzidas sinteticamente e cores isentas de certificação – pigmentos derivados de fontes naturais (vegetal, mineral ou animal) (FDA, 2010).

Os corantes de fontes vegetais também devem apresentar rigorosos padrões de segurança antes de sua aprovação, não precisam ser declarados pelo nome nos rótulos, podendo ser declarados apenas pelo vegetal utilizado (FDA, 2010).

No Brasil, o Ministério da Saúde também permite a utilização de sucos e/ou os extratos de vegetais como corantes, desde que a finalidade de sua aplicação seja conferir ou intensificar a coloração própria do produto. Curcumina, clorofila, caramelo, carotenoides, xantofilas, vermelho de beterraba, antocianinas são alguns dos corantes naturais permitidos em alimentos (BRASIL, 1977). Ainda que o objetivo principal da aplicação dos corantes naturais em alimentos esteja relacionado à cor, efeitos secundários podem ser obtidos, tais como melhoria no perfil nutricional dos alimentos, elevação da atividade bioativa, alterações nas características físicas dos alimentos (como textura, cremosidade, capacidade de retenção de água), modificações nos aspectos sensoriais, entre outros (SHAHID et al., 2013).

De acordo com a Natural Food Colors Association, organização internacional sem fins lucrativos que atua em nome da indústria de corantes e/ou corantes naturais para alimentos, o conceito “*Colouring Foods*” vem crescendo constantemente entre as empresas do ramo alimentício. Esse conceito pode ser traduzido como ingredientes usados pela indústria com o objetivo principal de conferir cor aos alimentos e às bebidas e são obtidos a partir de frutas, vegetais, flores, especiarias, algas e / ou outras matérias-primas comestíveis, mas que possam trazer algum benefício adicional ao produto (NATCOL, 2013).

É de grande importância que sejam promovidos estudos envolvendo corantes naturais, a fim de permitir que mais matrizes sejam utilizadas e que os processos e matérias-primas já elucidados sejam otimizados, sem que as características dos produtos



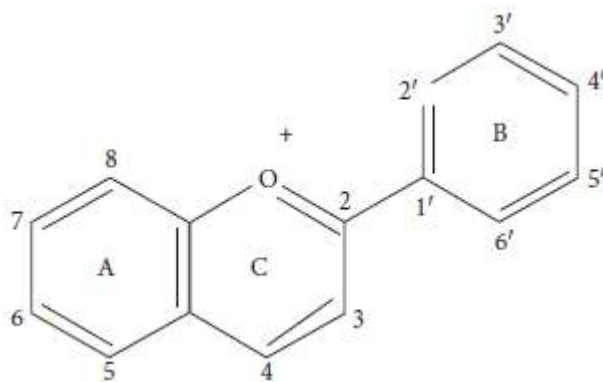
sejam modificadas e/ou perdidas, propiciando assim, o atendimento da demanda de mercado e a melhoria nutricional dos alimentos industrializados.

### **3.3. Antocianinas**

As antocianinas são flavonoides glicosados que ocorrem naturalmente na natureza (WROLSTAD & CULVER, 2012). Solúveis em água, esses polifenóis fazem parte dos metabólitos vegetais especializados, que possuem capacidade de pigmentação, conferindo a plantas uma ampla gama de cores, podendo ir do vermelho vívido, passando pelo laranja brilhante, rosa, às cores violeta e azul, podendo ocorrer nas flores, folhas, raízes, sementes e frutos de algumas plantas (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2014; SIGURDSON et al., 2017). Alguns exemplos de vegetais ricos em antocianinas são frutas vermelhas, ameixas, uvas e vegetais como repolho e cenoura roxo, batata-doce de polpa roxa, entre outros (SIVAMARUTHI et al., 2018).

A molécula de antocianina apresenta a seguinte estrutura: ligação entre  $\alpha$  ou  $\beta$ -antocianidina (aglicona) a um ou mais açúcares/carboidratos, ou ainda, ligado a grupamentos ácidos. Agliconas são grupamentos não glicídicos que formam parte de um glicosídeo. Justamente a ligação da antocianidina a uma molécula de açúcar que caracteriza a forma glicosídica, resultando na antocianina (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009; SIGURDSON et al., 2017). As antocianinas podem ser encontradas de duas formas: estrutura primária ligada a glicosídeos e em formas aciladas. Entretanto, a forma mais predominante em plantas ricas em antocianinas é a glicosada (SIVAMARUTHI et al., 2020).

De forma geral, as antocianinas têm como característica o cátion flavílio, um esqueleto base formado por 15 átomos de carbono, seguindo a conformação  $C_6C_3C_6$  (Figura 1).

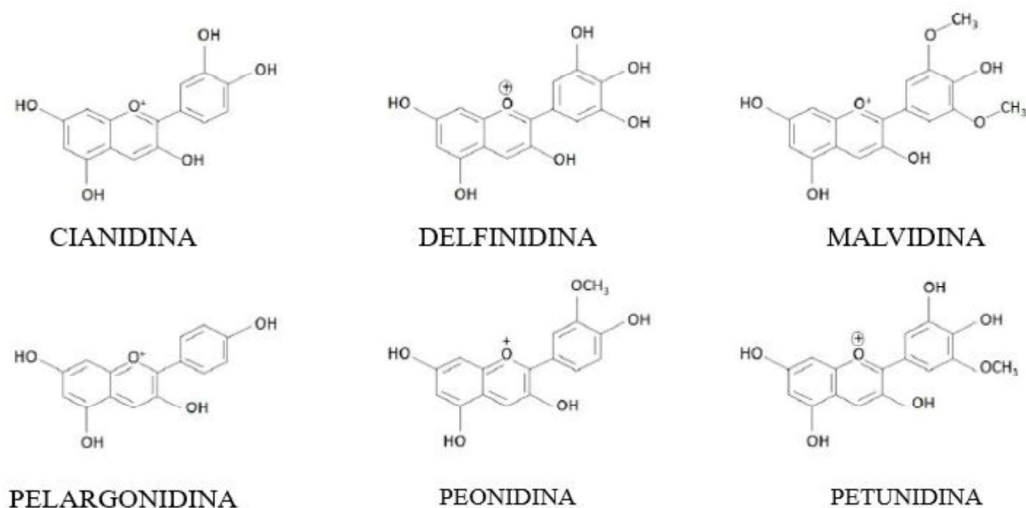


**Figura 1** - Estrutura química do cátion flavílio

**Fonte:** AZZINI et al. (2017)

Há uma enorme variedade de antocianinas na natureza, onde a variação é decorrente de alguns fatores importantes: quantidade de grupamentos hidroxilados, número e tipo de açúcar ligado a sua estrutura, bem com as ligações que os carboidratos realizam com outros grupamentos (carboxilatos alifáticos ou aromáticos) e a posição que as ligações ocorrem (KONG et al., 2003). As diferentes combinações desses fatores, com às 23 diferentes antocianidinas já relatadas na literatura científica, resultam na existência de mais de 500 antocianinas (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2014). Entretanto, apenas 6 tipos de antocianidinas ocorrem em maior frequência na natureza – cianidina, pelargonidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina, que possuem estruturas químicas com pequenas diferenciações, conforme a Figura 2 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2016).

Além da variação decorrente das diferentes estruturas químicas das antocianinas, esses flavonoides podem sofrer modificações pelas diferentes condições do meio, podendo ser afetados pela temperatura, presença de copigmentos, exposição à luminosidade, acidez e pH, podendo levar a diferentes características de cor e estabilidade das antocianinas (ALBUQUERQUE et al., 2020; ARICI et al., 2016). Porém, nem sempre essas modificações são indesejadas.

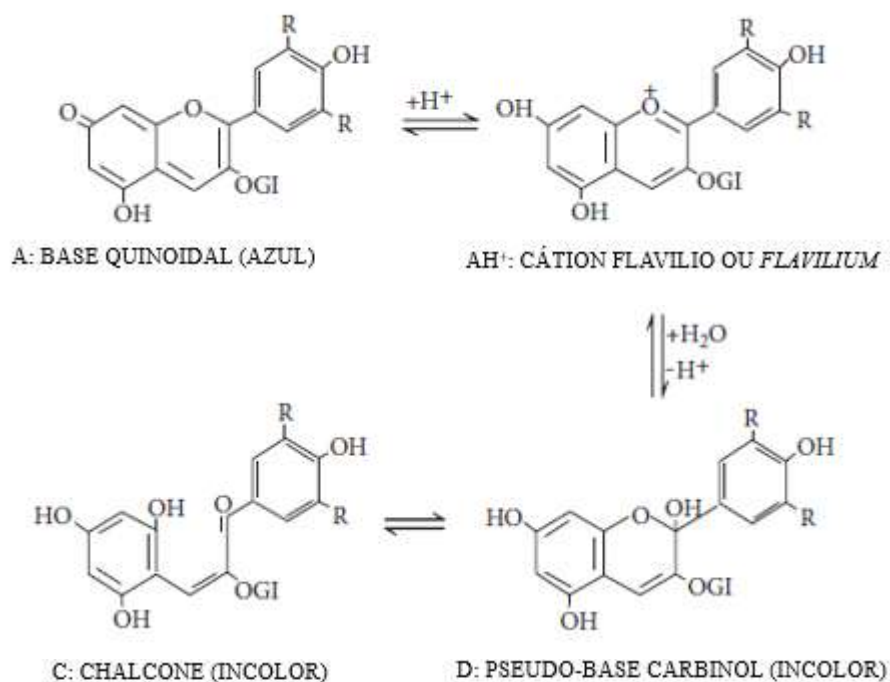


**Figura 2** – Estrutura química de seis antocianidinas ocorrentes na natureza

**Fonte:** Adaptado de SIVAMARUTHI et al. (2020)

A suscetibilidade das antocianinas frente a diferentes valores de pH permite a chamada interconversão de cores, ou seja, as antocianinas são capazes de apresentar colorações diferentes, de acordo com as características do pH do meio, podendo ser revertida. Assim, quando expostas a condições ácidas (meios com  $\text{pH} \leq 3$ ), as antocianinas têm coloração vermelha em geral. Isso ocorre porque em pH baixos, o cátion flavílio (ou *flavilium*) é a espécie predominante, contribuindo para a formação da coloração vermelha. Cabe ressaltar que as antocianinas são muito estáveis em pH baixos (1,00 – 3,00). Com a elevação dos valores do pH, o íon flavílico assume sua forma protonada ( $\text{AH}^+$ ) e assume coloração vermelha. Em meios com valores de pH compreendidos entre 3 e 6 é observada a perda de coloração, devido a formação de uma pseudo-base – carbinol (D) e a chalcona (C). Já em  $\text{pH} \geq 6$ , são formadas bases quinonoidais, que resultam em coloração roxo azulado – formação da base quinoidal (A). Esses valores de pH podem alterar de acordo com a estrutura da antocianina envolvida. As reações que ocorrem ( $\text{A} \rightarrow \text{AH}^+$ ;  $\text{AH}^+ \rightarrow \text{B}$ ;  $\text{B} \rightarrow \text{A}$ ;  $\text{B} \rightarrow \text{C}$ ) são endotérmicas. A

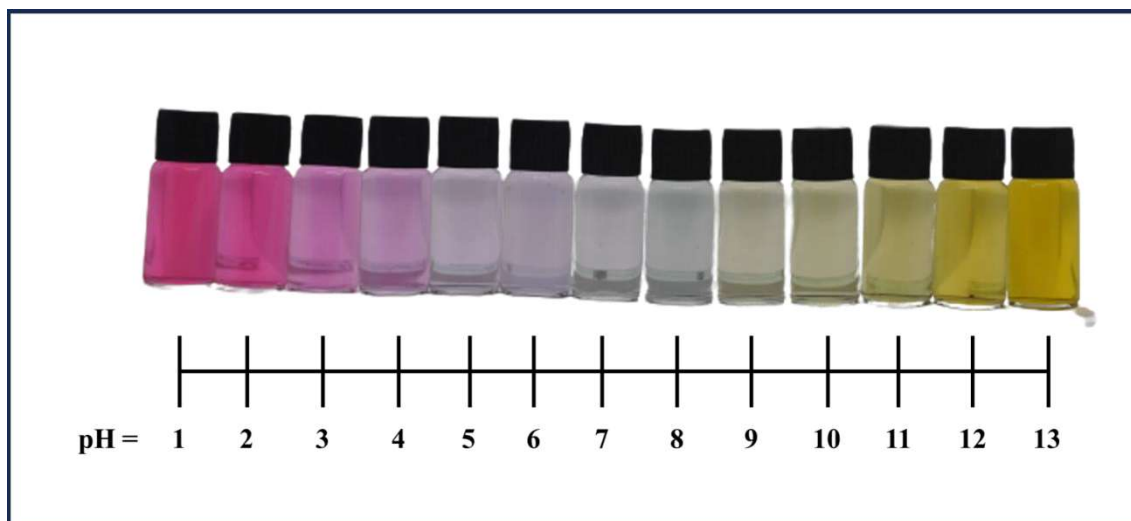
Figura 3 traz as mudanças na estrutura da antocianina, a partir das alterações do pH em relação à antocianidina Malvidina-3-O-glucosídeo (AZZINI et al., 2017)



**Figura 3** – Variações da estrutura química das antocianinas em faixas diferentes pH

**Fonte:** Adaptado de AZZINI et al. (2017)

Assim, ao aplicar um ingrediente alimentício para o desenvolvimento de um produto, diferentes respostas podem ser observadas, de acordo com as características de processo aplicado e meio (SIGURDSON et al, 2017). A Figura 4 traz uma exemplificação das cores obtidas a partir da variação do pH de um meio contendo antocianinas de batata-doce de polpa roxa.



**Figura 4** – Variações da coloração das antocianinas presentes na batata-doce de polpa roxa frente a soluções de diferentes pH

**Fonte:** Autoria própria (2022)

A ingestão de antocianinas pode trazer melhorias ao organismo (AGCAM et al., 2017). Esses compostos apresentam uma ampla gama de efeitos biológicos e bioativos, dos quais se destacam: antimicrobiano, anti-inflamatório, vasodilatador e antioxidante, proteção cardiovascular, impacto benéfico frente à obesidade e diabetes (ACOSTA-ESTRADA et al., 2014; WRIGHT et al., 2021). Diversos estudos relatam sobre alguns benefícios à saúde e efeitos biológicos benéficos das antocianinas (Quadro 2).

**Quadro 2 – Benefícios decorrentes da ingestão de antocianinas.**

<b>BENEFÍCIO(S) À SAÚDE ESTUDADO(S)</b>	<b>PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
Manutenção da memória episódica e de trabalho em adultos mais velhos a partir da ingestão de extrato purificado de mirtilo selvagem	Melhoria no desempenho da memória episódica em uma população idosa e redução dos fatores de risco cardiovascular ao longo de 6 meses quando ministrado	WHYTE et al. (2018)
Efeitos antiobesidade e antioxidantes do extrato de batata-doce roxa em adipócitos	O extrato apresentou propriedades antilipogênicas, anti-inflamatórias e lipolíticas, além de ter efeitos sobre os adipócitos, bem como promover a eliminação e redução de radicais livres.	JU et al. (2011)
Inibição do crescimento de células tumorais humanas por antocianidinas purificadas (componentes das antocianinas) não tóxicas oriundas de antocianinas de frutas e vegetais	As antocianinas não inibiram a proliferação de células tumorais. Porém, as antocianidinas obtidas por purificação apresentaram atividade inibitória da proliferação celular.	ZHANG et al. (2005)
Efeitos neuro protetores de um extrato rico em antocianinas obtido do farelo de cevada.	O extrato teve efeito neuro protetor, a partir da indução de dano hipóxico em células indesejáveis, mantendo a viabilidade celular, além de restaurar a morfologia celular e inibir o vazamento de desidrogenase (LDH). Também foi observada a redução dos níveis de espécies reativas ao oxigênio, tendo atividade antioxidante, inibindo a apoptose celular e atenuando a parada do ciclo celular.	ZHANG et al. (2021)

As antocianinas apresentam características favoráveis à sua utilização como corantes alimentares, como solubilidade em água, inocuidade, ampla bioatividade e elevado número de possíveis fontes renováveis (BACKES et al., 2020). Contudo, há também alguns limitantes para tal utilização, como: sensibilidade à luz e ao calor, estabilidade e coloração afetadas pela presença de oxigênio e condições de pH (SIGURDSON et al., 2017).

Assim, diversos estudos vêm sendo realizados ao longo dos anos para avaliar as melhores formas de processamento para a obtenção e/ou utilização das antocianinas, de modo que, esses flavonoides encontrem-se estáveis. A estabilidade da cor das antocianinas pode ser estabilizada e destacada por meio da copigmentação, que consiste na reação ou interação fraca das antocianinas com outras moléculas presentes na planta. Esse processo também pode ser realizado durante o processamento. Os ácidos orgânicos são exemplos de copigmentos, que podem se ligar às antocianinas por meio de suas ligações de éster (SCHIOZER & BARATA, 2013; SIGURDSON et al., 2017).

A capacidade antioxidante e antimicrobiana das antocianinas também pode ser explorada, a fim de fornecer estabilidade aos produtos e aumento da vida útil dos alimentos (SILVA et al., 2017). Dessa forma, a utilização das antocianinas na indústria de alimentos pode proporcionar a exploração de um ingrediente multifuncional, com funções além de conferir cor, sendo assim, são necessários estudos sobre a aplicação, melhoria e estabilização desse componente e/ou matéria prima que o contenha, a fim de incentivar a implantação de ingredientes contendo antocianinas de forma mais destacável na indústria alimentícia.

### **3.4. Batata-doce de polpa roxa**

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) é um das raízes mais consumidas em todo o mundo. Originária da América Central, mais precisamente da região da Península de Yucatam

(situada entre os países do México e Colômbia). Durante as Grandes Navegações, expedições espanholas e portuguesas foram responsáveis em difundir a batata-doce na Europa e nos outros continentes através das rotas comerciais, onde o cultivo é observado até hoje (SRISUWAN et al., 2006).

Devido à sua grande adaptação frente a diferentes condições climáticas e fácil manejo, seu cultivo pode ser observado em diferentes regiões do mundo. Além disso, esse vegetal pode ser cultivado em regiões e solos de baixa fertilidade, o que favorece a sua produção (MONTEIRO et al., 2007; PILON et al., 2020). É uma planta perene, ou seja, mantém pelo menos parte da sua estrutura aérea ao longo de todo o ano, mas é cultivada como planta anual (SRISUWAN et al., 2006).

Mesmo como a produção de batata-doce sendo observada em mais de 111 países e regiões, a China é responsável por 65,6% das 92 milhões de toneladas, enquanto o Brasil ocupa 16ª posição no ranking de países produtores, contribuindo com 0,8% da produção mundial de batata-doce (TRIDGE, 2019; FAO, 2020). Em 2022, a produção brasileira foi de 847.100 toneladas, sendo responsável por uma movimentação de R\$ 1.413.645,00 (IBGE, 2022). Outras características também favorecem o amplo cultivo da batata-doce ao redor do mundo, tais como: crescimento rápido, alto rendimento por hectare e baixa necessidade de insumos (WILLIAMS et al., 2013; MEKONNEN et al., 2015).

Classificada como uma dicotiledônea, a batata-doce pertence à família *Convolvulaceae*, sendo a única raiz com característica hexaplóide, o que acarreta em um grande número de variedades (ECHER et al., 2009; ERPEN et al., 2013; SILVA et al., 2015). Essa variação pode ocorrer na polpa e na casca, tendo as seguintes colorações: amarela, laranja (salmão), creme, branca ou roxa (LOW et al., 2009), conforme exemplificado a Figura 5.





**Figura 5** – Variações da batata doce

**Fonte:** <https://www.vivernatural.com.br/saude-natural/a-batata-doce/>

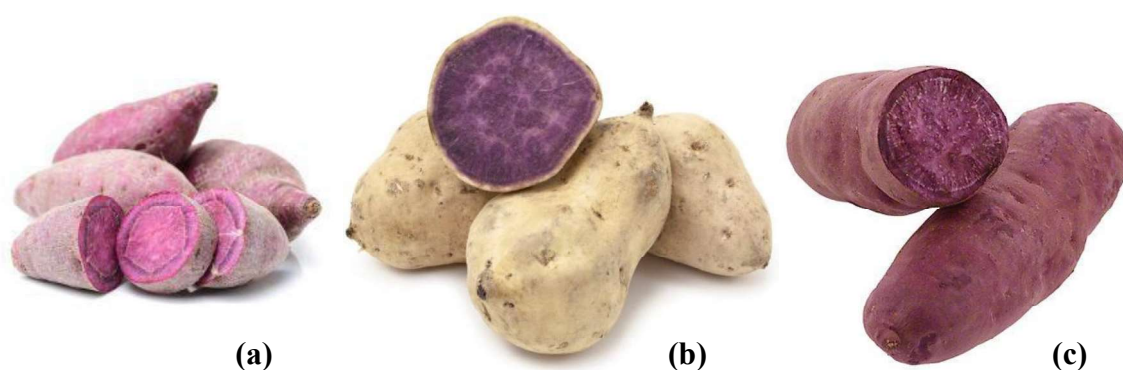
Considerada um alimento de subsistência devido ao seu alto valor energético (CARDOSO et al., 2007), a relevância da batata-doce não se restringe apenas à agricultura. Devido à sua destacável qualidade nutricional, essa raiz é de grande importância para a alimentação em países em desenvolvimento. De acordo com WEENUTTRANON (2018), a batata-doce pode ser considerada uma fonte de diferentes macros e micronutrientes, como carboidratos (em especial, o amido), proteínas, minerais e vitaminas. ZHU & SUN (2019) declaram ainda que esse raiz também é fonte de fibras. A Tabela 1 traz composição de macronutrientes presentes na batata-doce, conforme descrito na literatura científica.

**Quadro 3** – Valor calórico e composição química (umidade, carboidratos, proteínas, lipídios, fibra alimentar, cinzas e amido total) da polpa de raízes de batata-doce

Cor da polpa da raiz de batata-doce	Calorias (kcal)	Umidade (%)	Carboidratos (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Fibra Alimentar (%)	Cinzas (%)	Amido (g/100 g de batata)	Referência
Amarela	76	n/a	17,72	1,37	0,14	2,50	n/a	n/a	IBGE, 2011
Amarela	118	69,5	28,2	1,30	0,10	2,60	0,9	n/a	NEPA, 2011
Amarela	86	n/a	20,12	1,57	0,05	3,00	0,99	n/a	USDA, 2019
Roxa	n/a	68,2	n/a	6,41*	0,72*	2,35*	2,06*	68.6	JI et. al. (2015)
Vermelha	n/a	67,4	n/a	6,32*	0,76*	2,21*	3,21*	60.1	
Amarela	n/a	72,5	n/a	4,86*	0,64*	1,90*	1,98*	70.2	
Branca	n/a	70,4	n/a	6,53*	0,56*	1,85*	1,68*	71.4	
Roxa	n/a	63,51 ± 0,20	90,63 ± 0,10*	1,82 ± 0,04*	1,29 ± 0,02*	2,79 ± 0,03*	3,47 ± 0,05*	n/a	CURAYAG et al. (2019)
Branca	n/a	86,45 ± 0,27	65,10 ± 0,28*	4,96 ± 0,10*	12,17 ± 0,53*	2,52 ± 0,23*	1,47 ± 0,03*	62,24 ± 0,10	SALAWU et al. (2015)
Roxa	n/a	88,79 ± 0,25	65,17 ± 0,93*	6,54 ± 0,10*	11,77 ± 0,64*	3,33 ± 0,14*	1,98 ± 0,01*	54,14 ± 0,54	

\*teores calculados em base seca; n/a: não se aplica.

Além disso, esses vegetais podem ser fontes de outros nutrientes e compostos com características bioativas e funcionais, cuja concentração está condicionada à variedade e/ou cultivar da batata-doce (PILON et al, 2020). Dentre as variações, destaca-se a batata-doce de polpa roxa, que também apresenta variações de cor na casca e polpa, conforme apresentado na Figura 6.



**Figura 6 (a, b e c) – Variações da batata-doce de polpa roxa**

**Fontes:** (a) <https://www.asiamarket.ie/fresh-purple-sweet-potato-1kg.html>

(b) <https://www.amazon.com/Okinawa-Purple-Potato-Excellent-Flavor/dp/B083GT1FBR>

(c) <https://centralmarket.com/product/fresh-organic-purple-sweet-potatosold-by-the-pound/>

Com altos teores de antocianinas e compostos fenólicos, a batata-doce de polpa roxa (*Ipomoea batatas* L. Lam) vem ganhando espaço entre os consumidores. A Tabela 2 traz as concentrações de substâncias bioativas presentes na batata-doce de polpa roxa, conforme relatado em artigos científicos.

**Quadro 4** – Teores de antocianinas monoméricas totais, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (métodos DPPH, ORAC, ABTS e FRAP) em raízes batata-doce de polpa roxa

Variedade	Antocianinas monoméricas totais (mg/g)	Compostos fenólicos totais (mg CAE/100 g)	Atividade antioxidante pelo método DPPH ( $\mu\text{mol TE/g}$ )	Atividade antioxidante pelo método DPPH ( $\mu\text{mol TE/g}$ )	Atividade antioxidante pelo método ABTS ( $\mu\text{mol TE/g}$ )	Atividade antioxidante pelo método FRAP ( $\mu\text{mol TE/g}$ )	Referência
Jizi-01	6,23	54,3	81,2	n/a*	n/a*	n/a*	JI et al. (2015)
Stokes	107,8 $\pm$ 1,8b	469,9 $\pm$ 13,8d	79,8 $\pm$ 1,9b	58,7 $\pm$ 1,2b	n/a*	n/a*	STEED & TRUONG (2008)
Torperk	21,81 $\pm$ 0,5	206,2 $\pm$ 1,3	167,04 $\pm$ 1,4	n/a*	61,40 $\pm$ 1,1	n/a*	SOISON et al. (2014)
P40	7,5 $\pm$ 0,4	74,6 $\pm$ 0,29	n/a*	n/a*	n/a*	84,4 $\pm$ 1,4	LIM et al. (2013)
Dori	1,78 $\pm$ 0,35	13,24 $\pm$ 0,01	64,54 $\pm$ 2,16	n/a*	n/a*	n/a*	EKAPUTRA & PRAMITASARI (2020)

\*n/a = não se aplica

Ainda que a difusão da batata-doce de polpa roxa na alimentação ocidental seja recente, registros indicam o consumo desta raiz na região de Okinawa (Japão) desde o século 17. A variedade consumida nessa região apresenta casca branca e polpa roxa, onde recebe a denominação de “Beni imo”, ou ainda, batata-doce “Okinawa” (TANAKA et al., 2017).

A mudança no estilo de vida da população e a inserção de outros alimentos na dieta humana levou a realização de estudos, que tiveram como objetivo investigar as alterações ou possíveis alterações que seriam provocadas pela ingestão dessa raiz ou pela exposição aos seus componentes.

Os componentes presentes na batata-doce de polpa roxa estão associados à prevenção ao risco e incidência de doenças degenerativas (LIM et al., 2013). OKI et al. (2009) verificaram que os compostos presentes nessa batata-doce são capazes de inibir a absorção de oxigênio por radicais livres. SUGATA et al. (2015) observaram que a batata-doce de polpa roxa tem atividades anti-inflamatórias e anticancerígenas, enquanto YOSHIMOTO e colaboradores realizaram estudos nos anos de 1999 e 2001, onde descobriram que a ingestão desta raiz pode levar a ocorrência da atividade antimutagênica no organismo (YOSHIMOTO et al., 1999, 2001). WANG et al. (2017) relataram a inibição de inflamação hepática pelas antocianinas presentes em batata-doce de polpa roxa. Efeitos anti-hiperglicêmico devido à inibição da enzima  $\alpha$ -glucosidase (MATSUI et al., 2002), antiaterosclerótico (MIYAZAKI et al., 2008), anti-hipertensiva (KOBAYASHI et al., 2005) também foram relatados. Assim, a incorporação da batata-doce de polpa roxa na alimentação humana, seja na forma de preparações ou ainda como ingrediente alimentício, é extremamente atrativa nos aspectos nutricionais e bioativos.

### ***3.5. Aplicação tecnológica da batata-doce de polpa roxa na produção de alimentos***

Conforme descrito anteriormente, a batata-doce de polpa roxa apresenta conteúdos de macronutrientes, micronutrientes e compostos bioativos de grande destaque para a indústria

alimentícia. Baixos teores de lipídios, conteúdos satisfatórios de fibras e proteínas (Tabela 1) e altas concentrações de antocianinas (Tabela 2) são alguns atributos desejáveis para a elaboração de produtos alimentícios.

Segundo OLIVEIRA e colaboradores (2019), as antocianinas presentes na batata-doce de polpa roxa têm maior resistência frente às condições do trato gastrointestinal, quando comparadas a antocianinas menos complexas, como as antocianinas presentes no vinho tinto. Essas características têm propiciado a utilização da batata-doce como fonte de corantes naturais alimentícios. No mercado asiático, em especial no Japão, a batata-doce de polpa roxa, juntamente com a casca da uva e raízes de rabanete vermelho são as principais fontes de antocianinas para aplicação como corante natural (TANAKA et al., 2017). Tal estabilidade é altamente desejável para sua aplicação como corante alimentício (SCHIOZER & BARATA, 2013; SIGURDSON et al., 2017), além de atender as premissas do movimento *clean label*, por possibilitar um corante de origem natural (ROOBAB et al., 2021).

Além das antocianinas, há outro componente de grande interesse tecnológico presente na batata-doce de polpa roxa. Essa raiz é uma reconhecida fonte de amido, podendo estar presente em concentrações mínimas de 50% e superiores a 70% (Tabela 1). O amido é um polissacarídeo de grande importância para a indústria alimentícia, associado a diversas funções tecnológicas. De acordo com Bangar et al. (2022), há uma constante busca por fontes de amido nativo, visando possíveis modificações em prol de melhorias no processamento e industrialização de alimentos. Os autores ainda ressaltam as principais funcionalidades do amido com ingrediente, das quais destacam-se: espessante, emulsificante, material de revestimento e encapsulamento, agente ligante, estabilizante, gelificante. Além disso, o amido pode ter impactos desejáveis na textura e umidade de produtos.

No mercado asiático diversos produtos como sorvetes, bolos, chocolates, produtos de panificação, cremes, têm a batata-doce de polpa roxa como ingrediente ou base para suas formulações (Figuras 7 a 15).



**Figura 7** – Donut com cobertura de batata-doce da empresa Mister Donut®

**Fonte:** <https://globaljapao.com/mister-donut-apresenta-nova-linha-de-rosquinhas-de-batata-doce/>



**Figura 8** – Biscoito wafer com cobertura de chocolate e batata-doce da empresa Nestlé®

**Fonte:** <https://www.megacurioso.com.br/oriente-bizarro/42333-conheca-15-sabores-de-kit-kat-que-sao-vendidos-apenas-no-japao.htm>



**Figura 9** – Sobremesa típica do Japão (Beni imo tart)

**Fonte:** <http://www.japanculture-nyc.com/food-fairs-and-festivals-at-mitsuwa/>



**Figura 10** – Snack Jagabee® da empresa Calbee®

**Fonte:** <http://singaporesupermarketrecipes.com/snack-attack-part-6-calbee-jagabee-purple-potato-chips-is-everywhere/>





**Figura 11** – Chips de batata-doce de polpa roxa

Fonte: <https://soraneews24.com/tag/murasaki-imo/>



**Figura 12** – Sorvete de batata-doce da empresa Haagen-Dazs®

Fonte: <http://foodsciencejapan.blogspot.com/2012/12/haagen-dazs-murasaki-imo.html>



**Figura 13** – Produto de panificação recheado com batata-doce de polpa roxa (Sata Andagi)

Fonte: <https://kenkoroot.com/collections/snacks/products/beniimo-sata-andagi>



**Figura 14** – Geleia de batata-doce de polpa roxa

**Fonte:** [http://61.126.30.156/subpage/sub-chinmi-\(jam\).html](http://61.126.30.156/subpage/sub-chinmi-(jam).html)



**Figura 15** – Produto de panificação recheado com batata-doce de polpa roxa (Beni-Imo Kunpen)

**Fonte:** <http://newcafe-oist.blogspot.com/2013/08/quest-for-kunpen-part-2-department.html>

Farinhas de batata-doce de polpa roxa também são encontradas no mercado internacional. Esses produtos são ofertados com o objetivo de aplicação como corante ou ingrediente alimentício base em preparações culinárias ou produtos industrializados (Figuras 16, 17 e 18). A liofilização é um dos processos utilizados para a obtenção dos pós.



**Figura 16** – Batata-doce de polpa roxa em pó comercializada no Reino Unido

**Fonte:** <https://www.amazon.co.uk/PURPLE-SWEET-POTATO-POWDER-100/dp/B013S2HUZY>



**Figura 17** – Batata-doce de polpa roxa em pó obtida por liofilização comercializada na China

**Fonte:** <https://www.nutraonly.com/fd-vegetable-and-fruit-powder/freeze-dried-purple-sweet-potato-powder.html>



**Figura 18** – Batata-doce de polpa roxa em pó e desidratada comercializada no Brasil pela empresa Cindaco®

**Fonte:** [https://www.specialtyproduce.com/produce/Okinawan\\_Yams\\_1697.php](https://www.specialtyproduce.com/produce/Okinawan_Yams_1697.php)

Estudos avaliaram a aplicação ou elaboração de produtos a partir da batata-doce de polpa roxa em produtos alimentícios, obtendo resultados promissores, conforme descrito no Quadro 3.

**Quadro 3** – Estudos científicos com produtos alimentícios elaborados ou adicionados de batata-doce de polpa roxa

<b><i>Produto aplicado/ elaborado</i></b>	<b><i>Objetivo(s) do estudo</i></b>	<b><i>Principais resultados obtidos</i></b>	<b><i>Referência bibliográfica</i></b>
Pão cozido no vapor biofortificado com batata-doce de polpa roxa	Avaliar o impacto da adição de farinha liofilizada de batata-doce de polpa roxa em pão cozido no vapor nas propriedades químicas e sensoriais.	A adição da farinha liofilizada resultou no aumento da capacidade antioxidante nos pães e na redução de sua resposta glicêmica. Houve aumento da dureza e redução do volume específico. Em algumas concentrações, a adição da farinha resultou no aumento da aceitação sensorial global.	ZHU & SUN (2019)
Sorvete adicionado de batata-doce de polpa roxa	Avaliar o impacto da adição do purê de batata-doce em sorvetes e determinar as melhores formulações frente a manutenção das características e bioativas.	A adição do purê de batata de polpa roxa resultou na alteração na concentração de água e melhoria na capacidade antioxidante, além de conferir antocianinas ao produto.	SUDJATINAH et al. (2020)
Salsichas de porco cozidas adicionadas de farinha de batata-doce de polpa roxa	Avaliar os impactos da adição do pó de batata-doce de polpa roxa nas propriedades físicas e características sensoriais de linguiça de porco cozida a fim de reduzir a quantidade de nitrato e nitrito.	Foram observadas alterações na cor, fragilidade e dureza das salsichas adicionadas de pó de batata-doce, entretanto, com boa aceitação das salsichas elaboradas e melhoria nas características sensoriais do produto.	JIN et al. (2012)
Suco de batata-doce de polpa roxa	Determinar o melhor processamento para a obtenção do suco de batata-doce de polpa roxa, visando a maior concentração de antocianinas e capacidade antioxidante, utilizando diferentes (5, 10 e 15 minutos) e temperaturas (70, 80 e 90 °C) de processo.	Maiores concentrações de antocianinas totais e capacidades antioxidantes foram registradas no tratamento a 80 °C por 5 minutos. Tempos e temperaturas elevadas quando aplicadas em conjunto resultam na maior degradação das antocianinas.	DWIYANTI et al. (2018)
Bolos adicionados de batata-doce de polpa roxa	Avaliar o impacto de tratamentos prévios à produção de farinha de batata-doce nas características físicas e sensoriais de bolos, devido à exposição a soluções ácidas de diferentes concentrações e tratamento térmico.	A exposição a concentrações mais baixas de ácido cítrico e branqueamento por vapor resultaram em amostras com maior luminosidade, menor escurecimento observado, maior expansão dos bolos e maior aceitação por escala hedônica. Os bolos feitos com farinha de trigo convencional e com farinhas tratadas tiveram aceitações sensoriais semelhantes.	HUTASOIT et al. (2018)
Biscoitos adicionados de batata-doce de polpa roxa	Avaliar a aplicação da batata-doce de polpa roxa na elaboração de biscoitos em diferentes formas: <i>in natura</i> , farinha e pasta, avaliando o teor de antocianinas, compostos fenólicos e capacidades antioxidantes.	As três formas de aplicação da batata-doce de polpa roxa resultaram no realce da cor roxa nos biscoitos. O processamento resultou em perdas na capacidade bioativa entre 15 e 36%.	AZIZ et al. (2018)

Empresas de grande porte da indústria de alimentos vem desenvolvendo pesquisas e propondo a utilização da batata-doce de polpa roxa como corante. A empresa Döhler, uma das líderes no mercado global de ingredientes naturais, tendo mais de 10.000 aplicações no mercado, oferta concentrados vegetais e corantes naturais para aplicação em bebidas não alcoólicas, bebidas alcoólicas, lácteos, balas, gomas, confeitos e produtos de panificação, a partir da utilização das antocianinas presentes na batata-doce de polpa roxa, cenoura preta e uva (DÖHLER, 2021). Sylvestre, empresa brasileira de ingredientes naturais, também apresenta em seu portfólio um pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa, com amido de milho, fécula de mandioca, fibra solúvel, maltodextrina de mandioca, maltodextrina de milho e polidextrose dextrina (SYLVESTRE, 2021). Já a empresa Chr. Hansen, uma das mais importantes empresas de ingredientes e insumos alimentícios do mundo, vem desenvolvendo estudos com batata-doce de polpa roxa, a Hansen sweet potato<sup>®</sup>, batata-doce de polpa roxa desenvolvida com o objetivo de se obter um corante natural, a fim de propor uma alternativa natural e renovável ao carmim e aos vermelhos sintéticos. A empresa recebeu diversos prêmios nos anos de 2019 e 2020 (Figura 19) devido a este projeto, que se iniciou-se há mais de 10 anos, onde foram realizadas modificações na raiz, sem que fosse geneticamente modificado, ou seja, não-OGM (CHR. HANSEN, 2020).



**Figura 19** – Prêmios recebidos pela Chr. Hansen<sup>®</sup>

**Fonte:** <https://www.chr-hansen.com/pt/natural-colors/agronomy/hansen-sweet-potato>

Entretanto, estudos sobre a aplicação dessa raiz como ingrediente no mercado brasileiro ainda é incipiente e limitada a determinados produtos. A incorporação da batata-doce polpa roxa em produtos alimentícios mostra-se promissora, apresentando características bioativas, sensoriais, físicas e químicas desejáveis. Assim, propor o uso da batata-doce de polpa roxa como ingrediente alimentício multifuncional se faz necessário, tornando-se uma alternativa para conferir benefícios para a saúde, bem como propiciar a melhoria da qualidade nutricional de produtos alimentícios.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACERO, S.; TABAR, A. I.; ALVAREZ, M. J.; GARCIA, B. E.; OLAGUIBEL, J. M.; MONEO, I. Occupational asthma and food allergy due to carmine. **Allergy**, v. 53, n. 9, p. 897-901, 1998.
- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, v. 152, p. 46–55, 2014.
- AGCAM, E.; AKYILDIZ, A.; BALASUBRAMANIAM, V. M. Optimization of anthocyanins extraction from black carrot pomace with thermosonication. **Food Chemistry**, v. 237, p. 461–470, 2017.
- ALBUQUERQUE, B. R.; PINELA, J.; BARROS, L.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; FERREIRA, I. C. F. R. Anthocyanin-rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product. **Food Chemistry**, v. 316, p. 126364, 2020.
- ALBUQUERQUE, B. R.; PRIETO, M. A.; BARREIRO, M. F.; RODRIGUES, A. E.; CURRAN, T. P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Catechin-based extract optimization obtained from *Arbutus unedo* L. fruits using maceration/microwave/ultrasound extraction techniques. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 404–415, 2017.
- AMIN, K. A.; HAMEID, H. A.; ELSTTAR, A. H. A. Effect of food azo dyes tartrazine and carmoisine on biochemical parameters related to renal, hepatic function and oxidative stress biomarkers in young male rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, p. 2994-2999, 2010.
- ANÍBARRO B, SEOANE J, VILA C, MÚGICA V, LOMBARDERO M. Occupational asthma induced by inhaled carmine among butchers. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, v. 16, n. 2, p. 133-137, 2003.
- APHA. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4th ed ed. Washington, DC: USA: APHA International, 2001.

ARICI, M.; KARASU, S.; BASLAR, M.; TOKER, O. S.; SAGDIC, O.; KARAAGACLI, M. Tulip petal as a novel natural food colorant source: Extraction optimization and stability studies. **Industrial Crops and Products**, v. 91, p. 215–222, 2016.

ASCHEMANN-WITZEL, J. Consumer perception and trends about health and sustainability: Trade-offs and synergies of two pivotal issues. **Current Opinion in Food Science**, v. 3, p. 6–10, 2015.

ASCHEMANN-WITZEL, J.; VARELA, P.; PESCHEL, A. O. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping. **Food Quality and Preference**, v. 71, p. 117–128, 2019.

ASIOLI, D.; ASCHEMANN-WITZEL, J.; CAPUTO, V.; VECCHIO, R.; ANNUNZIATA, A.; NÆS, T.; VARELA, P. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, v. 99, p. 58–71, 2017.

AYALA-ZAVALA, J. F.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J. A.; SIDDIQUI, M. W.; DÁVILA-AVIÑA, J. E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1866–1874, 2011.

AZIZ, A. A.; PADZIL, A. M.; MUHAMAD, I. I. Effect of incorporating purple-fleshed sweet potato in biscuit on antioxidant content, antioxidant capacity and colour characteristics. **Malaysian Journal of Analytical Sciences**, v. 22, n. 4, p. 667–675, 2018.

AZZINI, E.; GIACOMETTI, J.; RUSSO, G. L. Antiobesity Effects of Anthocyanins in Preclinical and Clinical Studies. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2017, n. ii, 2017.

BACKES, E.; LEICHTWEIS, M. G.; PEREIRA, C.; CAROCHO, M.; BARREIRA, J. C. M.; KAMAL GENENA, A.; JOSÉ BARALDI, I.; FILOMENA BARREIRO, M.; BARROS, L.; C.F.R. FERREIRA, I. Ficus carica L. and Prunus spinosa L. extracts as new anthocyanin-based food colorants: A thorough study in confectionery products. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127457, 2020.

BALDWIN, J. L.; CHOU, A. H.; SOLOMON, W. R. Popsicle-Induced Anaphylaxis Due to Carmine Dye Allergy. **Annals of Allergy, Asthma & Immunology**, v. 79, n. 5, p. 415–419, 1997.

BANGAR, S. P.; WHITESIDE, W. S.; SINGH, A.; ÖZOGUL, F.; GUPTA, A.; GAHLAWAT, S. K. Properties, preparation methods, and application of sour starches in the food. **Trends in Food Science and Technology**, v. 121, n. December 2021, p. 44–58, 2022.

BARROS, R de S. **Da Feira à Cesta: a Comercialização de Produtos da Agricultura Familiar durante a Pandemia de Covid-19 em Seropédica, RJ**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 125 p., 2022.



BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa – IN Nº 53, de 29 de dezembro de 2000 – **Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijo Petit Suisse**. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/inspleite/files/2016/03/Instru%C3%A7%C3%A3o-normativa-n%C2%B0-53-de-29-de-dezembro-de-2000.pdf>>. Acessado em 22 de março de 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002 – Regulamento Técnico sobre Rotulagem de Alimentos Embalados**. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/rdc0259\\_20\\_09\\_2002.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/rdc0259_20_09_2002.html)>. Acessado em 10 de outubro de 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Instrução Normativa – IN Nº 60, de 23 de dezembro de 2019 - Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos prontos para oferta ao consumidor**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-60-de-23-de-dezembro-de-2019-235332356>>. Acessado em 22 de março de 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 239, de 26 de julho de 2018 - Estabelece os aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em suplementos alimentares**. Disponível: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34380515/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-239-de-26-de-julho-de-2018-34380387](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34380515/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-239-de-26-de-julho-de-2018-34380387)>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE - SECRETARIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (MS – SVS). **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997 - Regulamento Técnico Aditivos Alimentares**. Disponível em: <[bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1997/prt0540\\_27\\_10\\_1997.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1997/prt0540_27_10_1997.html)>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução - CNNPA nº 44, de 1977 - Considera corante a substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimento (e bebida)**. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/RESOLUCAO\\_CNNPA\\_44\\_1977.pdf/b8d43a0d-5c1b-4be1-ba69-67f69cf55446](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/RESOLUCAO_CNNPA_44_1977.pdf/b8d43a0d-5c1b-4be1-ba69-67f69cf55446)>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961 - Dispõe sobre Normas Técnicas Especiais Reguladoras do Emprego de Aditivos Químicos a Alimentos**. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/DECRETO+N%C2%BA+50.040%2C+DE+24+DE+JANEIRO+DE+1961.pdf/bb735327-8381-4966-b9d9-627e158d6bcf#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2050.040%2C%20DE%2024,de%20Aditivos%20Qu%C3%ADmicos%20a%20Alimentos>>. Acessado em 20 de agosto de 2020.

CAPUTO, V.; NAYGA, R. M.; SCARPA, R. Food miles or carbon emissions? Exploring labelling preference for food transport footprint with a stated choice study. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 57, n. 4, p. 465–482, 2013.

CARDOSO, A. D.; ELOY, A.; VIANA, S.; MATSUMOTO, S. N.; NETO, H. B.; KHOURI, C. R.; MELO, T. L. Características físicas e sensoriais de clones de batata-doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1760–1765, 2007.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Natural food additives: Quo vadis? **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 284–295, 2015.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; GALÁN-VIDAL, C. A.; CONTRERAS-LÓPEZ, E.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E. Purification of Anthocyanins with o-Dihydroxy Arrangement by Sorption in Cationic Resins Charged with Fe (III). **Journal of Chemistry**, v. 2014, 2014.

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

CHEQUER, F. M. S.; VENÂNCIO, V. P.; BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Genotoxic and mutagenic effects of erythrosine B, a xanthene food dye, on HepG2 cells. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, p. 3447-3451, 2012.

CHUNG, K.; BAKER, J. R.; BALDWIN, J. L.; CHOU, A. Identification of carmine allergens among three carmine allergy patients. **Allergy**, v. 56, n. 1, p. 73-77, 2001.

CHR. HANSEN. **Saiba mais sobre a Hansen sweet potato™**, 2020. Disponível em: <<https://www.chr-hansen.com/pt/natural-colors/agronomy/hansen-sweet-potato>>. Acessado em 22 de março de 2021.

COFFMANN, C. W.; GARCIAJ, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 12, n. 5, p. 473–484, 1977.

DAMADORAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química dos Alimentos de Fennema**. 4º edição. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DICELLO, M. C.; MYC, A.; BAKER, J. R.; BALDWIN, J. L. Anaphylaxis after ingestion of carmine colored foods: two case reports and a review of the literature. **Allergy & Asthma Proceedings**, v. 20, n. 6, p. 377-382, 1999.

DOWNHAM, A.; COLLINS, P. Colouring our food in the last and next millennium. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 35, p. 5-22, 2000.

DÖHLER. **Corantes Naturais**, 2021. Disponível em: <<https://www.doehler.com/pt/nosso-portfolio/ingredientes-naturais/corantes-naturais.html>>. Acessado em 22 de março de 2021.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.

DWIYANTI, G.; SISWANINGSIH, W.; FEBRIANTI, A. Production of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) juice having high anthocyanin content and antioxidant activity. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1013, n. 1, 2018.

ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 176-182, 2009.

EL-WAHAB, H. M. F. A.; MORAM, G. S. E.-D. Toxic effects of some synthetic food colorants and/or flavor additives on male rats. **Toxicology and Industrial Health**, v. 29, n.2, p. 224–232, 2012.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. DE O. DE; ANDRIOLO, J. L. Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 396–402, 2013.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). **Food colours**, 2016. Disponível em: <<http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/food-colours>>. Acessado em: 10 de agosto de 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Countries by commodity**. FAOSTAT, 2019. Disponível em: <[http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acessado em: 04 jan. 2021.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

FREITAS-SÁ, D. D. G. C.; SOUZA, R. C. DE; ARAUJO, M. C. P. DE; BORGUINI, R. G.; MATTOS, L. DA S. DE; PACHECO, S.; GODOY, R. L. DE O. Effect of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell) O. Berg) and jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) peel powders as colorants on color-flavor congruence and acceptability of yogurts. **LWT**, v. 96, p. 215–221, 2018.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, p. 812-818, 2010.

GOÑI, I.; GARCÍA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 445–449, 1996.

GORDILLO, B.; SIGURDSON, G. T.; LAO, F.; GONZÁLEZ-MIRET, M. L.; HEREDIA, F. J.; GIUSTI, M. M. Assessment of the color modulation and stability of naturally copigmented anthocyanin-grape colorants with different levels of purification. **Food Research International**, v. 106, n. November 2017, p. 791–799, 2018.

GRANATO, D.; NUNES, D. S.; BARBA, F. J. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of

functional foods: A proposal. **Trends in Food Science and Technology**, v. 62, n. December 2016, p. 13–22, 2017.

GRUNERT, K. G. Trends in food choice and nutrition Changes in the way we eat Health concerns. In: KLOPČIČ, M.; KUIPERS, A.; HOCQUETTE, J-F. **Consumer attitudes to food quality products**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2013. Cap. 2, p. 23–30.

GUINARD, J. X. Sensory and consumer testing with children. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, p. 273–283, 2001.

HOMAYOUNI, A.; AMINI, A.; KESHTIBAN, A. K.; MORTAZAVIAN, A. M.; ESAZADEH, K.; POURMORADIAN, S. Resistant starch in food industry: A changing outlook for consumer and producer. **Starch/Staerke**, v. 66, n. 1–2, p. 102–114, 2014.

HOPPU, U.; PUPUTTI, S.; AISALA, H.; LAAKSONEN, O.; SANDELL, M. Individual differences in the perception of color solutions. **Foods**, v. 7, n. 9, p. 1–8, 2018.

HUTASOIT, M. S.; JULIANTI, E.; LUBIS, Z. Effect of pretreatment on purple-fleshed sweet potato flour for cake making. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 122, n. 1, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção Agrícola Municipal - Culturas Temporárias e Permanentes 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 95 p. (Informativo Técnico, 41).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10340>>. Acessado em: 15 out. 2023.

JAEGER, S. R.; LEE, P.-Y.; ARES, G. Product involvement and consumer food-elicited emotional associations: Insights from emoji questionnaires. **Food Research International**, v. 106, p. 999–1011, 2018.

Jl, H.; ZHANG, H.; LI, H.; LI, Y. Analysis on the Nutrition Composition and Antioxidant Activity of Different Types of Sweet Potato Cultivars. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, p. 161-167, 2015.

JIN, S. K.; KIM, Y. J.; PARK, J. H.; HUR, I. C.; NAM, S. H.; SHIN, D. Effects of purple-fleshed sweet potato (*Ipomoera batatas* Cultivar Ayamurasaki) powder addition on color and texture properties and sensory characteristics of cooked pork sausages during storage. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 25, n. 9, p. 1329-1337, 2012.

JU, J. H.; YOON, H. S.; PARK, H. J.; KIM, M. Y.; SHIN, H. K.; PARK, K. Y.; YANG, J. O.; SOHN, M. S.; DO, M. S. Anti-obesity and antioxidative effects of purple sweet potato extract in 3T3-L1 adipocytes in vitro. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, n. 10, p. 1097-1106, 2011.

KÄGI, M. K.; WÜTHRICH, B.; JOHANSSON, S. G. Campari-Orange anaphylaxis due to carmine allergy. **Lancet**, v. 344, p. 60-61, 1994.

KALEGARI, M.; MIGUEL, M. D.; DIAS, J. DE F. G.; LORDELLOZ, A. L. L.; LIMA, C. P. DE; MIYAZAKI, C. M. S.; ZANIN, S. M. W.; VERDAM, M. C. DOS S.; MIGUEL, O. G. Phytochemical constituents and preliminary toxicity evaluation of leaves from *Rourea induta* Planch. (Connaraceae). **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 47, n. 3, p. 635-642, 2011.

KOBAYASHI, M.; OKI, T.; MASUDA, M.; NAGAI, S.; FUKUI, K.; MATSUGANO, K.; SUDA, I. Hypotensive Effect of Anthocyanin-rich Extract from Purple-fleshed Sweet Potato Cultivar "Ayamurasaki" in Spontaneously Hypertensive Rats. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 52, p. 41-44, 2005.

KONG, J. M.; CHIA, L. S.; GOH, N. K.; CHIA, T. F.; BROUILLARD, R. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, v. 64, n. 5, p. 923-933, 2003.

KOTOBUKI, Y.; AZUKIZAWA, H.; NISHIDA, Y.; MUROTA, H.; KATAYAMA, I.; YOSHIKAWA, K. Case of urticaria due to cochineal dye in red-colored diet. **Japanese Journal of Allergy**, v. 56, n. 12, p. 1510-1514, 2007.

LIM, S.; XU, J.; KIM, J.; CHEN, T-Y.; SU, X.; STANDARD, J.; CAREY, E.; GRIFFIN, J.; HERNDON, B.; KATZ, B.; TOMICH, J.; WANG, W. Role of anthocyanin-enriched purple-fleshed sweet potato p40 in colorectal cancer prevention. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 57, n. 11, p. 1908-1917, 2013.

LIMA, M.; ARES, G.; DELIZA, R. Children and adults' sensory and hedonic perception of added sugar reduction in grape nectar. **Journal of Sensory Studies**, v. 33, n. 2, p. 1-9, 2018.

LIZASO, M. T.; MONEO, I.; GARCÍA, B.; ACERO, S.; QUIRCE, S.; TABAR, A.; Identification of allergens involved in occupational asthma due to carmine dye. **Annals of Allergy, Asthma & Immunology**, v. 84, n. 5, p. 549-552, 2000.

MACEDO, L. N.; LUCHESE, R. H.; GUERRA, A. F.; BARBOSA, C. G. Efeito prebiótico do mel sobre o crescimento e viabilidade de *Bifidobacterium* spp. e *Lactobacillus* spp. em leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 935-942, 2008.

MARIANO-DA-SILVA, S.; BASSO, L. C. Efeitos do cádmio sobre o crescimento das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* PE-2 e *Saccharomyces cerevisiae* IZ-1904, e a capacidade da vinhaça em atenuar a toxicidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 16-22, 2004.

MARUYAMA, L. Y.; CARDARELLI, H. R.; BURITI, F. C. A.; SAAD, S. M. I. Instrumental texture of probiotic petit-suisse cheese: influence of different combinations of gums. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 386-393, 2006.

MATSUI, T.; EBUCHI, S.; KOBAYASHI, M.; FUKUI, K.; SUGITA, K.; TERAHARA, N.; MATSUMOTO, K. Anti-hyperglycemic effect of diacylated anthocyanin derived from *Ipomoea batatas* cultivar ayamurasaki can be achieved through the  $\alpha$ -glucosidase

inhibitory action. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 25, p. 7244-7248, 2002.

MEKONNEN, B.; TULU, S.; NEGRO, J. Orange fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties evaluated with respect to growth parameters at Jimma in Southwestern Ethiopia. **Journal of Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 164-169, 2015.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. New York: CRC. 416 p. 3 ed.

MESSIAS, C. M. B. DE O.; SOUZA, H. M. DOS S.; REIS, I. R. M. S. Consumo de Alimentos ultraprocessados e corantes alimentares por adolescentes de uma escola pública. **Adolescência e Saúde**, v. 13, n. 4, p. 7-14, 2016.

MICHELIN, D. C.; MORESCHI, P. E.; LIMA, A. C.; NASCIMENTO, G. G. F.; PAGANELLI, M. O.; CHAUD, M. V. Avaliação da atividade antimicrobiana de extratos vegetais. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 4, p. 316-320, 2005.

MIHAI, C. M.; MÂRGHITAŞ, L. AL; DEZMIREAN, D. S.; CHIRILĂ, F.; MORITZ, R. F. A.; SCHLÜNS, H. Interactions among flavonoids of propolis affect antibacterial activity against the honeybee pathogen *Paenibacillus* larvae. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 110, n. 1, p. 68-72, 2012.

MIYAZAKI, K.; MAKINO, K.; IWADATE, E.; DEGUCHI, Y.; ISHIKAWA, F. Anthocyanins from purple sweet potato *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki suppress the development of atherosclerotic lesions and both enhancements of oxidative stress and soluble vascular cell adhesion molecule-1 in apolipoprotein E-deficient mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11485-11492, 2008.

MONTEIRO, A. B.; MASSAROTO, J. A.; GASPARINO, C. F.; SILVA, R. R.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R.; FILHO, J. C. S. Silagens de cultivares e clones de batata-doce para alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 978-981, 2007.

MPOUNTOUKAS, P.; PANTAZAKI, A.; KOSTARELI, E.; CHRISTODOULOU, P.; KARELI, D.; POLILIOU S.; MOURELATOS, C.; LAMBROPOULOU, V.; LIALIARIS T. Cytogenetic evaluation and DNA interaction studies of the food colorants amaranth, erythrosine and tartrazine. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, p. 2934-2944, 2010.

NATURAL FOOD COLORS ASSOCIATION (NATCOL). **What Are Colouring Foods**, 2013. Disponível em: <<https://natcol.org/library/what-are-colouring-foods/>>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

NETO, O. C.; ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; TORREZAN, R.; FERREIRA, J. C. S.; LEAL, W. F.; GASPAR, A. Effects of Hydrostatic Pressure Processing on Texture and Color of Zebu Beef. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 4, p. 837-843, 2015.

OKI, T.; SATO, M.; YOSHINAGA, M.; SAKAI, T.; SUGAWARA, T.; TERAHARA, N.; SUDA, I. 1,1-Diphenyl-picrylhydrazyl Radical-scavenging Capacity and Oxygen Radical Absorbance Capacity of Sweet Potato Cultivars with Various Flesh Colors

**Journal of the Japanese Society for Food Science and Engineering**, v. 56, n. 12, p. 655–659, 2009.

OLIVEIRA, A. P. V. DE; BENASSI, M. DE T. Sensory evaluation of sweetened and dietetic chocolate puddings by free-choice profile. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 146–154, 2010.

OLIVEIRA, H.; PEREZ-GREGÓRIO, R.; FREITAS, V. DE; MATEUS, N.; FERNANDES, I. Comparison of the in vitro gastrointestinal bioavailability of acylated and non-acylated anthocyanins: Purple-fleshed sweet potato vs red wine. **Food Chemistry**, v. 276, p. 410–418, 2019.

OLIVEIRA, Y. L. C. DE; NASCIMENTO DA SILVA, L. C.; SILVA, A. G. DA; MACEDO, A. J.; ARAÚJO, J. M. DE; CORREIA, M. T. D. S.; SILVA, M. V. DA. Antimicrobial activity and phytochemical screening of *buchenavia tetraphylla* (Aubl.) R. A. Howard (Combretaceae: Combretoideae). **The Scientific World Journal**, v. 2012, 2012.

PASIAS, I. N.; ASIMAKOPOULOS, A. G.; THOMAIDIS, N. S. Food colours for bakery products, snack foods, dry soup mixes, and seasonings. **Colour Additives for Foods and Beverages**, 1 ed., Amsterdã: Elsevier, 2015. Cap. 8, p. 211-226.

PAULA, C. S.; CANTELI, V. C. D.; VERDAM, M. C. S.; KALEGARI, M.; CAMPOS, R.; HIROTA, B. C. K.; MIGUEL, O. G. M.; MIGUEL, M. D. Atividade antioxidante e toxicidade preliminar do extrato e frações obtidas das folhas e cascas do caule de *Dasyphyllum tomentosum* (Spreng.) Cabrera. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 2, p. 189–195, 2014.

PILON, L.; WARTHA, C. C.; ROSSETTO, L. M.; SOUZA, D. G. de; MELO, R. A. de C. e; VENDRAME, L. P. de C. **Avaliação físico-química e compostos bioativos de farinhas de batatas-doces de polpa roxa**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2020. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 202)

POIANI, M. R.; MONTANUCI, F. D. Caracterizações físicas e tecnológicas e perfil de textura de cookies de farinha de uva e linhaça. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1–14, 2019.

POPPER, R.; KROLL, J. J. Consumer testing of food products using children. In: DAVID KILCAST, D.; ANGUS, F. **Developing Children's Food Products**. Cambridge: Woodhead Publishing. 2011. Cap. 9, p. 163-187.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Natural food pigments and colorants. **Current Opinion in Food Science**, v. 7, p. 20–26, 2016.

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

SAMINATHAN, M.; CHIN, S. C.; RAMASAMY, K.; ABDULLAH, N. Effect of prebiotic oligosaccharides on growth of *Lactobacillus* strains used as a probiotic for chickens. **African Journal of Microbiology Research**, v. 5, n. 1, p. 57–64, 2011.

SCHIOZER, A. L.; BARATA, L. E. S. Estabilidade de Corantes e Pigmentos de Origem Vegetal Stability of Natural Pigments and Dyes. **Revista Fitos**, v. 3, p. 6–24, 2013.

SHAHID, M.; SHAHID-UL-ISLAM; MOHAMMAD, F. Recent advancements in natural dye applications: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 310–331, 2013.

SHARMA, P.; GUJRAL, H. S.; ROSELL, C. M. Effects of roasting on barley  $\beta$ -glucan, thermal, textural and pasting properties. **Journal of Cereal Science**, v. 53, n. 1, p. 25–30, 2011.

SIGURDSON, G. T.; TANG, P.; GIUSTI, M. M. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, p. 261–280, 2017.

SILVA, G. J. F. DA; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W. DE; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*). **Alim. Nutr., Araraquara**, v. 21, n. 3, p. 429–436, 2010.

SILVA, G. O. DA; SUINAGA, F. A.; PONIJALEKI, R.; AMARO, G. B. Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 379–383, 2015.

SILVA, S.; COSTA, E. M.; CALHAU, C.; MORAIS, R. M.; PINTADO, M. E. Anthocyanin extraction from plant tissues: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 14, p. 3072–3083, 2017.

SINGH, A.; KITTS, D. D. In Vitro Bioaccessibility of Tart Cherry Anthocyanins in a Health Supplement Mix Containing Mineral Clay. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 3, p. 475–480, 2019.

SIVAMARUTHI, B. S.; KESIKA, P.; CHAIYASUT, C. Anthocyanins in Thai rice varieties: Distribution and pharmacological significance. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 5, p. 2024–2032, 2018.

SPENCE, C. On the psychological impact of food colour. **Flavour**, v. 4, n. 1, p. 1–16, 2015.

SRISUWAN, S.; SIHACHAKR, D.; SILJAK-YAKOVLEV, S. The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. **Plant Science**, v. 171, n. 3, p. 424–433, 2006.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and human nutrition. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, p. 19–38, 2004.



SUDJATINAH, S.-; WIBOWO, C. H.; PUTRI, A. S. A Study on The Utilization of Purple Sweet Potato (*Ipomea batatas* L) for Ice Cream as Antioxidants. **Journal of Applied Food Technology**, v. 7, n. 1, p. 1–4, 2020.

SUGATA, M.; LIN, C. Y.; SHIH, Y. C. Anti-Inflammatory and Anticancer Activities of Taiwanese Purple-Fleshed Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas* L. Lam) Extracts. **BioMed Research International**, v. 2015, 2015.

SUZUKI, K.; HIROKAWA, K.; YAGAMI, A.; MATSUNAGA, K. Allergic contact dermatitis from carmine in cosmetic blush. **Dermatitis**, v. 22, n. 6, p. 348-349, 2011.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 63–68, 1959.

SYLVESTRE. **Ervas e Vegetais em Pó Solúveis**, 2021. Disponível em: <<http://sylvestre.ind.br/produtos/ervas-e-vegetais-em-po-soluveis/>>. Acessado em 22 de março de 2021.

TANAKA, M.; ISHIGURO, K.; OKI, T.; OKUNO, S. Functional components in Sweet potato and their genetic improvement. **Breeding Science**, v. 67, n. 1, p. 52–61, 2017.

TANG, W.; ZHANG, Y. GANG; LIU, Y. JU; WANG, X.; KOU, M.; YAN, H.; MA, D. FU; LI, Q. Quantifying cultivation technique and growth dynamics of purple-fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) in China. **Field Crops Research**, v. 227, p. 41–48, 2018.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; HAWKINS BYRNE, D. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6–7, p. 669–675, 2006.

TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; BARROW, C. J.; ADHIKARI, B. Digestion behaviour of chia seed oil encapsulated in chia seed protein-gum complex coacervates. **Food Hydrocolloids**, v. 66, p. 71-81, 2017.

TRIDGE. **Sweet Potato – Market Intelligence**, 2019. Disponível em: <<https://www.tridge.com/intelligences/sweet-potato/production>>. Acessado em: 04 jan. 2021.

TSUDA, S.; MURAKAMI, M.; MATSUSAKA, N.; KANO, K.; TANIGUCHI, K.; SASAKI, Y. F. DNA damage induced by red food dyes orally administered to pregnant and male mice. **Toxicological Sciences**, v. 61, n. 1, p. 92-99, 2001

TSUDA, T. Dietary anthocyanin-rich plants: Biochemical basis and recent progress in health benefits studies. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 56, n. 1, p. 159–170, 2012.

TSUKUI, A.; SUZUKI, A.; KOMAMAKI, K.; TERAHARA, N.; YAMAKAWA, O.; HAYASHI, K. Stability and Composition Ratio of Anthocyanin Pigments from *Ipomoea*

batatas Poir. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 46, n. 3, p. 148–154, 1999.

ÜNAL ŞENGÖR, G. F.; BALABAN, M. O.; TOPALOĞLU, B.; AYVAZ, Z.; CEYLAN, Z.; DOĞRUYOL, H. Color assessment by different techniques of gilthead seabream (*Sparus aurata*) during cold storage. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 696–703, 2019.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Sweet Potato**. FoodData Central, Agricultural Research Service, 2019. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/478350/nutrients>>. Acessado em: 04 jan. 2021.

U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Overview of Food Ingredients, Additives & Colors**, 2010. Disponível em: <<https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/overview-food-ingredients-additives-colors>>. Acessado em: 10 de agosto de 2020.

VEIGA, P. G.; CUNHA, R. L.; VIOTTO, W. H.; PETENATE, A. J. Caracterização química, reológica e aceitação sensorial do queijo petit suisse brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 349–357, 2000.

WANG, X.; ZHANG, Z. F.; ZHENG, G. H.; WANG, A. M.; SUN, C. H.; QIN, S. P.; ZHUANG, J.; LU, J.; MA, D. F.; ZHENG, Y. L. The inhibitory effects of purple sweet potato color on hepatic inflammation is associated with restoration of nad<sup>+</sup> levels and attenuation of nlrp3 inflammasome activation in high-fat-diet-treated mice. **Molecules**, v. 22, n. 8, 2017.

WEENUTTRANON, J. Product Development of Purple Sweet Potato Ice Cream. **International Journal of Advances in Science Engineering and Technology**, v. 6, n. 2, p. 33–36, 2018.

WHYTE, A. R.; CHENG, N.; FROMENTIN, E.; WILLIAMS, C. M. A randomized, double-blinded, placebo-controlled study to compare the safety and efficacy of low dose enhanced wild blueberry powder and wild blueberry extract (Thinkblue™) in maintenance of episodic and working memory in older adults. **Nutrients**, v. 10, n. 6, 2018.

WILLIAMS, R.; SOARES, F.; PEREIRA, L.; BELO, B.; SOARES, A.; SETIAWAN, A.; BROWNE, M.; NESBITT, H.; ERSKINE, W. Sweet potato can contribute to both nutritional and food security in Timor-Leste. **Field Crops Research**, v. 146, p. 38–43, 2013.

WRIGHT, O. R. L.; PHAN, A. D. T.; HONG, H. T.; NETZEL, G.; SULTANBAWA, Y.; NETZEL, M. E. Bioactive Anthocyanins in Selected Fruits – A Foodomics Approach. In: CIFUENTES, A. **Comprehensive Foodomics**. Amsterdam: Elsevier, 2021. Cap. 2.06, 28 p.

WROLSTAD, R. E. **Colors and Pigment Analysis in Fruit Products**. Corvallis: Oregon Agricultural Experimental Station, 1993, 17 p.

WROLSTAD, R. E.; CULVER, C. A. Alternatives to those artificial FD & C food colorants. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 59–77, 2012.

WÜTHRICH, B.; KÄGI, M. K.; STÜCKER, W. Anaphylactic reactions to ingested carmine (E120). **Allergy**. V. 52, n. 11, p. 1133–1137, 1997.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719–727, 1972.

YOSHIMOTO, M.; OKUNO, S.; YAMAGUCHI, M.; YAMAKAWA, O. Antimutagenicity of deacylated anthocyanins in purple-fleshed sweetpotato. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v. 65, n. 7, p. 1652–1655, 2001.

YOSHIMOTO, M.; OKUNO, S.; YOSHINAGA, M.; YAMAKAWA, O.; YAMAGUCHI, M.; YAMADA, J. **Antimutagenicity of sweetpotato (ipomoea batatas) roots** *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 1999.

YOUSUF, B.; GUL, K.; WANI, A. A.; SINGH, P. Health Benefits of Anthocyanins and Their Encapsulation for Potential Use in Food Systems: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 13, p. 2223–2230, 2016.

ZAVAREZE, E. D. R.; HALAL, S. L. M. EL; DIAS, J. M.; LUIZ, P. A.; CARDOSO, R. M.; GUERRA, E. A. R. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Braz. J. Food Technol.**, n. 53, p. 96010, 2009.

ZHANG, Y.; VAREED, S. K.; NAIR, M. G. Human tumor cell growth inhibition by nontoxic anthocyanidins, the pigments in fruits and vegetables. **Life Sciences**, v. 76, n. 13, p. 1465–1472, 2005.

ZHANG, Y.; YIN, L.; HUANG, L.; TEKLIYE, M.; XIA, X.; LI, J.; DONG, M. Composition, antioxidant activity, and neuroprotective effects of anthocyanin-rich extract from purple highland barley bran and its promotion on autophagy. **Food Chemistry**, v. 339, p. 127849, 2021.

ZHU, F.; SUN, J. Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour. **Food Bioscience**, v. 30, p. 100411, 2019.

## 5. CAPÍTULO I

### **Ingrediente natural obtido da batata-doce de polpa roxa: Elaboração e Caracterização**

#### **RESUMO**

A batata-doce de polpa roxa da variedade “Beni imo” (BDPR) é uma raiz com consideráveis teores de antocianinas e qualidade nutricional destacável. Seu cultivo pela Agricultura Familiar vem crescendo nos últimos anos. Entretanto, sua utilização como ingrediente alimentício ainda ocorre de forma incipiente. Assim, o objetivo do presente trabalho foi elaborar e caracterizar pós liofilizados de diferentes colorações obtidos a partir da batata-doce de polpa roxa, visando a obtenção de um ingrediente alimentício natural multifuncional. A modulação das colorações foi realizada com uso de ácido ascórbico em concentrações de 1,5%, 3% e 4,5% p/p. Avaliou-se a composição química, rendimento, pH, acidez titulável, teor de antocianinas, cor e propriedades tecnológicas. Após a liofilização, os pós apresentaram colorações roxa e rosa, com diferentes tonalidades, e tiveram rendimentos entre 27% e 32%. Destaca-se a qualidade nutricional e bioativa da BDPR e seus pós, em especial pelo teor de fibras (superiores a 10%) e baixo conteúdo de lipídios, com teores de antocianinas superiores a 50 mg cianidina 3-glicosídeo por 100 g de amostra. Os pós apresentaram poderes de inchamento superiores a 7%, índices de solubilidade em água superiores a 49%, índices de absorção de óleo superiores a 5,5%, capacidades de emulsificação entre 50% – 87% e estabilidades de emulsão entre 51% – 98%. A partir do presente estudo, foi possível verificar que a BDPR tem grande potencial para a sua utilização como matriz para o desenvolvimento de ingredientes multifuncionais, com possibilidade da valorização da Agricultura Familiar.

**Palavras-chave:** antocianinas; Beni imo; corantes naturais; aditivos naturais; ingredientes multifuncionais.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a utilização de matrizes de origem vegetal como ingredientes alimentares naturais tem sido uma tendência mundial. A incorporação desses ingredientes tem como objetivos a melhoria da qualidade nutricional dos alimentos e a exploração de possíveis benefícios decorrentes da sua ingestão (LU et al., 2021). Esta tendência tem sido impulsionada pelas demandas dos consumidores, que buscam cada vez mais alimentos que se aproximem do natural, com o processamento mínimo das matérias-primas. O movimento denominado *clean label* propõe a minimização ou eliminação do uso de ingredientes artificiais pela substituição por ingredientes naturais, que promovam uma ou mais funcionalidades direcionadas (ROOBAB et al., 2021).

A pesquisa e desenvolvimento de ingredientes multifuncionais e de fontes naturais estão condicionados a sua viabilidade técnica e econômica. Boa disponibilidade, baixo preço e alto rendimento são alguns dos parâmetros que devem ser avaliados no momento de considerar um vegetal como uma fonte viável de aditivos naturais (STINTZING; CARLE, 2004). Esses critérios permitem que sejam exploradas uma infinidade de matrizes vegetais, convencionais ou não. Pode-se citar a batata-doce de polpa roxa (BDPR). Essa raiz é capaz de se desenvolver em diferentes tipos de solo e clima, sem necessitar de grandes volumes de recurso hídrico. BDPR tem destacável qualidade nutricional, com baixos teores de lipídios. Além disso, é rica em amido total e resistente (importante ingrediente tecnológico para a indústria de alimentos) e é fonte de antocianinas de alta estabilidade frente à irradiação da luz UV, sendo esse o pigmento responsável pela coloração da raiz e com capacidade de modulação de cor em diferentes pH – interconversão de cores (TSUKUI et al., 1999).

Frente às possíveis funcionalidades tecnológicas que podem ser obtidas a partir da BDPR, é destacável o potencial da sua utilização como fonte de ingredientes

alimentares capazes de promover características químicas, físicas e funcionais desejáveis. Conferência de cor (promovida pela presença de antocianinas), incremento da capacidade bioativa, melhoria na capacidade de retenção de água e melhorias na resposta glicêmica são algumas das funcionalidades já elucidadas na literatura científica (ZHU; SUN, 2019; SUDJATINAH et al., 2020).

A maioria dos estudos relata a capacidade da interconversão de cores das antocianinas como resultados do processamento ou aplicação de tais compostos. Contudo, a exploração tecnológica dessa propriedade da antocianina na elaboração de ingredientes ainda é incipiente. A modulação intencional da cor das antocianinas pela alteração do pH pode ampliar sua aplicação na indústria e propor novos usos, podendo diversificar as possibilidades de cores a partir de uma única matriz.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a obtenção e a caracterização de pós liofilizados de diferentes colorações a partir da modulação das antocianinas presentes na batata doce de polpa roxa da variedade “Beni imo” pela alteração do pH com uso de soluções de ácido ascórbico de diferentes concentrações (1,5%, 3% e 4,5% p/p), bem como avaliar suas características físicas, químicas e tecnológicas, a fim de se obter um aditivo alimentar natural, oriundo de uma matriz de baixo custo e fácil reprodutibilidade. Os ensaios foram realizados no Laboratório Instrumental do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Seropédica, Rio de Janeiro – Brasil).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### ***2.1. Material***

A batata-doce de polpa roxa (BDPR) foi obtida a partir de uma unidade de produção familiar, localizada em Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil (latitude 22° 47' 03,6" Sul e longitude 43° 39' 40,1" Oeste). A variedade utilizada no estudo chama-se “Beni imo”, de polpa roxa e casca branca, conforme mostra a Figura 1.



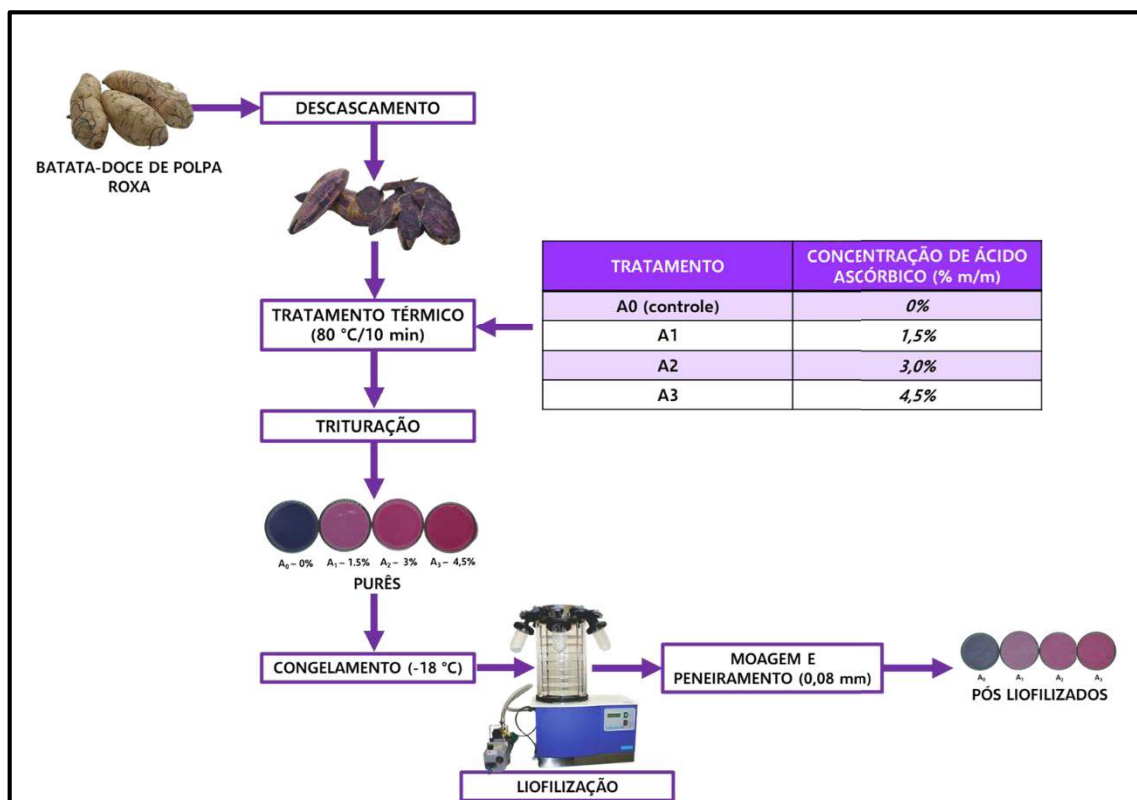
**Figura 01** – Batata-doce de polpa roxa “Beni imo”

**Fonte:** Autoria própria (2022)

## ***2.2. Preparo de batata-doce e obtenção de pós liofilizados ( $A_0$ , $A_1$ , $A_2$ e $A_3$ )***

As raízes foram colhidas manualmente, selecionada, lavada e sanitizada por imersão em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm por 15 min). Em seguida, a batata foi descascada manualmente, cortada em pedaços de 5 cm<sup>2</sup> e imersas em soluções de ácido ascórbico com diferentes concentrações ( $A_0$ : 0% p/p,  $A_1$ : 1,5% p/p,  $A_2$ : 3,0% p/p, e  $A_3$ : 4,5% p/p) a 80 °C por 10 minutos.

Após o tratamento térmico, a batata e a água de cozimento foram processadas em liquidificador industrial (modelo LI-1,5-N, Skymssen, Santa Catarina, Brasil) por 10 min. Os purês obtidos foram acondicionados em embalagens plásticas herméticas e congelados a -18 °C em freezer convencional por 7 dias. Depois de congelado, o purê foi liofilizado em liofilizador de bancada (Liotop®, modelo L101) por um período médio de 5 dias, triturado em liquidificador industrial (modelo LI-1,5-N, Skymssen, Santa Catarina, Brasil) e selecionado em peneira granulométrica de 710 µm. O pó foi armazenado em recipientes herméticos sob refrigeração (4 °C) (Figura 2).



**Figura 2** – Fluxograma do processamento da batata-doce de polpa roxa e obtenção dos pós liofilizados de diferentes colorações (A0% - 0% de ácido ascórbico, A1% - 1,5% de ácido ascórbico, A2% - 3% de ácido ascórbico e A3% - 4,5% de ácido ascórbico)

### 2.3. Rendimento, atividade de água, pH e acidez titulável

A atividade de água dos pós liofilizados (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) foi determinada usando um higrômetro digital (Aqualab CX2, Decagon Devices Inc., EUA). O rendimento do processo de liofilização foi determinado pela Equação 01:

$$\text{Rendimento (\%)} = \left( \frac{m_1}{m_0} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde: m<sub>1</sub> é o peso final após a liofilização e m<sub>0</sub> é o peso inicial das batatas.

O pH foi determinado com um potenciômetro digital (Starter 2100, Ohaus, Barueri, Brasil). O acidez titulável foi determinado utilizando solução de hidróxido de sódio 0,1 M e expressa em mg KOH g<sup>-1</sup>, seguindo o procedimento indicado pela IAL (2008).



#### **2.4. Composição química e teor de antocianinas monoméricas totais**

Os teores de umidade, carboidratos totais, proteínas, lipídios, cinzas e fibra alimentar total de BDPR, A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> foram avaliados seguindo os procedimentos descritos pela IAL (2008), com pequenas adaptações.

O teor de antocianinas monoméricas totais (AMT) foi determinado para BDPR, A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> usando o procedimento descrito por Du et al. (2021), com modificações. A extração foi realizada a partir de 1,5 g de amostras utilizando 30 mL de solução aquosa etanólica acidificada (60 % v/v) em banho de ultrassom por 2 h. As amostras foram centrifugadas a  $3.570 \times g$  por 20 min a 4°C. Os sobrenadantes foram filtrados, então o AMT foi determinado usando o método de pH diferencial (pH 1,00 e pH 4,50) descrito por LEE et al. (2005), com cianidina 3-glicosídeo como referência, e as absorbâncias foram medidas em 530 e 700 nm (Modelo WUV – M51, WEBLABORSP, Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil). O conteúdo de antocianinas monoméricas foi determinado pelas Equações 02 e 03.

$$A = [(A_{520 \text{ nm/pH } 1,00} - A_{700 \text{ nm/pH } 1,00}) - (A_{520 \text{ nm/pH } 4,50} - A_{700 \text{ nm/pH } 4,50})] \quad (\text{Equação 02})$$

$$AMT = \left( \frac{A}{\epsilon \times L} \right) \times MM \times 100 \times fd \quad (\text{Equação 03})$$

Onde: A é a absorbância corrigida pela diferença entre as absorbâncias registradas nas leituras em pH 1,00 e pH 4,50;  $\epsilon$  é o coeficiente de extinção molar da antocianina; L é o comprimento do caminho ótico (1 cm); MM é a massa molecular da antocianina; fd é o fator de diluição da amostra.; AMT é o teor de antocianinas monoméricas totais.

#### **2.5. Cor**

A cor foi medida usando um colorímetro Konica Minolta Colorimeter Spectrophotometer CM-5 (Konica Minolta®, Osaka, Japão). As amostras foram acondicionadas em placas de vidro e determinados os parâmetros CIELab L\*, a\* e b\*, onde o valor de L\* varia de 0 (preto) a 100 (branco), a coordenada a\* representa vermelho (positivo) a verde (negativo), e b\* representa amarelo (positivo) para azul (negativo).

## 2.6. Propriedades tecnológicas

### 2.6.1. Poder de inchamento (PI) e índice de solubilidade em água (ISA)

PI e ISA de amostras de pós liofilizados (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) foram determinados seguindo o procedimento indicado por Kusumayanti et al. (2015), com pequenas modificações. 0,1 g de amostras foram dispersos em 10 mL de água destilada em tubos de centrifuga pré-pesados. A mistura foi homogeneizada, aquecida em banho-maria a 60 °C por 30 minutos e centrifugada a 3.000 g por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa a 105 °C por 24 horas. PI e ISA foram calculados pelas Equações 04 e 05.

$$PI(g\ g^{-1}) = \left(\frac{M_R}{M_A}\right) \quad (\text{Equação 04})$$

$$ISA\ (\%) = \left(\frac{M_A}{M_S}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 05})$$

Onde: M<sub>R</sub> é o peso do resíduo após a centrifugação, M<sub>A</sub> é o peso da amostra e M<sub>S</sub> é o peso do sobrenadante seco.

### 2.6.2. Índice de absorção de óleo (IAO)

IAO das amostras de pós liofilizados (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) foi determinado seguindo o procedimento indicado por Poiani e Montanuci (2019). 2 g de amostras foram misturados em 13,00 mL de óleo de milho comercial. As misturas foram homogeneizadas, agitadas a 100 rpm por 30 minutos a 25 °C e centrifugadas a 3.000 g por 20 minutos. Os sobrenadantes foram descartados e os sedimentos oleosos foram pesados. IAO foi calculado usando a Equação 06.

$$IAO\ (g\ g^{-1}) = \left(\frac{m_{os}}{m_a}\right) \quad (\text{Equação 06})$$

Onde: m<sub>os</sub> é o peso do sedimento oleoso após a centrifugação e m<sub>a</sub> é o peso da amostra.

### 2.6.3. Capacidade de emulsificação (CE) e estabilidade da emulsão (EE)

CE e EE das amostras de pós liofilizados (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) foram determinadas seguindo os procedimentos descritos para Yasumatsu et al. (1972), com pequenas modificações. 3,75 g de amostras foram misturadas em 25 mL de água destilada e 25 mL de óleo de milho comercial. Os sistemas foram emulsionados usando um agitador de haste a 10.000 rpm por 10 min (Modelo 936 Drink Mixer, Scovill, EUA). As emulsões obtidas foram divididas em tubos de centrífuga de 15 mL e centrifugadas a 3.000 g por 10 min. CE foi determinada usando a Equação 07.

$$CE (\%) = \left( \frac{A_{ce}}{A_t} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 07})$$

Onde: A<sub>ce</sub> é a altura da camada emulsionada e A<sub>t</sub> é a altura total do sistema.

Em seguida, as emulsões foram aquecidas a 80 °C por 30 min em banho-maria com agitação e novamente centrifugadas a 3.000 g por 10 min. O ES foi calculado de acordo com a Equação 08.

$$EE (\%) = \left( \frac{A_{cer}}{A_{ce}} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 08})$$

Onde: A<sub>cer</sub> é a altura da camada emulsionada restante e A<sub>ce</sub> é a altura da camada emulsionada.

## **2.7. Análise estatística**

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. Os dados foram analisados pela análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste Tukey e considerado nível de significância de 5% (P < 0,05). A análise estatística foi realizada com Statistic 10.0 (Statsoft®, Tulsa, EUA).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Rendimento, atividade de água, pH e acidez titulável**

Posterior às etapas de processamento, desde a obtenção das batatas, passando pelo descascamento, cozimento, liofilização, moagem e peneiramento, calculou-se o

rendimento. Os valores obtidos encontraram-se na faixa entre 27.30% e 32.98% (Tabela 1).

**Tabela 1** – Valores de rendimento, atividade de água, pH e acidez titulável de da batata-doce de polpa roxa (BDPR) e dos pós liofilizados (A<sub>0</sub>% - 0% de ácido ascórbico, A<sub>1</sub>% - 1,5% de ácido ascórbico, A<sub>2</sub>% - 3% de ácido ascórbico e A<sub>3</sub>% - 4,5% de ácido ascórbico)

Tratamento	Rendimento (%)	Atividade de água	pH	Acidez titulável (mg KOH g <sup>-1</sup> )
<b>BDPR</b>	n/a*	n/a*	6,80 <sup>A</sup> ± 0,06	1,08 <sup>E</sup> ± 0,10
<b>A<sub>0</sub></b>	27,30 <sup>C</sup> ± 0,90	0,327 <sup>A</sup> ± 0,003	6,78 <sup>A</sup> ± 0,05	3,37 <sup>D</sup> ± 0,14
<b>A<sub>1</sub></b>	29,87 <sup>BC</sup> ± 2,86	0,304 <sup>B</sup> ± 0,002	4,04 <sup>B</sup> ± 0,01	29,33 <sup>C</sup> ± 0,51
<b>A<sub>2</sub></b>	29,67 <sup>B</sup> ± 0,87	0,234 <sup>C</sup> ± 0,001	3,72 <sup>C</sup> ± 0,02	52,07 <sup>B</sup> ± 0,28
<b>A<sub>3</sub></b>	32,98 <sup>A</sup> ± 0,03	0,167 <sup>D</sup> ± 0,003	3,49 <sup>D</sup> ± 0,01	69,71 <sup>A</sup> ± 0,23

<sup>A-D</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ );  
\*n/a – não se aplica.

Na literatura científica há uma grande variação para os valores de rendimento decorrentes da produção de farinhas e/ou pós de batata-doce. Nascimento et al. (2015) relataram o rendimento de 18,10%, 22,40 % e 25,40 % ao produzirem farinhas de três diferentes variedades de batata-doce, resultados muito semelhantes aos descritos por Vital et al. (2023), que relataram um rendimento médio de 20% para três variedades. Já Silva et al. (2020), que obtiveram rendimento igual a 34% para farinha de batata-doce. Ainda assim, os valores encontrados no presente estudo corroboram com as perspectivas apontadas na literatura científica. As variações apresentadas pelos autores citados, bem como as encontradas no estudo são decorrentes do tempo, temperatura, teor de umidade inicial da matéria-prima, composição da matéria-prima, técnicas, equipamentos e parâmetros de secagem/desidratação utilizados (Souza et al., 2021). Além disso, é possível observar uma diferença significativa ( $P < 0,05$ ) no rendimento entre os tratamentos (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>). Nota-se um aumento gradual do rendimento, diretamente proporcional à suplementação com ácido ascórbico. Esse pode ser justificado pela elevação de sólidos totais a partir da adição de ácido ascórbico durante o processo de cozimento da batata, anterior à liofilização.

Em relação à atividade de água, as amostras apresentaram-se estatisticamente diferentes entre si ( $P < 0,05$ ). Foi observada uma redução nos valores de atividade de água, inversamente proporcional aos níveis de ácido ascórbico. A partir dos resultados obtidos, observa-se que os tratamentos A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> tiveram uma menor retenção de água. Essa maior remoção de água durante o processo de liofilização é decorrente da desidratação osmótica promovida pela solução de ácido ascórbico aplicada (AZEREDO; JARDINE, 2000). Os baixos valores obtidos para a atividade de água são capazes de inibir a atividade de micro-organismos deteriorantes e patogênicos, bem como de enzimas indesejáveis, como as polifenol-oxidases, que podem promover a degradação de componentes de interesse, por exemplo, as antocianinas presentes na BDPR. Contudo, os pós liofilizados ainda podem ser considerados possíveis veículos para micro-organismos oriundos da cadeia produtiva da batata-doce e do processamento para obtenção do pó (FRANCO; LANDGRAF, 2008; KOBLITZ, 2014).

O processamento do pó sem ácido ascórbico não promoveu alterações significativas ( $P < 0,05$ ) para pH, conforme observado na Tabela 01. BDPR e A<sub>0</sub> apresentaram valores de pH iguais a 6,80 e 6,78, respectivamente. Conforme esperado, os tratamentos com diferentes dosagens de ácido ascórbico promoveram uma redução considerável do pH. As amostras A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> apresentaram valores de pH iguais a 4,04, 3,72 e 3,49, respectivamente, diferindo estatisticamente entre si ( $P < 0,05$ ). De forma relacional, o acidez titulável aumentou em virtude da adição de ácido ascórbico. Vale destacar que houve diferença significativa entre BDPR e A<sub>0</sub> para o acidez titulável. A<sub>0</sub> apresentou concentração de ácidos três vezes superiores à BDPR. Tal ocorrência é decorrente do processo de liofilização, que, através da remoção da água, promoveu a concentração dos ácidos presentes naturalmente na batata-doce de polpa roxa. Tais alterações podem ser desejáveis em futuras aplicações dos pós liofilizados em alimentos, uma vez que o ácido ascórbico é um reconhecido antioxidante e antimicrobiano

(FRANCO, LANDGRAF, 2008; CHAVES NETO et al., 2018), o que pode trazer benefícios à manutenção da qualidade e segurança de alimentos. Além disso, ingredientes ácidos podem inibir a atividade de enzimas deteriorantes (KOBLITZ, 2014).

### 3.2. Composição química e teor de antocianinas monoméricas totais

A Tabela 2 apresenta os valores para a composição química (umidade, carboidratos totais, fibra alimentar total, proteínas, lipídios, cinzas), além dos teores de antocianinas monoméricas totais (AMT).

**Tabela 2** – Composição química (umidade, carboidratos totais, fibra alimentar total, proteínas, lipídios e cinzas) e teor de antocianinas monoméricas totais (AMT) da batata-doce de polpa roxa (BDPR) e dos pós liofilizados (A<sub>0</sub>% - 0% de ácido ascórbico, A<sub>1</sub>% - 1,5% de ácido ascórbico, A<sub>2</sub>% - 3% de ácido ascórbico e A<sub>3</sub>% - 4,5% de ácido ascórbico)

Tratamento	Componentes em base seca (%)						AMT (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g <sup>-1</sup> de amostra)
	Umidade	Carboidratos totais	Fibra alimentar total	Proteínas	Lipídios	Cinzas	
<b>BDPR</b>	66,69 <sup>A</sup> ± 0,47	78,43 <sup>A</sup> ± 3,86	16,97 <sup>A</sup> ± 0,30	2,07 <sup>B</sup> ± 0,10	0,84 <sup>A</sup> ± 0,04	1,69 <sup>B</sup> ± 0,04	56,84 <sup>A</sup> ± 3,36
<b>A<sub>0</sub></b>	5,26 <sup>B</sup> ± 0,17	76,33 <sup>A</sup> ± 3,94	11,71 <sup>B</sup> ± 0,66	3,87 <sup>A</sup> ± 0,21	0,60 <sup>AB</sup> ± 0,17	2,23 <sup>A</sup> ± 0,14	50,59 <sup>A</sup> ± 5,82
<b>A<sub>1</sub></b>	4,11 <sup>C</sup> ± 0,18	75,79 <sup>A</sup> ± 1,20	12,50 <sup>B</sup> ± 0,96	4,22 <sup>A</sup> ± 0,07	0,62 <sup>B</sup> ± 0,04	2,76 <sup>A</sup> ± 0,25	58,57 <sup>A</sup> ± 1,35
<b>A<sub>2</sub></b>	3,10 <sup>D</sup> ± 0,11	77,72 <sup>A</sup> ± 4,34	11,86 <sup>B</sup> ± 0,03	4,19 <sup>A</sup> ± 0,30	0,59 <sup>B</sup> ± 0,05	2,56 <sup>A</sup> ± 0,22	51,08 <sup>A</sup> ± 3,47
<b>A<sub>3</sub></b>	2,66 <sup>E</sup> ± 0,08	81,50 <sup>A</sup> ± 3,89	11,49 <sup>B</sup> ± 0,16	3,99 <sup>A</sup> ± 0,12	0,62 <sup>B</sup> ± 0,04	2,40 <sup>A</sup> ± 0,26	53,21 <sup>A</sup> ± 2,39

<sup>A-D</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

É possível observar que não houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os conteúdos de nenhum dos componentes analisados. Foi observada redução gradual e significativa ( $P < 0,05$ ) mediante à exposição de diferentes níveis de ácido ascórbico, comportamento análogo à atividade de água, tendo a mesma justificativa. Com a promoção da desidratação por osmose pelo ácido ascórbico, as amostras acidificadas conseguiram liberar mais água durante o processo de liofilização, resultando a redução

gradual da umidade. Os valores quase mínimos de umidade são justificados pela técnica de desidratação aplicada. A liofilização promove a remoção quase que total da água presente no alimento, podendo promover uma umidade final próxima a 2%, conforme encontrado nesse estudo (MATA *et al.*, 2005). Quando comparados à matéria-prima (BDPR), os pós liofilizados diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ) para os teores de umidade, fibra alimentar total, proteínas e cinzas.

A composição química determinada para BDPR está em consonância com os relatos presentes na literatura científica para batata-doce de polpa roxa. Ao estudar a composição de diferentes variedades de batata-doce, sendo uma das amostras analisadas uma batata-doce de polpa roxa, Ji et al. (2015) observaram teores de 0,72% para lipídios e 2,06% para cinzas para essa variedade. Já o teor de proteínas relatado pelos autores foi igual a 6,40% em base seca, consideravelmente superior ao encontrado nesse estudo. Para fibras, os autores quantificaram 2,35%, enquanto o presente estudo teve um teor próximo a 17%. Rodrigues et al. (2016) relataram conteúdos de carboidratos totais levemente superior (85,5% versus 78,43%) e percentuais de 5,70%, 3,80% e 0,42% para proteínas, cinzas e lipídios.

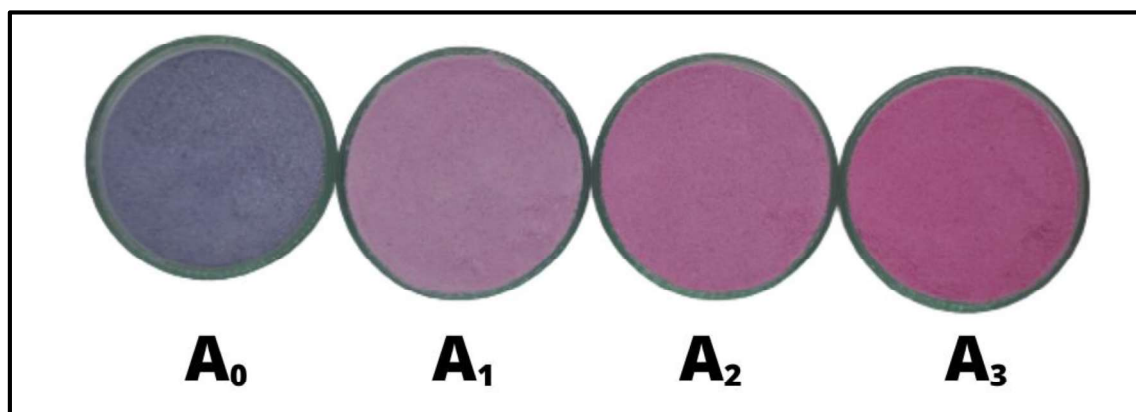
Esses mesmos autores elaboraram uma farinha de batata-doce de polpa roxa e descreveram teores similares aos quantificados no presente estudo: 3,07% para cinzas, 5,82% para proteína, 0,39% para lipídios e 85,8% para carboidratos totais. Porém, o teor de fibras relatado pelos autores foi, aproximadamente, 3 vezes menor do que o valor encontrado nos pós (4,28% versus 12%, aproximadamente). Já Islam et al. (2020) produziram e caracterizaram farinha de batata-doce de polpa roxa e encontraram um conteúdo de fibra alimentar total de 9,97%, bem próximo aos teores quantificados para os pós. De acordo com Fracasso et al. (2016), os vegetais apresentam naturalmente variações nos conteúdos de macronutrientes, que é decorrente de fatores intrínsecos, extrínsecos e ambientais, como condições e melhoramento genéticos, variedade

analisada, tipo de solo e forma de cultivo, disponibilidade de recursos, manejo durante e pós-colheita, entre outros.

Vale destacar a qualidade nutricional tanto da BDPR, bem como dos pós obtidos, que apresentaram teores superiores a 10% para fibras e inferiores a 1% para lipídios além de consideráveis teores de cinzas, que é representada em sua maioria por minerais. Sabe-se que batata-doce é um alimento de subsistência em virtude da sua destacável qualidade nutricional, podendo ser considerado uma fonte de fibra (ZHU; SUN, 2019). Logo, uma aplicação futura dos pós, ou até mesmo a incorporação da BDPR em alimentos pode ser uma alternativa para melhoria nutricional de produtos.

### 3.3. Cor

A Figura 3 apresenta os pós obtidos após o processo de liofilização. Os pós obtidos apresentaram diferentes colorações, indicando que o processamento com ácido ascórbico permitiu diferentes modulações das antocianinas presentes na BDPR. Os pós apresentaram colorações roxa ( $A_0$  – amostra controle, processada sem ácido ascórbico) e rosa, com diferentes tonalidades ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ), todas com uniformidade.



**Figura 3** – Pós liofilizados de batata-doce de polpa roxa ( $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ )

**Fonte:** Autoria própria (2022)

As variações de cor foram quantificadas e podem ser observadas na Tabela 3.



**Tabela 3** – Parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) dos pós liofilizados ( $A_0\%$  - 0% de ácido ascórbico,  $A_1\%$  - 1,5% de ácido ascórbico,  $A_2\%$  - 3% de ácido ascórbico e  $A_3\%$  - 4,5% de ácido ascórbico)

Tratamento	$L^*$	$a^*$	$b^*$
$A_0$	$52,36^C \pm 0,01$	$3,05^D \pm 0,03$	$-7,90^D \pm 0,01$
$A_1$	$64,53^A \pm 1,54$	$21,68^C \pm 0,24$	$-5,91^C \pm 0,01$
$A_2$	$62,64^A \pm 2,11$	$30,75^B \pm 0,06$	$-4,98^B \pm 0,05$
$A_3$	$60,85^B \pm 0,21$	$35,67^A \pm 0,03$	$-4,73^A \pm 0,01$

<sup>A-D</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

A partir dos dados obtidos, as amostras diferiram entre si ( $P < 0,05$ ) nos parâmetros analisados ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ). Em relação a luminosidade ( $L^*$ ), quando comparadas à amostra controle ( $A_0$ ), nota-se que as amostras apresentaram maiores valores para esse parâmetro, indicando que as amostras  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  tiveram colorações mais claras (ou seja, valores de  $L^*$  mais próximos de 100, que indicam a cor branca, enquanto valores mais próximos de 0 indicam a cor preta). Enquanto para o parâmetro  $a^*$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  também foram diferentes estatisticamente da amostra controle ( $A_0$ ). Foi observado aumento gradual nos valores obtidos, com ascensão na faixa positiva, indicando maior proximidade a tons vermelhos. Por fim, as amostras tratadas com ácido ascórbico também apresentaram maiores valores para o parâmetro  $b^*$ , indicando que  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  se afastaram, ainda que levemente, das colorações azul (indicada pelo decaimento no sentido negativo). Tais constatações para  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  podem ser observadas e confirmadas visualmente na Figura 02.

As diferentes colorações e tonalidades, bem como as variações nos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  são decorrentes das modulações das estruturas químicas das antocianinas presentes na BDPR mediante tratamento e processamento com ácido ascórbico. As antocianinas possuem a capacidade de apresentar diferentes colorações de acordo com o pH do meio. Tal capacidade é denominada como interconversão de cores. Em meios ácidos, as

antocianinas apresentam coloração tendendo ao vermelho e em valores de pH superiores a 6, a coloração tende ao roxo e ao azul (AZZINI et al., 2017).

Assim, ao aplicar um ingrediente alimentício para o desenvolvimento de um produto, diferentes respostas podem ser observadas, de acordo com as características de processo aplicado e meio (SIGURDSON et al, 2017). Além disso, a ingestão de antocianinas pode trazer melhorias ao organismo (AGCAM et al., 2017). Esses compostos apresentam uma ampla gama de efeitos biológicos e bioativos, dos quais se destacam: ações antimicrobiana, anti-inflamatória, vasodilatadora e antioxidantes, proteção cardiovascular, impacto benéfico frente à obesidade e diabetes (ACOSTA-ESTRADA et al., 2014).

### 3.4. Propriedades tecnológicas

O estudo das propriedades tecnológicas é de extrema importância para uma futura aplicação de um material como ingrediente, pois são respostas que direcionam como esse ingrediente vai se comportar quando incorporado em um alimento e seus possíveis benefícios estruturais e tecnológicos para a manutenção do padrão de identidade e qualidade do produto. A Tabela 4 traz os dados obtidos a partir da avaliação das propriedades tecnológicas [Poder de inchamento (PI), índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de óleo (IAO), capacidade de emulsificação (CE) e estabilidade de emulsão (EE)] dos pós liofilizados.

**Tabela 4** – Poder de inchamento (PI), índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de óleo (IAO), capacidade de emulsificação (CE) e estabilidade de emulsão (EE) dos pós liofilizados (A<sub>0</sub>% - 0% de ácido ascórbico, A<sub>1</sub>% - 1,5% de ácido ascórbico, A<sub>2</sub>% - 3% de ácido ascórbico e A<sub>3</sub>% - 4,5% de ácido ascórbico)

Tratamento	PI (g g <sup>-1</sup> )	ISA (%)	IAO (g g <sup>-1</sup> )	CE (%)	EE (%)
A <sub>0</sub>	10,15 <sup>A</sup> ± 0,19	49,61 <sup>C</sup> ± 0,73	6,27 <sup>A</sup> ± 0,29	87,88 <sup>A</sup> ± 2,14	51,75 <sup>B</sup> ± 1,24
A <sub>1</sub>	9,14 <sup>B</sup> ± 0,30	52,11 <sup>B</sup> ± 0,13	5,72 <sup>A</sup> ± 0,46	57,58 <sup>B</sup> ± 2,14	86,75 <sup>A</sup> ± 3,96
A <sub>2</sub>	8,07 <sup>C</sup> ± 0,29	55,59 <sup>A</sup> ± 0,82	5,82 <sup>A</sup> ± 0,58	51,21 <sup>C</sup> ± 1,71	96,97 <sup>A</sup> ± 4,29
A <sub>3</sub>	7,00 <sup>D</sup> ± 0,11	57,14 <sup>A</sup> ± 0,35	5,66 <sup>A</sup> ± 0,31	50,30 <sup>C</sup> ± 0,43	98,18 <sup>A</sup> ± 5,35

<sup>A-D</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

Em relação ao poder de inchamento, observa-se que o tratamento com ácido ascórbico promoveu alterações estatisticamente significativas ( $P < 0,05$ ) nos pós liofilizado. Com o aumento da concentração de ácido ascórbico, o poder de inchamento reduziu, o que indica que a estrutura do pó foi alterada, reduzindo sua capacidade de absorver água. Essa propriedade também pode ser nomeada como capacidade de retenção de água ou capacidade de absorção de água. Ainda que tenha ocorrido uma redução nos valores de PI, os resultados obtidos nesse estudo são superiores aos relatados na literatura para outros vegetais e batata doce, o que torna a aplicação dos pós liofilizados tecnologicamente mais atrativa. Aguilera et al. (2009) investigaram a capacidade de retenção de água de farinhas de lentilha e grão de bico, onde obtiveram índices 3,20 a 4,80 e 2,10 a 4,90, respectivamente. Enquanto Akhila et al. (2022) obtiveram valores de 2,42 e 1,18 para a absorção de água ao estudarem as propriedades da farinha e amido da batata Hausa (batata típica da África tropical). Já Lim et al. (2010) estudaram as propriedades físicas e químicas de farinhas de três variedades de batata-doce obtidas por liofilização e tiveram resultados para PI inferiores aos obtidos no presente estudo. Os autores relataram índices iguais a 1,53 para batata-doce de polpa branca, 1,50 para batata-doce de polpa laranja e 1,25 para batata-doce de polpa roxa.

De forma complementar ao PI, foi avaliado o índice de solubilidade dos pós (ISA). Os tratamentos com ácido ascórbico tornaram os pós mais solúveis em água, aspecto tecnológico de grande importância para a indústria alimentícia, uma vez que a água é ingrediente ou solvente universal em uma ampla gama de alimentos. ISA teve valores entre 49,61% e 57,14%, superiores aos achados registrados na literatura para farinhas vegetais. Kim et al. (2010) registraram valores 16,86% e 25,60% para solubilidade de farinhas liofilizadas de batata-doce de diferentes colorações, enquanto Du et al. (2014), ao avaliar as propriedades tecnológicas de 10 tipos de feijões e leguminosas encontraram valores entre a faixa de 19,44% e 29,14%.

No que se refere ao comportamento dos pós liofilizados frente a sistemas com óleo em sua composição, avaliou-se o índice de absorção de óleo (IAO), capacidade emulsificante (CE) e a estabilidade das emulsões formadas (EE). Essas três propriedades são de extrema importância para a indústria alimentícia e bons desempenhos nesses parâmetros podem permitir a manutenção, bem como correção de falhas tecnológicas de alimentos. Para IAO, o tratamento com ácido ascórbico promoveu uma redução gradual, porém, tal redução não foi estatisticamente significativa ( $P < 0,05$ ). Os valores obtidos para os pós apresentaram-se na faixa entre 5,66 e 6,27. Os resultados foram mais promissores do que os relatados por Du et al. (2014) para farinhas de feijões e leguminosas, uma vez que os autores obtiveram índices 0,93 e 1,38. A capacidade de retenção de óleos por ingredientes pode promover melhorias nas características sensoriais de alimentos, uma vez que gorduras são responsáveis por reter o sabor no alimentos e melhorar a textura (Dereje *et al.*, 2020).

Para CE, os resultados obtidos foram favoráveis. A<sub>0</sub> (amostra que não foi tratada com ácido ascórbico) teve uma capacidade emulsificante próxima a 87%, enquanto as demais amostras (A1, A2 e A3) tiveram médias entre 50% e 57%, indicando que o tratamento térmico aplicado juntamente com ácido ascórbico afetou, significativamente ( $P < 0,05$ ), a capacidade dos pós emulsionarem sistemas água-óleo. Ainda assim, os resultados foram similares, levemente superior ao relatados anteriormente. Akhila e colaboradores (2022), que obtiveram CE igual a 40,20% para farinha de batata Hausa. Já Belkacemi (2022) obteve índices entre 28% e 38,8% para farinhas de batata-doce, enquanto Waidyarathna e Ekanayake (2021) relataram capacidades emulsificantes entre 42% e 48% também para farinha de batata-doce.

Os resultados para EE apresentaram uma perspectiva interessante. Embora A<sub>0</sub> tenha apresentado uma maior capacidade de formar emulsões, as amostras tratadas com ácido ascórbico apresentaram emulsões mais estáveis, com índices entre 86,75% e

98,18%, enquanto a estabilidade da emulsão formada por A<sub>0</sub> foi igual a 51,75%. Indicando que o ácido ascórbico promoveu uma alteração tecnologicamente benéfica a sistemas emulsionados. Autores relatam estabilidades inferiores ao obtidos por A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>. Waidyarathna e Ekanayake (2021) indicaram estabilidades de emulsões próximas 35% para farinhas de batata-doce, enquanto 31,2% também para farinha de batata-doce.

Segundo Dereje et al. (2020), farinhas vegetais podem ser utilizadas em alimentos refrigerados e congelados, como estabilizadores de emulsão. Tanto as características frente à água como as avaliadas frente ao óleo podem ser funcionais na produção de alimentos que as capacidades de retenção de óleo e água (isoladas ou combinadas) são necessárias para que os produtos mantenham características sensoriais desejáveis, como salsichas, produtos de panificação, cremes e massas.

#### **4. CONCLUSÃO**

A obtenção de um ingrediente multifuncional a partir da batata-doce de polpa roxa mostrou-se viável. A escolha da liofilização para a remoção de água foi adequada, apresentando rendimentos superiores a 25%. Além disso, tanto a batata-doce como os pós liofilizados apresentaram qualidade nutricional, com destaque ao alto teor de fibras. O tratamento da batata-doce com ácido ascórbico resultou em pós com diferentes colorações, com inúmeras aplicações futuras, podendo oferecer, principalmente, diversas cores aos alimentos enriquecidos.

Vale destacar que a obtenção de um ingrediente a partir de uma fonte natural e renovável, nutricionalmente atrativa vai ao encontro das demandas dos consumidores, principalmente aos que se enquadram dentro do movimento *clean label*. Os resultados são promissores para uma futura aplicação dos pós na elaboração de produtos alimentícios. Por fim, a possibilidade da incorporação da batata-doce de polpa roxa na cadeia da indústria alimentícia pode se tornar um viés para a promoção de renda para

produtores rurais que pertencem à Agricultura Familiar, evidenciando assim, a necessidade de ações que permitam o fortalecimento de projetos pautados em extensão tecnológica e universitária.

## 5. REFERÊNCIAS

- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, Amsterdã, v. 152, p. 46–55, 2014.
- AGCAM, E.; AKYILDIZ, A.; BALASUBRAMANIAM, V. M. Optimization of anthocyanins extraction from black carrot pomace with thermosonication. **Food Chemistry**, Amsterdã, v. 237, p. 461–470, 2017.
- AGUILERA, Y.; ESTEBAN, R. M.; BENÍTEZ, V.; MOLLÁ, E.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Starch, functional properties, and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, n. 22, p. 10682–10688, 2009.
- AKHILA, P. P.; SUNOOJ, K. V.; AALIYA, B.; NAVAF, M.; SUDHEESH, C.; YADAV, D. N.; KHAN, M. A.; MIR, S. A.; GEORGE, J. Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. **Applied Food Research**, Amsterdã, v. 2, n. 2, 2022.
- AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 20, n. 1 p. 78-82, 2000.
- AZZINI, E.; GIACOMETTI, J.; RUSSO, G. L. Antiobesity Effects of Anthocyanins in Preclinical and Clinical Studies. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, Londres, v. 2017, n. ii, 2017.
- BELKACEMI, L. Blanching effect on physicochemical and functional properties of flours processed from peeled and unpeeled white-fleshed sweet potato Algerian cultivar. **Food Science and Technology (Brazil)**, Campinas, v. 42, p. 1–10, 2022.
- CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. DE L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry**, Amsterdã, v. 113, n. 4, p. 859–871, 2009.
- CHAVES NETO, J. R.; SCHUNEMANN, A. P. P.; ANDRADE, M. DAS G. DOS S.; SILVA, S. D. M. COMPOSTOS FENÓLICOS, CAROTENOIDES E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM FRUTOS DE CAJÁ-MANGA. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 55–68, 2018.
- DEREJE, B.; GIRMA, A.; MAMO, D.; CHALCHISA, T. Functional properties of sweet potato flour and its role in product development: a review. **International Journal of Food Properties**, Londres, v. 23, n. 1, p. 1639–1662, 2020.

DU, H.; YANG, H.; WANG, X.; ZHU, F.; TANG, D.; CHENG, J.; LIU, X. Effects of mulberry pomace on physicochemical and textural properties of stirred-type flavored yogurt. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 104, n. 12, p. 12403–12414, 2021.

DU, S. KUI; JIANG, H.; YU, X.; JANE, J. LIN. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. **LWT**, Amsterdã, v. 55, n. 1, p. 308–313, 2014.

FRACASSO, A.; TRINDADE, L.; AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. **Journal of Plant Physiology**, Amsterã, v. 190, p. 1–14, 2016.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia de Alimentos**. 1º ed. São Paulo: Atheneu, 2008. 182 p.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4th ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em: <[http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016\\_3\\_19/analisedealimentosial\\_2008.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf)>.

ISLAM, M. Z.; YOUNG KIM, J.; TACK LEE, Y. Physicochemical and Bread-making Properties of Flours from Sweet Potatoes with Different Flesh Colours. **Sains Malaysiana**, Selangor, v. 49, n. 7, p. 1577–1583, 2020.

JI, H.; ZHANG, H.; LI, H.; LI, Y. Analysis on the Nutrition Composition and Antioxidant Activity of Different Types of Sweet Potato Cultivars. **Food and Nutrition Sciences**, Wuhan, v. 06, n. 01, p. 161–167, 2015.

KERDUDO, A.; BURGER, P.; MERCK, F.; DINGAS, A.; ROLLAND, Y.; MICHEL, T.; FERNANDEZ, X. Développement d'un ingrédient naturel: Étude de cas d'un conservateur naturel. **Comptes Rendus Chimie**, Amsterdã, v. 19, n. 9, p. 1077–1089, 2016.

KIM, K. E.; KIM, S. S.; LEE, Y. T. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, Busanjin-gu, v. 39, n. 10, p. 1476–1480, 2010.

KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica de Alimentos – Teoria e Aplicações Práticas**. 1º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 242 p.

KUSUMAYANTI, H.; HANDAYANI, N. A.; SANTOSA, H. Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdã, v. 23, n. Ictcred 2014, p. 164–167, 2015.

LIM, S. et al. Role of anthocyanin-enriched purple-fleshed sweet potato p40 in colorectal cancer prevention. **Molecular Nutrition and Food Research**, Hoboken, v. 57, n. 11, p. 1908–1917, 2013.

LU, W.; YANG, X.; SHEN, J.; LI, Z.; TAN, S.; LIU, W.; CHENG, Z. Choosing the appropriate wall materials for spray-drying microencapsulation of natural bioactive ingredients: Taking phenolic compounds as examples. **Powder Technology**, Amsterdã, v. 394, p. 562–574, 2021.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; ALSEMO, G. C. S.; RODRIGUES, E.; GUEDES, M. A.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A. Obtenção De

- Graviola Em Po Pelo Processo De Liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 165–172, 2005.
- NASCIMENTO, K. D. O. do; LOPES, D. S.; TAKEITI, C. Y.; BARBOSA, J. L.; BARBOSA, M. I. M. J. Physicochemical characteristics of tubers from organic sweet potato roots. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 225–234, 2015.
- POIANI, M. R.; MONTANUCI, F. D. Physical, technological characterization and texture profile of grapefruit and flaxseed cookies. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, p. 1–14, 2019.
- RODRIGUES, N. DA R.; BARBOSA, J. L.; BARBOSA, M. I. M. J. Determination of physico-chemical composition, nutritional facts and technological quality of organic orange and purple-fleshed sweet potatoes and its flours. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 23, n. 5, p. 2071–2078, 2016.
- ROOBAB, U.; KHAN, A. W.; LORENZO, J. M.; ARSHAD, R. N.; CHEN, B. R.; ZENG, X. A.; BEKHIT, A. E. D.; SULEMAN, R.; AADIL, R. M. A systematic review of clean-label alternatives to synthetic additives in raw and processed meat with a special emphasis on high-pressure processing (2018–2021). **Food Research International**, Amsterdã, v. 150, n. PA, p. 110792, 2021.
- SIGURDSON, G. T.; TANG, P.; GIUSTI, M. M. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, San Mateo, v. 8, n. December 2016, p. 261–280, 2017.
- SILVA, R. D. S.; ARCANJO, N. M.; MORAIS, J. L. de; CRISTINA, A.; MARTINS, S.; JERÔNIMO, M. Â.; RIBEIRO, A. Elaboration and physicochemical characterization of sweet potato flour (*Ipomoea batatas* L.). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, João Pessoa, v. 14, n. 01, p. 127–131, 2020.
- SOUZA, M. L. R. DE; GODOY, L. C. DE; VISENTAINER, J. V.; SOUZA, N. E. DE; FRANCO, N. DO P.; OLIVEIRA, G. G.; FEIHRMANN, A. C.; GOES, E. S. DOS R. Produção de farinhas a partir de carcaças de tilápia, pacu e carpa para inclusão em produtos alimentícios. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 16, p. e583101621134, 2021.
- STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdã, v. 15, n. 1, p. 19–38, 2004.
- SUDJATINAH, S.-; WIBOWO, C. H.; PUTRI, A. S. A Study on The Utilization of Purple Sweet Potato (*Ipomea batatas* L) for Ice Cream as Antioxidants. **Journal of Applied Food Technology**, Semarang, v. 7, n. 1, p. 1–4, 2020.
- TSUKUI, A.; SUZUKI, A.; KOMAMAKI, K.; TERAHARA, N.; YAMAKAWA, O.; HAYASHI, K. Stability and Composition Ratio of Anthocyanin Pigments from *Ipomoea batatas* Poir. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, Tsukuba, v. 46, n. 3, p. 148–154, 1999.
- VITAL, A. N. S.; BENÍCIO, V. C.; LINS, Y. L. F.; VIANA, K. W. C.; MESSIAS, C. M. B. DE O. Physicochemical composition and antioxidant activity of sweet potato flours from different cultivars produced in the Sub-middle São Francisco region. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 3, 2023.



WAIDYARATHNA, G. R. N. N.; EKANAYAKE, S. Nutrient composition and functional properties: Suitability of flour of sweet potatoes (*Ipomea batatas*) for incorporation into food production. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, Dschang, v. 15, n. 3, p. 897–908, 2021.

WROLSTAD, R. E.; CULVER, C. A. Alternatives to those artificial FD & C food colorants. **Annual Review of Food Science and Technology**, San Mateo, v. 3, n. 1, p. 59–77, 2012.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. **Agricultural and Biological Chemistry**, Bunkyo-ku, v. 36, n. 5, p. 719–727, 1972.

ZHU, F.; SUN, J. Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour. **Food Bioscience**, Amsterdã, v. 30, n. August 2018, p. 100411, 2019.

## 6. CAPÍTULO II

### **Efeitos da adição de pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa nas propriedades físico-químicas e texturais do iogurte tipo Grego**

#### **RESUMO**

O mercado de alimentos vem mudando significativamente no decorrer dos últimos anos. Há uma crescente demanda dos consumidores por produtos que se aproximem do conceito de saudabilidade, com redução dos ingredientes sintéticos. Assim, diversas pesquisas vêm sendo realizadas a fim de propor ingredientes alimentícios obtidos de fontes naturais, renováveis e alternativas. A batata-doce de polpa roxa é uma raiz rica em amido (polissacarídeo de grande importância para a indústria) e antocianinas (pigmento que pode conferir uma ampla gama de cores frente a diferentes valores de pH). Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa nas propriedades físicas e químicas do iogurte tipo Grego. Os pós foram obtidos a partir da liofilização da batata-doce de polpa tratada com diferentes soluções de ácido ascórbico (0% - A0, 1,5% - A1, 3,0% - A2 e 4,5% - A3). O iogurte foi enriquecido com pó liofilizado de batata doce de polpa roxa em dois níveis (2% e 4%). Como controle, foi utilizado o iogurte sem adição de pós. Avaliou-se acidez, pH, cor instrumental, sinérese, viscosidade aparente e textura instrumental. Após o enriquecimento, os iogurtes apresentaram colorações rosadas, em diferentes tonalidades e intensidades. As amostras enriquecidas com os pós tratados com ácido ascórbico nas concentrações de 3,0% e 4,5% (A2 e A3) apresentaram pós-acidificação ao longo dos 30 dias de armazenamento, observada pela redução significativa do pH e aumento significativo do acidez ( $P < 0,05$ ). Por outro lado, os iogurtes enriquecidos com A0 apresentaram pH e acidez mais estáveis ao longo do armazenamento. A viscosidade aparente aumentou em todos os iogurtes enriquecidos quando comparadas à amostra controle. Em relação a textura, somente a amostra enriquecida com 4% de A0 promoveu o aumento significativo ( $P < 0,05$ ) da firmeza do iogurte, quando comparada ao controle. Por fim, em relação à sinérese, as amostras adicionadas de A0 apresentaram maior capacidade de retenção de água. Os demais pós não reduziram a sinérese, acarretando valores próximos ou superiores à amostra controle. Assim, a batata-doce de polpa roxa em pó mostrou-se como potencial ingrediente alimentício para iogurte tipo Grego. Entretanto, o uso de ácido ascórbico resultou em maior pós-acidificação e sinérese, indicando limitações na aplicação em iogurtes.

**Palavras-chave:** *antocianinas; clean label; pesquisa e desenvolvimento; novos produtos; corantes alimentícios*

# **Effects of the addition of lyophilized powders of different colors from purple fleshed sweet potato on the physicochemical and textural properties of Greek yogurt**

## **ABSTRACT**

Food market has changed significantly over the last few years. There is a growing consumer demand for products that are closer to the concept of healthiness, with a reduction in synthetic ingredients or without their use. Thus, several studies have been carried out in order to propose alternatives for food ingredients obtained from natural and renewable sources. Purple fleshed sweet potato stands out, a root rich in starch (polysaccharide of great importance for the industry) and anthocyanins (pigment that can confer a wide range of colors in relation to different pH values). Thus, the present work aimed to evaluate the effects of the addition of lyophilized powders of different colors from purple fleshed sweet potato in the physical and chemical properties of Greek yogurt. The powders were obtained from the modulation of anthocyanins using different solutions of ascorbic acid (0% - A0, 1.5% - A1, 3.0% - A2 and 4.5% - A3). The yogurt was enriched with lyophilized powders of purple fleshed sweet potato to two levels (2% and 4%). As a control, yogurt without addition of powder was used. Acidity, pH, instrumental color, syneresis, apparent viscosity and instrumental texture were evaluated. After enrichment, the yogurts showed pink colors, in different shades and intensities. The samples enriched with the powders treated with ascorbic acid at concentrations of 3.0% and 4.5% (A2 e A3) showed evidenced post-acidification over the 30 days of storage, observed from the reduction of the pH and increase of the acidity index. On the other hand, the yogurts enriched with A0 showed more stable pH and acidity throughout the storage. Apparent viscosity increased in all enriched yogurts when compared to the control sample. Regarding texture, only the sample enriched with A0 at the level of 4% promoted a significant increase ( $P < 0.05$ ) of yogurt firmness when compared to the control. Finally, in relation to syneresis, an important parameter for the standard of identity and quality for yogurts, the added samples enriched with A0 showed higher water retention capacities. The other powders did not reduced the syneresis, resulting in values close to or higher than the control sample. Thus, lyophilized purple-fleshed sweet potato powders proved to be potential food ingredients. However, its addition to Greek yogurt resulted in more evident post-acidification and syneresis, indicating that there are still limitations regarding its application in certain foods.

**Keywords:** *anthocyanins; clean label; Research and Development; new products; food coloring*

## 1. INTRODUÇÃO

O iogurte é um alimento de reconhecido valor nutricional devido aos seus teores de proteínas, micronutrientes (vitaminas e minerais) e compostos bioativos. Além disso, possui em sua composição micro-organismos benéficos à saúde humana. É um produto de grande importância comercial, fazendo parte dos hábitos alimentares de indivíduos em diversos lugares do mundo (MANTZOURANI *et al.*, 2022). O iogurte é um leite fermentado, cuja fermentação é feita pelos micro-organismos *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* leva a coagulação, que permite a obtenção de um produto ácido e em estado semissólido. O pH final do produto é próximo a 4,50 (OSORIO-ARIAS *et al.*, 2020).

Há uma ampla gama de tipos de iogurtes presentes no mercado, dos quais se destaca o iogurte tipo Grego, um produto concentrado, com maior valor comercial agregado que é obtido a partir da dessoragem do iogurte tradicional, que acarreta em alimento com atributos característicos, como maior cremosidade e maior firmeza (JØRGENSEN *et al.*, 2019; LI; YE; SINGH, 2021; BABU; LIU; AMAMCHARLA, 2022).

De acordo com a Instrução Normativa nº 46 (2007), diversos aditivos e coadjuvantes de tecnologia/elaboração são permitidos na fabricação de iogurtes. Tais compostos têm funções variadas, tais como corante, aromatizante, estabilizante, emulsificante e acidulante (BRASIL, 2007). Devido à facilidade de aplicação, maior reprodutibilidade, maior estabilidade química e térmica ao decorrer do processamento e armazenamento, menor fotossensibilidade, menores custos e processos de obtenção mais fáceis, os aditivos e/ou coadjuvantes sintéticos/artificiais tendem a ser a primeira escolha da indústria alimentícia (GORDILLO *et al.*, 2018). Contudo, com as mudanças nos hábitos alimentares que vêm ocorrendo nos últimos anos, os consumidores vêm buscando opções mais próximas ao natural, que remetam saudabilidade e com utilização mínima (ou ainda, sem utilização) de ingredientes sintéticos, fazendo com que a indústria alimentícia realize mudanças em suas formulações e processos (GRANATO; NUNES; BARBA, 2017; ASCHEMANN-WITZEL; VARELA; PESCHEL, 2019).

Um dos maiores estimuladores de tais mudanças no mercado é o movimento *clean label*, que tem como principal premissa que o consumidor entenda o que está comendo e que sejam utilizados o mínimo de ingredientes possíveis (ASIOLI *et al.*, 2017). Por

possuírem diversos componentes capazes de conferir propriedades tecnológicas desejáveis aos alimentos, os vegetais se destacam como potenciais fontes para a obtenção. É o caso da batata-doce de polpa roxa (BDPR), raiz rica em antocianinas (pigmento com potencial bioativo e capaz de apresentar colorações distintas frente a diferentes valores de pH) e amido (polissacarídeo de grande importância tecnológica para a indústria alimentícia, com funcionalidades como espessante, estabilizante, agente ligante, gelificante (CASTAÑEDA-OVANDO *et al.*, 2009; BANGAR *et al.*, 2022).

A utilização dos diferentes pós liofilizados em produtos alimentícios pode promover melhorias na qualidade nutricional, devido à destacável composição de macronutrientes, micronutrientes e compostos bioativos presentes na batata-doce. O uso de uma matriz renovável, natural e de origem vegetal vai ao encontro das demandas mercadológicas determinadas pelos consumidores, em especial, o atendimento às premissas do movimento *clean label*.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de pós liofilizados de batata-doce com diferentes cores nas propriedades físico-químicas e na textura do iogurte tipo Grego. As diferentes colorações do pó foram obtidas com a modulação das antocianinas utilizando soluções de ácido ascórbico de diferentes concentrações (0%, 1,5%, 3% e 4,5%). Os ensaios foram realizados no Laboratório Instrumental do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Seropédica, Rio de Janeiro – Brasil).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

Leite UHT integral – 3% de gordura (Quatá®, São Paulo, Brasil), creme de leite – 20% de gordura (Qualitá®, São Paulo, Brasil) e leite em pó desnatado (Molico – Nestlé®, São Paulo, Brasil) foram obtidos de um mercado local (Rio de Janeiro, Brasil). Lyofast Y 438 A, uma cultura liofilizada de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, foi doada pela Sacco Brasil® (São Paulo, Brasil).

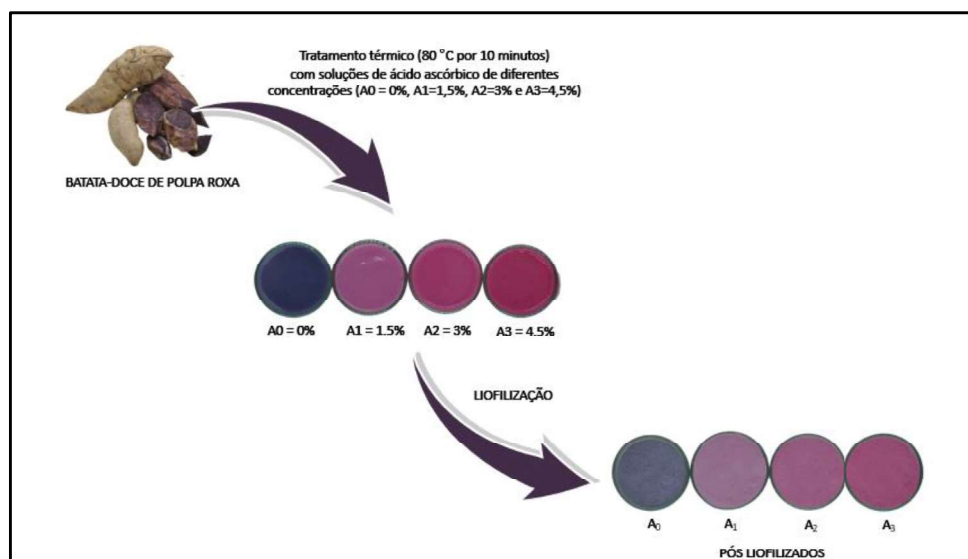
A batata-doce de polpa roxa (BDPR) foi obtida a partir de uma unidade de produção familiar localizada em Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil (latitude 22° 47' 03,6" Sul e longitude 43° 39' 40,1" Oeste). A variedade utilizada chama-se batata-doce “Beni imo” ou “Okinawa” (Figura 1) e tem polpa roxa e casca branca.



**Figura 1** – Batata-doce de polpa roxa

## **2.2.    *Processamento da batata-doce de polpa roxa (BDPR)***

BDPR foi colhida de forma manual e selecionada. Em seguida, foi lavada, sanitizada por imersão em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm por 15 min), descascada manualmente, cortada em pedaços de 5 cm<sup>2</sup> e tratadas termicamente por imersão a 80 °C por 10 minutos utilizando 4 tratamentos com soluções de ácido ascórbico com diferentes concentrações (A<sub>0</sub>: 0% m/m, A<sub>1</sub>: 1,5% m/m, A<sub>2</sub>: 3,0% m/m, e A<sub>3</sub>: 4,5% m/m). Após o tratamento térmico, a batata e a água de cozimento foram processadas em liquidificador industrial (modelo LI-1,5-N, Skymesen, Santa Catarina, Brasil) por 10 min. Os purês obtidos foram acondicionados em embalagens plásticas herméticas e congelados a -18°C em freezer convencional por 7 dias. Depois de congelado, o purê foi desidratado em liofilizador de bancada (Liotop®, modelo L101) por um período médio de 5 dias, triturado em liquidificador industrial (modelo LI-1,5-N, Skymesen, Santa Catarina, Brasil) e selecionado em peneira granulométrica de 710 µm. O pó foi armazenado em recipientes herméticos sob refrigeração (4°C). A Figura 2 apresenta o fluxograma geral de processamento de BDPR.



**Figura 2** – Representação geral do processamento das raízes de batata-doce de polpa roxa

### 2.3. *Processamento e enriquecimento do iogurte tipo grego*

O iogurte tipo Grego foi produzido seguindo os procedimentos descritos por SANTOS et al. (2022), com pequenas adaptações. Leite integral UHT foi suplementado com leite em pó desnatado, a uma proporção de 2% m/m. A mistura foi homogeneizada e aquecida a 43 °C. Em seguida, foi realizada a inoculação da cultura liofilizada mista (*Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus*), a uma proporção de 0,07 g/L, seguindo as recomendações do fabricante, e incubação em banho-maria a 43 °C até que fosse atingido o pH entre 4,50 e 4,60, com tempo de fermentação de, aproximadamente, 4,5 horas. Após a coagulação, o iogurte seguiu para dessoragem, que foi realizada em sacos de algodão estéreis e sob refrigeração (4 °C) por 18 horas. Passadas as 18 horas, o soro foi descartado e o iogurte concentrado foi suplementado com creme de leite (20 % de gordura) e homogeneizado utilizando uma batedeira planetária. O iogurte foi dividido em 9 partes iguais, que foram enriquecidas com diferentes concentrações dos pós liofilizados (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) (Quadro 1).

**Quadro 1** – Níveis de enriquecimento dos iogurtes e codificação dos tratamentos

Tratamento	Pó utilizado	Nível de enriquecimento
<i>Controle</i>	não se aplica	não se aplica
<i>A0 2%</i>	A <sub>0</sub> (0% de ácido ascórbico)	2% m/m
<i>A0 4%</i>		4% m/m
<i>A1 2%</i>	A <sub>1</sub> (1,50% de ácido ascórbico)	2% m/m
<i>A1 4%</i>		4% m/m
<i>A2 2%</i>	A <sub>2</sub> (3,00% de ácido ascórbico)	2% m/m
<i>A2 4%</i>		4% m/m
<i>A3 2%</i>	A <sub>3</sub> (4,50% de ácido ascórbico)	2% m/m
<i>A3 4%</i>		4% m/m

Após o enriquecimento, as amostras foram homogeneizadas utilizando uma batedeira planetária e envasadas em embalagens plásticas herméticas, contendo 30 g de iogurte, aproximadamente. As amostras de iogurte foram mantidas sob refrigeração (4 °C) para posteriores ensaios.

#### **2.4. pH e acidez titulável**

O pH foi determinado usando um potenciômetro digital (Starter 2100, Ohaus, Barueri, Brasil) (Protocolo n° 017/IV – IAL, 2008). A acidez titulável foi determinado por titulometria, com auxílio de um potenciômetro digital (Starter 2100, Ohaus, Barueri, Brasil) para auxiliar na determinação do ponto de viragem do indicador, usando solução de hidróxido de sódio 0,1 M como titulante e solução etanólica de fenolftaleína 1% como indicador. O acidez titulável foi expresso em mg KOH.g<sup>-1</sup> (Protocolo n° 016/IV – IAL, 2008).

#### **2.5. Cor instrumental**

A cor instrumental foi determinada imediatamente após o enriquecimento do iogurte tipo Grego com os pós liofilizados, utilizando um colorímetro Konica Minolta



Colorimeter Spectrophotometer CM-5 (Konica Minolta®, Osaka, Japão). As amostras de iogurte foram acondicionadas em placas de Petri de vidro e foram determinados os parâmetros CIELab  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , em que o valor de  $L^*$ , indica a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), a coordenada  $a^*$  representa colorações entre vermelho (positivo) e verde (negativo) e a coordenada  $b^*$  indica colorações entre amarelo (positivo) e azul (negativo). A partir das leituras de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram determinados os parâmetros  $C^*$ , que indica da saturação das cores e  $^{\circ}\text{hue}$ , que apresenta as tonalidades.

## **2.6. Sinérese**

A sinérese foi mensurada seguindo o procedimento descrito por DU et al. (2021), com pequenas modificações. 10 g de iogurte foram transferidos para tubos cônicos tipo falcon e centrifugados por 10 minutos a  $3.750 \times g$ . Em seguida, o soro foi coletado e pesado. A sinérese foi expressa em % e calculada a partir da Equação 1:

$$\text{Sinérese}(\%) = \left( \frac{\text{massa da amostra} - \text{massa de soro expelido}}{\text{massa da amostra}} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

## **2.7. Viscosidade aparente**

A viscosidade aparente foi determinada após 24 horas do processamento dos iogurtes, com armazenamento sob refrigeração ( $4^{\circ}\text{C}$ ). Os ensaios foram realizados em um viscosímetro rotacional com cilindros concêntricos (modelo 35 A, Fann Instrument Company, Houston, EUA). Para minimizar as interferências nas leituras, todo o procedimento foi realizado em ambiente climatizado e após a transferência para os cilindros metálicos, as amostras foram mantidas sob refrigeração ( $4^{\circ}\text{C}$ ) por 30 minutos. As velocidades de rotação utilizadas foram: 0,90; 1,80; 3,00; 6,00; 30 e 60 rpm, e foram obtidos os dados da taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento. Os resultados foram expressos pela viscosidade aparente em cP (centiPoise) em relação à velocidade de rotação.

## **2.8. Perfil de Textura Instrumental**

A análise da textura das amostras de iogurte foi realizada com uso de um texturômetro TA – XT 2 (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK). O ensaio foi realizado 24 horas após o envase. A fim de minimizar interferências nos procedimentos, as leituras foram realizadas na mesma embalagem em que o iogurte foi envasado, utilizando 30 g de amostra, aproximadamente. O Perfil de Textura Instrumental foi determinada com a utilização de um probe cilíndrica de 35 mm de diâmetro, acoplada à

uma célula de carga de 5 kg. As condições de análise foram as seguintes: velocidade pré-teste = 1,7 mm/s; velocidade de teste = 1,7 mm/s; velocidade pós-teste = 1,0 mm/s; 2 ciclos de penetração; distância percorrida até a amostra = 5 mm; força de contato = 100 g; tempo de contato = 5 s. Os parâmetros obtidos foram: firmeza, coesividade, adesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade.

## 2.9. Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. Os dados foram analisados pela análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo Teste Tukey e considerado nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). A análise estatística foi realizada com Statistic 10.0 (Statsoft®, Tulsa, EUA).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. pH e acidez titulável

A Tabela 1 apresenta os valores de pH registrados para a amostra controle e as amostras enriquecidas ao longo de 30 dias de armazenamento.

**Tabela 1** – Valores de pH de iogurte tipo Grego enriquecidos com pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa durante o armazenamento sob refrigeração (4 °C)

Tratamentos	pH			
	0 dias	10 dias	20 dias	30 dias
<b>Controle</b>	4,37 <sup>BCa</sup> $\pm$ 0,01	4,18 <sup>Db</sup> $\pm$ 0,02	4,10 <sup>Bc</sup> $\pm$ 0,04	4,03 <sup>Cc</sup> $\pm$ 0,04
<b>A0 2%</b>	4,40 <sup>Ba</sup> $\pm$ 0,02	4,35 <sup>ABab</sup> $\pm$ 0,02	4,34 <sup>Aab</sup> $\pm$ 0,04	4,29 <sup>Ab</sup> $\pm$ 0,01
<b>A0 4%</b>	4,46 <sup>Aa</sup> $\pm$ 0,03	4,40 <sup>Aab</sup> $\pm$ 0,01	4,36 <sup>Abc</sup> $\pm$ 0,03	4,32 <sup>Ac</sup> $\pm$ 0,02
<b>A1 2%</b>	4,35 <sup>CDa</sup> $\pm$ 0,01	4,29 <sup>BCa</sup> $\pm$ 0,01	4,14 <sup>Bb</sup> $\pm$ 0,10	4,13 <sup>Bb</sup> $\pm$ 0,04
<b>A1 4%</b>	4,32 <sup>DEa</sup> $\pm$ 0,02	4,24 <sup>CDa</sup> $\pm$ 0,03	4,14 <sup>Bb</sup> $\pm$ 0,04	4,04 <sup>Cc</sup> $\pm$ 0,03
<b>A2 2%</b>	4,30 <sup>Efa</sup> $\pm$ 0,02	4,07 <sup>Eb</sup> $\pm$ 0,02	3,84 <sup>Cc</sup> $\pm$ 0,05	3,67 <sup>Ed</sup> $\pm$ 0,04
<b>A2 4%</b>	4,29 <sup>Efa</sup> $\pm$ 0,01	3,85 <sup>Fb</sup> $\pm$ 0,07	3,69 <sup>Dc</sup> $\pm$ 0,04	3,63 <sup>EFc</sup> $\pm$ 0,03
<b>A3 2%</b>	4,27 <sup>Fa</sup> $\pm$ 0,01	3,72 <sup>Gb</sup> $\pm$ 0,04	3,62 <sup>Dc</sup> $\pm$ 0,02	3,59 <sup>Fc</sup> $\pm$ 0,03
<b>A3 4%</b>	4,19 <sup>Ga</sup> $\pm$ 0,00	3,88 <sup>Fb</sup> $\pm$ 0,02	3,85 <sup>Cb</sup> $\pm$ 0,05	3,84 <sup>Db</sup> $\pm$ 0,03

<sup>A-G</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ); <sup>a-f</sup> Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

1 A partir dos resultados obtidos, é possível observar que o enriquecimento do  
2 iogurte com o pó não adicionado de ácido ascórbico promoveu uma elevação significativa  
3 de pH ( $P < 0,05$ ) no tratamento A0 4%) quando comparada à amostra controle, enquanto  
4 as amostras A0 2% e A1 2% não apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) em  
5 relação à amostra controle. As demais amostras apresentaram valores de pH inferiores,  
6 decorrente do tratamento com ácido ascórbico.

7 Em relação a estabilidade do pH no armazenamento do iogurte foi observado que  
8 todas as amostras apresentaram redução significativa ao longo dos 30 dias a 4 °C,  
9 indicando a ocorrência de pós-acidificação. As amostras A2 4%, A3 2% e A3 4%  
10 apresentaram valores de pH inferiores a 4,00 em 10 dias de armazenamento, enquanto a  
11 amostra A2 2% apresentaram valores de pH inferiores a 4,00 a partir de 20 dias de  
12 armazenamento. O decaimento do pH ao longo do armazenamento indica acúmulo de  
13 ácido lático decorrente da atividade do *Lactobacillus bulgaricus*, acarretando a pós-  
14 acidificação, o que é desfavorável, pois conferem características físicas, químicas e  
15 sensoriais inadequadas e redução na vida útil (ANUYAHONG et al., 2020;  
16 GHASEMPOUR et al., 2020).

17 Os resultados do acidez titulável da amostra (Tabela 2) foram complementares às  
18 leituras de pH mostradas na Tabela 1.

**Tabela 2** – Valores de acidez titulável de iogurte tipo Grego enriquecidos com pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa durante o armazenamento sob refrigeração (4 °C)

Tratamento	Acidez titulável (mg KOH/g)			
	0 dias	10 dias	20 dias	30 dias
<i>Controle</i>	8,10 <sup>Fa</sup> ± 0,52	8,37 <sup>Fa</sup> ± 0,03	8,42 <sup>Da</sup> ± 0,19	8,53 <sup>Ea</sup> ± 0,12
<i>A0 2%</i>	8,56 <sup>EFa</sup> ± 0,16	8,64 <sup>EFa</sup> ± 0,11	8,76 <sup>CDa</sup> ± 0,03	8,79 <sup>Ea</sup> ± 0,03
<i>A0 4%</i>	8,63 <sup>EFa</sup> ± 0,27	8,64 <sup>EFa</sup> ± 0,24	8,83 <sup>CDa</sup> ± 0,25	8,89 <sup>Ea</sup> ± 0,11
<i>A1 2%</i>	8,96 <sup>DEa</sup> ± 0,09	9,12 <sup>EFa</sup> ± 0,14	9,14 <sup>Da</sup> ± 0,07	9,27 <sup>Db</sup> ± 0,01
<i>A1 4%</i>	9,11 <sup>DEb</sup> ± 0,17	9,31 <sup>BDEa</sup> ± 0,55	9,40 <sup>BCa</sup> ± 0,36	9,75 <sup>Da</sup> ± 0,08
<i>A2 2%</i>	9,43 <sup>CDc</sup> ± 0,20	10,00 <sup>CDb</sup> ± 0,10	10,46 <sup>Bab</sup> ± 20,36	10,89 <sup>Ca</sup> ± 0,06
<i>A2 4%</i>	9,88 <sup>Cc</sup> ± 0,12	10,70 <sup>BCb</sup> ± 0,20	11,11 <sup>Bab</sup> ± 0,36	11,72 <sup>Ba</sup> ± 0,19
<i>A3 2%</i>	10,84 <sup>Bb</sup> ± 0,14	11,15 <sup>Bab</sup> ± 0,47	11,17 <sup>Bab</sup> ± 0,21	11,81 <sup>Ba</sup> ± 0,21
<i>A3 4%</i>	12,37 <sup>Ab</sup> ± 0,34	12,65 <sup>ABa</sup> ± 0,19	12,74 <sup>ABa</sup> ± 0,23	13,12 <sup>Aa</sup> ± 0,34

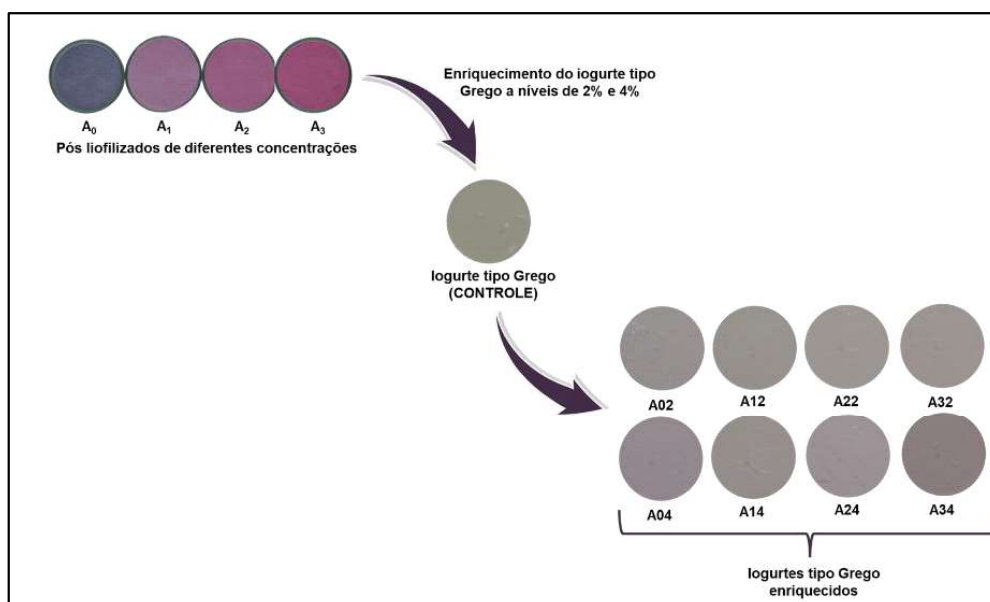
<sup>A-F</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ); <sup>a-c</sup> Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

É possível observar uma elevação da acidez proporcional ao aumento da concentração de ácido ascórbico utilizado nos tratamentos térmicos. Apenas amostras controle, A0 2% e A0 4% não apresentaram mudanças significativas ( $P < 0,05$ ) em relação à acidez ao longo do tempo de armazenamento (30 dias). As alterações ao decorrer dos 30 dias são condizentes com a pós-acidificação (Tabela 01. Variações em relação à acidez e ao pH são comumente observadas em produtos fermentados, uma vez que o metabolismo microbiano pode continuar provocando mudanças na matriz (MATEJČEKoVÁ et al., 2017).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 2, é possível observar que o metabolismo microbiano foi mais acentuado nas amostras enriquecidas com pós oriundos dos tratamentos com ácido ascórbico, indicando que o abaixamento do pH promoveu a pós-acidificação (PUERARI et al., 2015; LU et al., 2018).

### 3.2. Cor

A Figura 3 apresenta os iogurtes obtidos após o enriquecimento com pós liofilizados de batata-doce de polpa roxa em diferentes níveis, conforme apresentado Quadro 01.



**Figura 3** – Iogurtes tipo Grego enriquecidos com diferentes níveis de pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa em 0 dias de armazenamento

É possível observar que os iogurtes apresentaram colorações rosadas, em diferentes tonalidades e intensidades, corroborando com os parâmetros de cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $^{\circ}hue$ ) obtidos (Tabela 3).

**Tabela 3** – Parâmetros de cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $^{\circ}hue$ ) de iogurtes tipo Grego enriquecidos com pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa em 0 dias de armazenamento

Tratamento	Parâmetros (Cor Instrumental)				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$^{\circ}hue$
<b>Controle</b>	92,94 <sup>A</sup> ± 1,38	0,73 <sup>A</sup> ± 0,02	12,16 <sup>A</sup> ± 0,06	148,48 <sup>A</sup> ± 1,09	1,51 <sup>A</sup> ± 0,00
<b>A0 2%</b>	87,29 <sup>BC</sup> ± 1,59	8,84 <sup>G</sup> ± 0,08	5,56 <sup>E</sup> ± 0,06	109,03 <sup>B</sup> ± 1,55	0,56 <sup>F</sup> ± 0,00
<b>A0 4%</b>	81,27 <sup>F</sup> ± 0,93	8,44 <sup>F</sup> ± 0,11	2,53 <sup>H</sup> ± 0,05	77,72 <sup>F</sup> ± 1,48	0,29 <sup>I</sup> ± 0,01
<b>A1 2%</b>	88,56 <sup>B</sup> ± 0,26	8,50 <sup>F</sup> ± 0,09	3,88 <sup>G</sup> ± 0,09	87,28 <sup>D</sup> ± 1,72	0,43 <sup>G</sup> ± 0,01
<b>A1 4%</b>	85,30 <sup>CDE</sup> ± 0,23	6,28 <sup>D</sup> ± 0,09	6,29 <sup>D</sup> ± 0,09	79,01 <sup>F</sup> ± 0,82	0,79 <sup>D</sup> ± 0,01
<b>A2 2%</b>	88,16 <sup>B</sup> ± 1,09	4,74 <sup>B</sup> ± 0,09	7,61 <sup>B</sup> ± 0,07	80,31 <sup>EF</sup> ± 1,28	1,01 <sup>B</sup> ± 0,01
<b>A2 4%</b>	85,91 <sup>CD</sup> ± 1,15	5,49 <sup>C</sup> ± 0,07	6,84 <sup>C</sup> ± 0,05	76,89 <sup>F</sup> ± 0,46	0,89 <sup>C</sup> ± 0,01
<b>A3 2%</b>	83,98 <sup>DEF</sup> ± 0,87	7,54 <sup>E</sup> ± 0,05	5,29 <sup>F</sup> ± 0,06	84,79 <sup>DE</sup> ± 0,87	0,61 <sup>E</sup> ± 0,00
<b>A3 4%</b>	82,50 <sup>EF</sup> ± 0,46	9,39 <sup>H</sup> ± 0,09	3,74 <sup>G</sup> ± 0,06	102,20 <sup>C</sup> ± 1,67	0,38 <sup>H</sup> ± 0,00

<sup>A-H</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

Em relação à luminosidade ( $L^*$ ), os resultados variaram entre 81,27 e 92,94, onde todas as amostras enriquecidas, independente do pó utilizado, apresentaram redução desse parâmetro, indicando que se tornaram mais escuras após o enriquecimento quando comparadas à amostra controle. Esse comportamento já esperado, uma vez que a amostra controle (não-enriquecida) apresentou coloração tendendo ao branco, enquanto as amostras acrescidas dos pós passaram a apresentar coloração tendendo à rosa. A partir dos dados apresentados na Tabela 03, observa-se que a redução do parâmetro  $L^*$  foi inversamente proporcional ao nível de enriquecimento. Quando comparamos o enriquecimento a 2% e 4%, observa-se que houve uma redução da luminosidade para todas as amostras (Tabela 03), indicando que ao aumentar a dosagem de pós, as amostras tendem a ser mais escuras. Os resultados obtidos para esse parâmetro estão em acordo com resultados descritos por outros autores na literatura científica. FREIRE et al. (2020)

1 enriqueceram leite fermentado com extrato rico em antocianinas obtido a partir de uvas  
2 tinta (Isabel e Rubi). Os autores relataram uma redução da luminosidade muito mais  
3 evidenciada que no presente estudo, uma vez que foram obtidas leituras de 75,7 e 57,1  
4 antes e depois do enriquecimento, respectivamente. BARRETO et al. (2020) também  
5 observaram redução de  $L^*$  após a adição de antocianinas obtidas a partir da casca de  
6 berinjela em iogurte. Os valores relatados foram de 85,70 antes do enriquecimento e  
7 84,56, 83,91 e 83,19 para enriquecimentos nos níveis de 1,1,5 e 2,0%.

8 Para o parâmetro  $a^*$  também foram observadas diferenças significativas ( $P < 0,05$ )  
9 entre as amostras quando comparadas à amostra controle (Tabela 03). Este parâmetro  
10 indica colorações entre vermelho (positivo) e verde (negativo). A amostra controle  
11 apresentou valores baixos (0,73), enquanto as amostras enriquecidas apresentaram  
12 valores entre 5,49 e 9,39, indicando que as amostras apresentaram colorações tendendo  
13 ao vermelho. Tal resultado pode ser observado na Figura 04, uma vez que os iogurtes  
14 enriquecidos apresentaram colorações rosadas, cor presente no espectro em tonalidades  
15 de vermelho. Ao comparar os níveis, as amostras enriquecidas com A0 e A1 apresentaram  
16 redução dos valores de  $a^*$  com o aumento da quantidade de pó, enquanto as amostras A  
17 2 2%, A2 4%, A3 2% e A3 4% tiveram aumentos nos valores de  $a^*$  conforme a elevação  
18 no teor de antocianinas.

19 Já em relação ao parâmetro  $b^*$ , as amostras enriquecidas também diferiram  
20 estatisticamente ( $P < 0,05$ ) da amostra controle (Tabela 03). Ao contrário dos resultados  
21 observados para o parâmetro  $a^*$ , ocorreu uma redução para  $b^*$ , quando comparamos as  
22 amostras enriquecidas com a amostra controle. A amostra controle apresentou valor igual  
23 a 12,16, enquanto as amostras enriquecidas tiveram valores entre 2,53 e 7,61. Vale  
24 destacar que o parâmetro  $b^*$  indica o posicionamento das colorações entre amarelo  
25 (positivo) e azul (negativo). A amostra controle apresentou valores superiores, na região  
26 amarela, indicando que amostra é clara (devido ao alto valor de  $L^*$ ), com coloração  
27 amarelada, enquanto as demais amostras apresentaram valores mais baixos, porém ainda  
28 positivos, indicando colorações mais próximas ao azul. Ao comparar os níveis de  
29 enriquecimento e o enriquecimento com os diferentes pós, foram observadas diferenças  
30 significativas ( $P < 0,05$ ). Não foi observado comportamento característico entre os níveis,  
31 ora as amostras apresentaram reduções entre os níveis, ora apresentaram elevações.

Os resultados apresentados para  $a^*$  e  $b^*$  (Tabela 03) corroboram com a literatura científica. PIRES et al. (2020) estudaram a incorporação em iogurtes de corantes naturais obtidos a partir de flores comestíveis fontes de antocianinas - rosa, centáurea e dália. Os autores observaram valores positivos para  $a^*$ , indicando amostras tendendo ao vermelho após a fortificação com matrizes contendo antocianinas. SAHINGIL & HAYALOGU (2022) também observaram a elevação dos valores para o parâmetro  $a^*$  em iogurtes suplementados com polpa de rosa mosqueta. Entretanto, os autores observaram aumento do parâmetro  $b^*$  nas amostras suplementadas quando comparadas a amostra controle, indicando que as amostras ficaram mais amareladas. Já DU et al. (2021) observaram elevações nos valores de  $a^*$  e reduções nos valores de  $b^*$  ao estudarem os efeitos da adição de bagaço de amora nas propriedades de iogurte batido. Os resultados relatados pelos autores são condizentes com o presente estudo. Por fim, o enriquecimento do iogurte tipo Grego com os pós liofilizados da batata-doce de polpa roxa promoveu reduções significativas ( $P < 0,05$ ) dos parâmetros  $C^*$  e  $^{\circ}\text{hue}$ , calculados a partir das leituras de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . Tais variações traduzem as diferenças de saturação de cor e as diferentes tonalidades obtidas, conforme apresentado na Figura 04.

As inúmeras alternâncias observadas para a cor instrumental são decorrentes das propriedades inerentes às antocianinas presentes na batata-doce de polpa roxa. Esse pigmento é suscetível à variação de pH, que permite o fenômeno conhecido como interconversão de cores. Tal fenômeno permite que as antocianinas apresentem diversas colorações, em diferentes tonalidades e intensidades, de acordo com as características de pH do meio, que promovem alterações na conformação do íon flavílico, resultando em respostas visuais (cores) diferentes. Assim, as diferenças de cor entre as diferentes amostras avaliadas são justificadas, já que apresentam valores de pH diferentes entre si, decorrentes dos tratamentos com ácido ascórbico aplicados (AZZINI et al., 2017).

### 3.3. Sinérese

A sinérese é um dos principais defeitos tecnológicos em produtos lácteos, em especial, iogurtes. Por isso, é de fundamental importância para a indústria que sejam apresentadas alternativas para minimizar tal problemática (ANUYAHONG et al., 2020). A Tabela 4 traz os valores de sinérese para os iogurtes tipo Grego enriquecidos.



**Tabela 4** – Sinérese de iogurtes tipo Grego enriquecidos com pós liofilizados de batata-doce de polpa roxa de diferentes colorações durante o armazenamento sob refrigeração (4 °C)

Tratamento	Sinérese (%)			
	0 dias	10 dias	20 dias	30 dias
<b>Controle</b>	5,22 <sup>ABc</sup> ± 0,08	6,22 <sup>ABc</sup> ± 0,67	7,81 <sup>Ab</sup> ± 0,73	9,35 <sup>ABCa</sup> ± 0,56
<b>A0 2%</b>	4,11 <sup>CDb</sup> ± 0,14	4,52 <sup>BCa</sup> ± 0,28	4,78 <sup>BCa</sup> ± 0,22	4,95 <sup>Ea</sup> ± 0,54
<b>A0 4%</b>	1,19 <sup>Gd</sup> ± 0,08	1,42 <sup>Dbc</sup> ± 0,13	1,59 <sup>Db</sup> ± 0,07	1,88 <sup>Fa</sup> ± 0,10
<b>A1 2%</b>	3,40 <sup>DEb</sup> ± 0,35	5,76 <sup>ABa</sup> ± 0,79	6,68 <sup>Aa</sup> ± 0,83	7,04 <sup>Da</sup> ± 0,77
<b>A1 4%</b>	2,54 <sup>Fc</sup> ± 0,32	3,80 <sup>Cbc</sup> ± 0,66	4,57 <sup>Bb</sup> ± 0,61	7,54 <sup>CDA</sup> ± 0,26
<b>A2 2%</b>	5,96 <sup>Ab</sup> ± 0,27	7,33 <sup>ABa</sup> ± 1,06	7,78 <sup>Aa</sup> ± 0,78	9,05 <sup>ABCa</sup> ± 0,59
<b>A2 4%</b>	2,89 <sup>EFc</sup> ± 0,18	4,56 <sup>BCbc</sup> ± 0,23	6,16 <sup>ABCb</sup> ± 0,68	10,51 <sup>Aa</sup> ± 1,10
<b>A3 2%</b>	4,38 <sup>BCc</sup> ± 0,42	6,31 <sup>AB</sup> ± 0,50	7,12 <sup>Aab</sup> ± 0,77	8,04 <sup>BCDa</sup> ± 0,59
<b>A3 4%</b>	2,68 <sup>EFc</sup> ± 0,40	6,26 <sup>ABb</sup> ± 0,59	6,40 <sup>ABb</sup> ± 0,36	9,84 <sup>ABa</sup> ± 1,05

<sup>A-G</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ); <sup>a-c</sup> Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

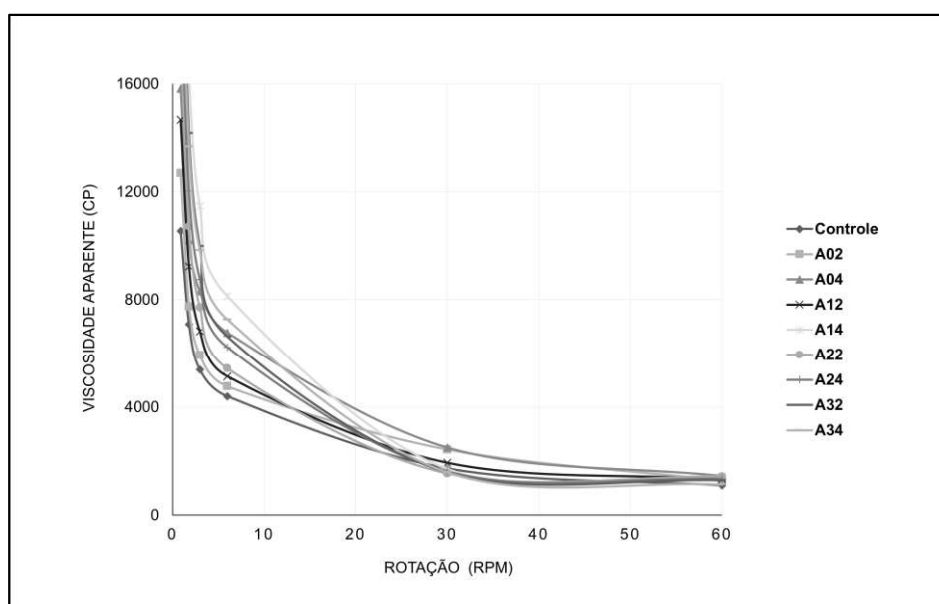
A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que a amostra controle apresenta elevada sinérese ao longo do armazenamento, atingindo valores superiores a 9%. Entretanto, o enriquecimento com os pós liofilizados A0, nos níveis de 2% e 4%, e A1, no nível de 2%, promoveu redução significativa ( $P < 0,05$ ) na sinérese do iogurte tipo Grego (Tabela 04), cabendo destacar que as amostras A0 2% e A0 4% apresentaram maior estabilidade ao longo dos 30 dias de armazenamento, exibindo variações de apenas 0,84% e 0,69%. Além disso, essas mesmas amostras (A02 e A04) apresentaram valores de sinérese consideravelmente inferiores, com valores entre 4,11% e 4,95% e 1,19% – 1,88%.

Outros autores também observaram melhorias nessa característica tecnológica a partir do enriquecimento de iogurtes com pós e farinhas. DU et al. (2021) observaram aumento da capacidade de retenção de água e, por consequência, redução da sinérese em iogurtes batidos adicionados de bagaço de amora. ANUYAHONG et al. (2020) também relataram redução da sinérese ao incorporar arroz com alto teor de antocianinas a iogurtes. A matriz utilizada pelos autores também é rica em amido, como a batata-doce de polpa roxa utilizada no presente estudo. DONG et al. (2022) estudaram o enriquecimento de iogurte com fibras alimentares oriundas de cenoura e relataram reduções na sinérese a níveis entre 10 e 20%. As reduções na sinérese observadas nesse estudo e relatadas pelos diversos autores na literatura são decorrentes do aumento do teor de sólidos totais pela adição dos pós liofilizados.

Ainda observando os resultados apresentados na Tabela 4, é possível inferir que as amostras enriquecidas com pós apresentaram sinérese de forma mais evidenciada quando comparada às amostras enriquecidas com A0 (pó sem ácido ascórbico adicionado), resultando em alterações na rede de caseína formada, afetando a capacidade de retenção de água (ANUYAHONG et al., 2020). A elevação do acidez titulável das amostras levou às mudanças na permeabilidade do coágulo, ocasionando danos ao gel formado e maior expulsão de soro, o que pode levar a uma futura rejeição do produto por parte do consumidor (RANI et al., 2012).

### 3.4. Viscosidade aparente

A Figura 04 mostra a curva de viscosidade aparente (em centiPoise) em relação à rotação em RPM. Todas as amostras apresentaram comportamento de um fluido pseudoplástico, uma vez que, ao aumentar a taxa de cisalhamento, as cadeias dispostas de forma aleatória passaram a se alinhar em direção ao fluxo, acarretando uma menor interação entre as cadeias poliméricas presentes (PÉREZ et al., 2021).



**Figura 04** – Viscosidade aparente de iogurtes tipo Grego enriquecidos com pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa

Ao observar a Figura 04 é possível constatar que o enriquecimento do iogurte tipo Grego com os pós promoveu um aumento da viscosidade aparente, de modo que as amostras apresentaram comportamento diferente da amostra controle. A adição de sólidos a iogurtes promove alterações desejáveis. GOMES et al. (2023) também observaram comportamento similar ao avaliar o efeito da adição de fibras solúveis em iogurtes com

1 alto teor de proteínas. Os autores descreveram um aumento da viscosidade aparente nas  
2 três amostras adicionadas de fibras, resultando em valores entre 10 e 15 mPa.s<sup>-1</sup>.  
3 SALGADO et al. (2021) apresentaram resultados semelhantes ao avaliar o  
4 enriquecimento de iogurte de leite de burra com fibras. A partir do estudo, os autores  
5 constataram altas elevações nas leituras da viscosidade aparente, partindo de valores de  
6 453,74 mPa.s<sup>-1</sup> para a amostra controle para valores de viscosidade de 726,87 mPa.s<sup>-1</sup>,  
7 824,89 mPa.s<sup>-1</sup> e 966,69 mPa.s<sup>-1</sup> para iogurtes enriquecidos com inulina, fibra de maçã e  
8 fibra de pêssogo, respectivamente. WU et al. (2023) observaram o aumento da  
9 viscosidade de iogurte após o enriquecimento com farelo de arroz. Ao comparar as curvas  
10 para A02 e A04, por exemplo, observa-se que houve um aumento da viscosidade  
11 proporcional ao nível de pó aplicado, uma vez que o enriquecimento a 4% promoveu  
12 viscosidade superior ao enriquecimento ao nível de 2%.

13 O comportamento das amostras de iogurte para a viscosidade aparente tem relação  
14 análoga às mudanças observadas na capacidade de retenção de água. As inúmeras  
15 propriedades tecnológicas do amido presente nos pós promoveram novas formas de  
16 ligação, afetando diretamente a viscosidade aparente, tais como capacidade emulsificante,  
17 capacidade ligante, potencial de ligações proteicas, entre outras (JIA et al., 2022).

### 18 **3.5. Perfil de Textura Instrumental**

19 Complementar aos resultados de viscosidade aparente obtidos (Figura 04), foram  
20 avaliados os parâmetros do perfil instrumental de textura. Para os parâmetros adesividade,  
21 elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade não houve diferenças  
22 significativas ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 05).

**Tabela 05** – Perfil de textura instrumental (firmeza, adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade) de iogurte tipo Grego enriquecidos com pós liofilizados de diferentes colorações oriundos de batata-doce de polpa roxa

Tratamento	Parâmetros de textura					
	Firmeza (g)	Adesividade (g.s)	Elasticidade (mm)	Coesividade	Gomosidade (g)	Mastigabilidade (g.s)
<b>Controle</b>	392,40 <sup>BCD</sup> ± 21,58	517,28 <sup>A</sup> ± 67,18	0,94 <sup>A</sup> ± 0,02	0,53 <sup>A</sup> ± 0,04	220,40 <sup>A</sup> ± 20,17	206,53 <sup>A</sup> ± 21,65
	448,48 <sup>ABC</sup> ± 16,11	538,71 <sup>A</sup> ± 70,39	0,94 <sup>A</sup> ± 0,02	0,55 <sup>A</sup> ± 0,03	233,74 <sup>A</sup> ± 12,37	219,48 <sup>A</sup> ± 13,68
<b>A0 2%</b>	533,97 <sup>A</sup> ± 2,32	594,79 <sup>A</sup> ± 69,85	0,92 <sup>A</sup> ± 0,02	0,46 <sup>A</sup> ± 0,15	234,68 <sup>A</sup> ± 73,64	217,25 <sup>A</sup> ± 70,64
	364,47 <sup>CD</sup> ± 25,19	552,10 <sup>A</sup> ± 50,34	0,94 <sup>A</sup> ± 0,01	0,54 <sup>A</sup> ± 0,05	207,39 <sup>A</sup> ± 22,55	195,03 <sup>A</sup> ± 21,98
<b>A1 2%</b>	477,69 <sup>ABC</sup> ± 69,20	546,65 <sup>A</sup> ± 57,28	0,92 <sup>A</sup> ± 0,01	0,48 <sup>A</sup> ± 0,04	218,89 <sup>A</sup> ± 27,85	201,08 <sup>A</sup> ± 25,19
	332,22 <sup>D</sup> ± 8,85	434,85 <sup>A</sup> ± 101,84	0,94 <sup>A</sup> ± 0,01	0,52 <sup>A</sup> ± 0,09	167,90 <sup>A</sup> ± 22,61	199,93 <sup>A</sup> ± 12,42
<b>A2 2%</b>	504,03 <sup>AB</sup> ± 54,45	588,46 <sup>A</sup> ± 72,71	0,94 <sup>A</sup> ± 0,01	0,49 <sup>A</sup> ± 0,05	242,37 <sup>A</sup> ± 28,56	227,50 <sup>A</sup> ± 27,84
	454,70 <sup>ABC</sup> ± 11,07	538,86 <sup>A</sup> ± 61,44	0,95 <sup>A</sup> ± 0,02	0,51 <sup>A</sup> ± 0,04	208,34 <sup>A</sup> ± 28,12	198,89 <sup>A</sup> ± 27,94
<b>A3 2%</b>	470,19 <sup>ABC</sup> ± 72,46	509,80 <sup>A</sup> ± 60,43	0,96 <sup>A</sup> ± 0,01	0,51 <sup>A</sup> ± 0,10	227,01 <sup>A</sup> ± 41,15	217,62 <sup>A</sup> ± 39,28

<sup>A-D</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ )

Quando comparadas à amostra controle, apenas a amostra A04 apresentou firmeza estatisticamente superior ( $P < 0,05$ ), que pode ser de interesse para iogurte tipo Grego, uma vez que se trata de um alimento com elevada consistência (JRAD et al., 2019).

Outros autores também observaram aumentos na firmeza de iogurtes ao realizar enriquecimento com diferentes matrizes poliméricas. MEENA et al. (2022) avaliaram o efeito da adição de pó de bagaço de abacaxi nas propriedades de textura de iogurte. WANG et al. (2019) avaliaram o impacto da suplementação de iogurte com bagaço de maçã liofilizado.

#### 4. CONCLUSÃO

Os pós liofilizados obtidos a partir da batata-doce de polpa roxa mostraram-se potenciais ingredientes alimentícios naturais. Tendo o iogurte tipo Grego como sistema-modelo de aplicação, os pós desenvolvidos promoveram a obtenção de amostras com colorações rosadas em diferentes tonalidades, indicando potencial aplicação dos pós como corante alimentício.

Entretanto, foram observadas limitações, uma vez que a sua utilização associada ao ácido ascórbico aumentou a pós-acidificação e sinérese no iogurte. Por outro lado, o

1 enriquecimento com A0, pó que não foi tratado com ácido ascórbico, promoveu melhorias  
2 nos parâmetros de identidade, qualidade e tecnológicos do iogurte tipo Grego, como  
3 redução da sinérese, estabilidade do pH e acidez ao longo do armazenamento e melhoria  
4 da firmeza dos iogurtes. Ainda assim, os demais pós podem ser atrativos em outros tipos  
5 de produtos, com características físicas e químicas diferentes do iogurte.

## 6 **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

7 Vale destacar que a matéria-prima utilizada nesse estudo é oriunda da Agricultura  
8 Familiar de Seropédica – Rio de Janeiro, município da Baixada Fluminense com enorme  
9 carência econômica. Assim, desenvolver ingredientes com alimentos dessa origem pode  
10 promover a geração de renda, desenvolvimento local, incentivar a economia circular e  
11 visibilidade para a Agricultura Familiar, grande responsável pela movimentação da  
12 Agricultura Brasileira, a nível nacional e internacional.

## 13 **6. AGRADECIMENTOS**

14 Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento  
15 Científico e Tecnológico –Brasil (CNPq) pelo apoio financeiro (processos n.  
16 472988/2014-0 e n. 443310/2016-5), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à  
17 Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro –Brasil (FAPERJ) pelo apoio financeiro (processo  
18 n. E-26/ 210.112/2021 –259048), Sacco Brasil® pela doação de cultura para produção de  
19 iogurte, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Brasil  
20 (PPGCTA –UFRRJ), Pró-Reitoria de Pós-Graduação –Brasil (PROPPG –UFRRJ), e  
21 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro –Brasil (UFRRJ). Este estudo foi  
22 parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível  
23 Superior –Brasil (CAPES) –Código de Financiamento 001.

## 24 **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 25 ANUYAHONG, T.; CHUSAK, C.; ADISAKWATTANA, S. Incorporation of  
26 anthocyanin-rich riceberry rice in yogurts: Effect on physicochemical properties,  
27 antioxidant activity and in vitro gastrointestinal digestion. **LWT**, v. 129, Article 109571,  
28 p. 1-10, 2020.
- 29 ASCHEMANN-WITZEL, J.; VARELA, P.; PESCHEL, A. O. Consumers'  
30 categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label'  
31 producers expect? An exploration with projective mapping. **Food Quality and**  
32 **Preference**, v. 71, n. January 2018, p. 117–128, 2019.
- 33 ASIOLI, D.; ASCHEMANN-WITZEL, J.; CAPUTO, V.; VECCHIO, R.;  
34 ANNUNZIATA, A.; NÆS, T.; VARELA, P. Making sense of the “clean label” trends: A

- review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, v. 99, p. 58–71, 2017.
- AYALA-ZAVALA, J. F.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J. A.; SIDDIQUI, M. W.; DÁVILA-AVIÑA, J. E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Agroindustrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1866–1874, 2011.
- AZZINI, E.; GIACOMETTI, J.; RUSSO, G. L. Antiobesity Effects of Anthocyanins in Preclinical and Clinical Studies. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, 2017, 2740364, p. 1-12, 2017.
- BABU, K. S.; LIU, D. Z.; AMAMCHARLA, J. K. Application of Micro-and Nano-Bubbles as a Tool to Improve the Rheological and Microstructural Properties of Formulated Greek-Style Yogurts. **Foods**, v. 11, n. 4, 2022.
- BARRETO, F. J. de F. P.; CLEMENTE, H. A.; SANTANA, A. L. B. D.; VASCONCELO, M. A. da S. Stability of encapsulated and non-encapsulated anthocyanin in yogurt produced with natural dye obtained from *Solanum melongena* L. bark. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 3, p. 1-13, 2020.
- CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M. de L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, v. 113, n. 4, p. 859–871, 2009.
- DONG, R.; LIAO, W.; XIE, J.; CHEN, Y.; PENG, G.; XIE, J.; SUN, N.; LIU, S.; YU, C.; YU, Q. Enrichment of yogurt with carrot soluble dietary fiber prepared by three physical modified treatments: Microstructure, rheology and storage stability. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 705, 102901, p. 1-10, 2022.
- DU, H.; YANG, H.; WANG, X.; ZHU, F.; TANG, D.; CHENG, J.; LIU, X. Effects of mulberry pomace on physicochemical and textural properties of stirred-type flavored yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 12, p. 12403–12414, 2021.
- DU, H.; YANG, H.; WANG, X.; ZHU, F.; TANG, D.; CHENG, J.; LIU, X. Effects of mulberry pomace on physicochemical and textural properties of stirred-type flavored yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 12, p. 12403–12414, 2021.
- FREIRE, G. A. S.; SILVA, L. da C.; SANTOS, M. S. A. dos; SANT'ANA A. M. da S.; ARAÚJO, I. B. da S.; MANGOLIM, C. S. Teor de antocianinas, cor, textura, características físico-químicas e microbiológicas de leite fermentado adicionado de extrato rico em antocianinas obtido a partir de uvas tintas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56192-56205, 2020.
- GHASEMPOUR, Z.; JAVANMARD, N.; LANGROODI, A. M.; ALIZADEH-SANI, M.; EHSANI, A.; KIA, E. M. Development of probiotic yogurt containing red beet extract and basil seed gum; techno-functional, microbial and sensorial characterization. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 29, Article 101785, p. 1-7, 2020.
- GOMES, E. R.; PINTO, C. B. dos A.; STEPHANI, R.; CARVALHO, A. F. de, PERRONE, I. T. Effect of adding different types of soluble fibre to high-protein yoghurts on water holding capacity, particle size distribution, apparent viscosity, and microstructure. **International Dairy Journal**, v. 141, 105609, p. 1-9, 2023.

1 GORDILLO, B.; SIGURDSON, G. T.; LAO, F.; GONZÁLEZ-MIRET, M. L.;  
2 HEREDIA, F. J.; GIUSTI, M. M. Assessment of the color modulation and stability of  
3 naturally copigmented anthocyanin-grape colorants with different levels of purification.  
4 **Food Research International**, v. 106, n. November 2017, p. 791–799, 2018.

5 GRANATO, D.; NUNES, D. S.; BARBA, F. J. An integrated strategy between food  
6 chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of  
7 functional foods: A proposal. **Trends in Food Science and Technology**, v. 62, n.  
8 December 2016, p. 13–22, 2017.

9 IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). **Métodos Físico-Químicos para Análise**  
10 **de Alimentos**. 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em:  
11 <[http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016\\_3\\_19/analisedealimentosial\\_](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf)  
12 [2008.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf)>.

13 JIA, S.; ZHAO, H.; TAO, H.; YU, B.; LIU, P.; CUI, B. Influence of corn resistant starches  
14 type III on the rheology, structure, and viable counts of set yogurt. **International Journal**  
15 **of Biological Macromolecules**, v. 203, n. 3501, p. 10–18, 2022.

16 JØRGENSEN, C. E.; ABRAHAMSEN, R. K.; RUKKE, E. O.; HOFFMANN, T. K.;  
17 JOHANSEN, A. G.; SKEIE, S. B. Processing of high-protein yoghurt – A review.  
18 **International Dairy Journal**, v. 88, p. 42–59, 2019.

19 JRAD, Z.; OUSSAIEF, O.; BOUHEMDA, T.; KHORCHANI, T.; EL-HATMI, H.  
20 Potential effects of ultrafiltration process and date powder on textural, sensory, bacterial  
21 viability, antioxidant properties and phenolic profile of dromedary Greek yogurt.  
22 **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 3, p. 854–861, 2019.

23 LI, S.; YE, A.; SINGH, H. Effects of seasonal variations on the quality of set yogurt,  
24 stirred yogurt, and Greek-style yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 2, p. 1424–  
25 1432, 2021.

26 LU, Y. et al. A novel non-dairy beverage from durian pulp fermented with selected  
27 probiotics and yeast. **International Journal of Food Microbiology**, v.265 p.1-8, 2018.

28 MANTZOURANI, C.; BATSIKA, C. S.; KOKOTOU, M. G.; KOKOTOS, G. Free fatty  
29 acid profiling of Greek yogurt by liquid chromatography-high resolution mass  
30 spectrometry (LC-HRMS) analysis. **Food Research International**, v. 160, n. July, p.  
31 111751, 2022.

32 MEENA, L.; NEOG, R.; YASHINI, M.; SUNIL, C. K. Pineapple pomace powder  
33 (freeze-dried): Effect on the texture and rheological properties of set-type yogurt. **Food**  
34 **Chemistry Advances**, v. 1, 100101, p. 1-7, 2022.

35 OSORIO-ARIAS, J.; PÉREZ-MARTÍNEZ, A.; VEGA-CASTRO, O.; MARTÍNEZ-  
36 MONTEAGUDO, S. I. Rheological, texture, structural, and functional properties of  
37 Greek-style yogurt fortified with cheese whey-spent coffee ground powder. **LWT**, v. 129,  
38 n. February, p. 109523, 2020.

39 PÉREZ, J.; ARTEAGA, M.; ANDRADE, R.; DURANGO, A.; SALCEDO, J. Effect of  
40 yam (*Dioscorea* spp.) starch on the physicochemical, rheological, and sensory properties  
41 of yogurt. **Heliyon**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2021.

- PIRES, T. C. S. P.; DIAS, M. I.; BARROS, L.; BARREIRA, J. C. M.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R. Incorporation of natural colorants obtained from edible flowers in yogurts. **LWT**, v. 97, p. 668-675, 2018.
- PUERARI, C.; MAGALHÃES, K. T.; SCHAWN, R. F. 2015. Physicochemical and microbiological characterization of chicha, a rice-based fermented beverage produced by Umutina Brazilian Amerindians. **Food Microbiology**, v.46, p.210-217, 2015.
- BANGAR, S. P.; WHITESIDE, W. S.; SINGH, A.; ÖZOGUL, F.; GUPTA, A.; GAHLAWAT, S. K. Properties, preparation methods, and application of sour starches in the food. **Trends in Food Science and Technology**, v. 121, n. December 2021, p. 44–58, 2022.
- RANI, R.; UNNIKRISHNAN, V.; DHARAIYA, C. N.; SINGH, B. Factors affecting syneresis in yoghurt: A Review. **Indian Journal of Dairy and Bioscience**, v. 23, p. 1-9, 2012.
- SAHINGIL, D.; HAYALOGLU, A. A. Enrichment of antioxidant activity, phenolic compounds, volatile composition and sensory properties of yogurt with rosehip (*Rosa canina* L.) fortification. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, 100514, p. 1-13, 2022.
- SALGADO, M. J. G.; RAMOS, M. S.; ASSIS, D. J. OTERO, D. M.; OLIVEIRA, R. L.; RIBEIRO, C. V. D. M.; COSTA, M. P.; OLIVEIRA, C. A. A. impact of fiber-rich donkey milk yogurt on apparent viscosity and sensory acceptance. **LWT**, v. 145, 111494, p. 1-5, 2021.
- SANTOS, R. A. dos; RODRIGUES, R. de L.; LIMA, M. B. D. de; NASCIMENTO, E. B. do; CARVALHO, A. M. B. de; GADELHA, C. A. de A.; GADELHA, T. S. Influence of aqueous yam extract and goat milk casein powder on the characteristics of goat Greek-style yogurt. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 27, n. December 2021, p. 100465, 2022.
- SIGURDSON, G. T.; TANG, P.; GIUSTI, M. M. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, n. December 2016, p. 261–280, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025923>



## 7. CAPÍTULO III

### Application of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder as a multifunctional ingredient in Greek yogurt

#### ABSTRACT

Purple-fleshed sweet potato is a root rich in anthocyanins, which are phenolic pigments that confer color and present bioactive capacity. Moreover, its incorporation into dairy products can bring technological and functional benefits. Thus, this evaluated the impact of the addition of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder - LP (0% - Control, 2%, and 4%) on the physical, chemical, and technological characteristics of Greek yogurt. LP showed *in vitro* antioxidant and bioactive capacity by DPPH ( $20.64 \pm 1.61 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ), FRAP ( $112.93 \pm 4.38 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ), total phenolic content ( $103.66 \pm 3.35 \text{ mg GAE g}^{-1}$ ), and total anthocyanin content ( $51.10 \pm 1.87 \text{ mg cyanidin 3-glucoside } 100 \text{ g}^{-1}$ ). Additionally, the assays demonstrated that the LP has  $16.82 \pm 0.63\%$  of resistant starch. The fortification of Greek yogurt with LP reduced the syneresis, indicating that LP increased the water retention capacity. LP also increased apparent viscosity, hardness, and gumminess, in addition to promoting a stable pink coloration throughout the storage ( $P < 0.05$ ). At the 4% level, the yogurt was firmer, desirable for Greek yogurt. Therefore, the results suggested that lyophilized purple-fleshed sweet potato powder is a potential multifunctional natural ingredient.

**Keywords:** anthocyanins; clean label; Beni imo; natural food coloring; natural food ingredient.

## **Aplicação de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa como ingrediente multifuncional em iogurte tipo Grego**

### **RESUMO**

Batata-doce de polpa roxa é uma raiz rica em antocianinas, as quais são pigmentos fenólicos que conferem cor e apresentam capacidade bioativa. Além disso, sua incorporação em produtos lácteos pode trazer benefícios tecnológicos e funcionais. Desta forma, este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da adição de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa – PL (0% - Controle, 2% e 4%) nas características físicas, químicas e tecnológicas de iogurte tipo Grego. PL apresentou capacidade antioxidante e bioativa *in vitro* para DPPH ( $20.64 \pm 1.61 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ), FRAP ( $112.93 \pm 4.38 \mu\text{mol TE g}^{-1}$ ), teor de compostos fenólicos totais ( $103.66 \pm 3.35 \text{ mg GAE g}^{-1}$ ) e teor de antocianinas totais ( $51.10 \pm 1.87 \text{ mg cianidina 3-glucosídeo } 100 \text{ g}^{-1}$ ). Adicionalmente, os ensaios demonstraram que o PL possui  $16,82 \pm 0,63\%$  de amido resistente. A fortificação do iogurte Grego com PL reduziu a sinérese, indicando que PL aumentou a capacidade de retenção de água, PL também aumentou a viscosidade aparente, a dureza e a gomosidade, e promoveu uma coloração rosa estável durante todo o armazenamento ( $P < 0,05$ ). No nível de 4%, o iogurte apresentou-se mais firme, o que pode ser desejável para o iogurte tipo Grego. Assim, os resultados sugerem que o pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa é um potencial ingrediente natural multifuncional.

**Palavras-chave:** antocianinas; clean label; Beni imo; corante alimentício natural; ingrediente alimentício natural.

## 1. INTRODUCTION

Eating habits have changed considerably in recent years. There is a growing demand for products with a closer approach to healthiness, due to increased awareness about food health, which directly interfere with purchase and consumption intentions (HSU et al., 2023). The food choice is often conditioned to less processed foods and ingredients that do not cause harm to human health at short, medium, and long term (ASCHEMANN-WITZEL, 2015). The clean label movement is one of the trends that has promoted the modification of the composition of processed foods, stimulating the use of ingredients that can be easily identified by consumers by considering the reduction and/or elimination of non-natural ingredients and/or non-renewable sources (ASIOLI et al., 2017; ASCHEMANN-WITZEL et al., 2019).

Studies on the research and development of multifunctional and natural ingredients have been performed presenting a promising strategy to support the supply of products that meet consumers' demands (GRANATO et al., 2017). Vegetable matrices have been the object of study for obtaining such ingredients, since they are obtained in a renewable way (KIM et al., 2020). For a vegetable to be considered a viable source of natural additives, it should satisfy some criteria, such as: good availability, low price, and high yield (STINTZING & CARLE, 2004). These criteria make possible to explore several sources other than conventional ones for obtaining natural ingredients, such as purple-fleshed sweet potato (PFSP).

PFSP growth is easily managed and can be cultivated in regions with different climatic conditions and low fertility soils (TANAKA et al., 2017). Because of its high amounts of anthocyanins and phenolic compounds, this root has been gaining space among consumers. The bioactive compounds present in PFSP are associated with reduced risks and incidence of degenerative diseases (LIM et al., 2013). Anthocyanins from PFSP are more stable to heat and UV-light irradiation (TSUKUI et al., 1999). In addition, it is a root rich in starch - total and resistant (JI et al., 2015).

Regarding its functionalities, PFSP is a promising alternative for the development of functional ingredients, capable of conferring desirable bioactive, physical, and chemical characteristics such as color enhancement, antioxidant capacity improvement, increase in water retention capacity, and reduction in the glycemic response (ZHU & SUN, 2019; SUDJATINAH et al., 2020). It can be used in varied products, such a Greek

yogurt, which is a dairy product obtained from the concentration of yogurt by drainage. Greek yogurt has high viscosity, high total solids content, and contains lactic acid bacteria (LAB) (JRAD et al., 2019; DU et al., 2021).

Although, the application of purple-fleshed sweet potato as an ingredient is already a reality in bakery products, desserts, and snacks in the Asian market, the use of sweet potato powder in dairy products is innovative. Thus, this study evaluated the effects of supplementation of lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) on the physical, chemical, and technological characteristics of Greek yogurt. The assays were carried out in the Instrumental Laboratory of the Postgraduate Program in Food Science and Technology at the Federal Rural University of Rio de Janeiro (Seropédica, Rio de Janeiro – Brazil).

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. *Material*

Purple-fleshed sweet potato (PFSP) was obtained from a family production unit, located in Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil (22° 47' 03.6" South latitude and 43° 39' 40.1" West longitude). The variety used is called "Beni imo" Sweet Potato and has purple fleshed and white skin. UHT whole milk – 3% of fat (Quatá®, São Paulo, Brazil), creamy milk cream – 20% of fat (Qualitá®, São Paulo, Brazil), and skimmed milk powder (Molico – Nestlé®, São Paulo, Brazil) were obtained from a local market (Rio de Janeiro, Brazil). Lyofast Y 438 A, a lyophilized culture of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus*, was supplied by Sacco Brasil® (São Paulo, Brazil).

### 2.2. *Heat treatment of PFSP and obtaining lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP)*

PFSP was manually harvested, selected, washed, and sanitized by immersion in a sodium hypochlorite solution (200 ppm for 15 minutes). Then, it was peeled and chopped into pieces of 5 cm<sup>2</sup>.

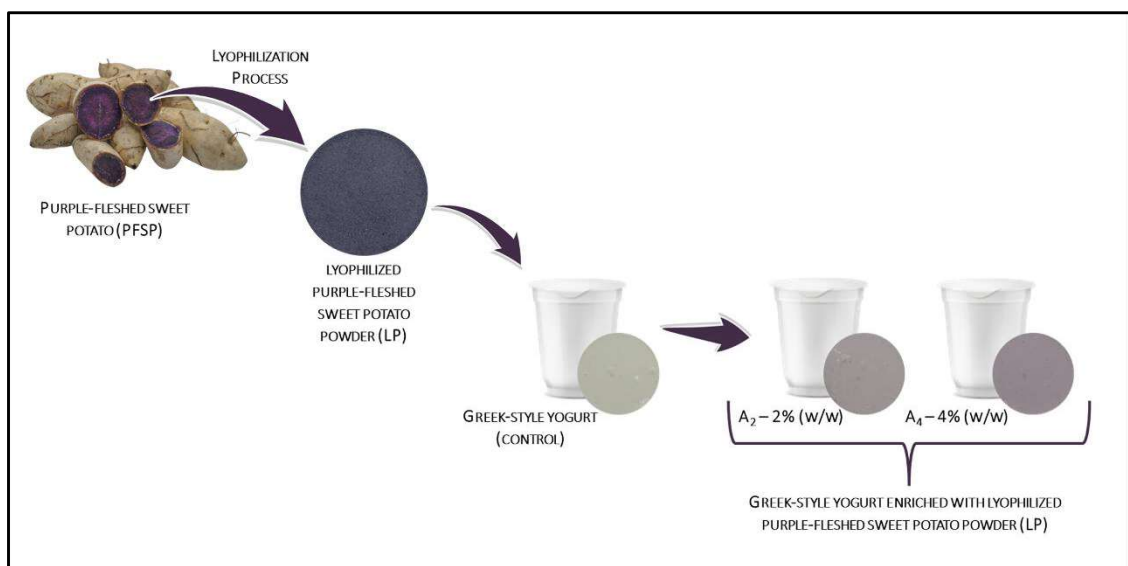
PFSP was heat-treated by immersion in water at 80 °C for 10 minutes (ratio 1:3 w/w). After the heat treatment, the potatoes and the cooking water were processed in an

industrial blender for 10 minutes. The puree obtained was placed in airtight plastic packaging and frozen at -18 °C in a conventional freezer for 7 days. Subsequently, the puree was lyophilized in a benchtop lyophilizer (Liotop®, model L101) for an average period of 5 days, crushed in an industrial blender, and selected in a 710 µm granulometric analysis sieve. This process resulted in the lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP), which was stored in airtight containers under refrigeration (4 °C).

### 2.3. Production and enrichment of Greek yogurt with LP

Greek yogurt was produced in batch, following the procedures described by SANTOS et al. (2022) with adaptations. UHT whole milk was supplemented with skimmed milk powder in a proportion of 2% (w/w). The mixture was heated until 43 °C in a water bath and lyophilized culture of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp *bulgaricus* were added (0.07 g/L of milk), following the manufacturer's recommendation. Then, it was incubated in a water bath at 43 °C until reaching a pH value between 4.5 and 4.6.

After coagulation, the curd obtained was transferred to sterilized cotton bags for drainage, which was carried out under refrigeration at 4°C for 18 h. The whey was discarded, and the concentrated yogurt was supplemented with milk cream at a ratio of 10% (w/w). Then, the obtained yogurt was divided into three equal parts. Two parts were enriched with LP using two proportions [2% w/w (A<sub>2</sub>) and 4% w/w (A<sub>4</sub>)]. Thus, three different samples were obtained: Control (without addition of LP), A<sub>2</sub>, and A<sub>4</sub>. The samples were fractionated in airtight plastic packages containing 30 g of yogurt each and stored under refrigeration (4 ± 1 °C). Figure 1 shows a general flowchart of the enrichment of Greek yogurt using lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP).



**Figure 1** - General flowchart of the enrichment of Greek yogurt using lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP).

#### 2.4. Chemical composition

The procedures described by IAL (2008), with minor adaptations, were performed to determine the chemical composition of PFSP and LP.

Moisture was determined by the gravimetric method of desiccation with direct drying in a non-ventilated oven at 105 °C until constant weight – Protocol n° 012/IV (IAL, 2008).

The total carbohydrates level was determined by the Somogyi-Nelson method, which is based on the reduction of copper by sugar reducing groups. A standard curve was used with anhydrous glucose concentrations ranging from 25 to 500 mg L<sup>-1</sup> – Protocol n° 281/IV (IAL, 2008).

Total dietary fiber was determined by the enzymatic-gravimetric method, from the defatted samples – Protocol n° 045/IV (IAL, 2008).

Protein level was obtained by determining the total nitrogen content by the modified Kjeldahl method. The procedure was performed in 3 stages: digestion, distillation, and titration – Protocol n° 037/IV (IAL, 2008).

Determination of lipids was carried out by extraction in Soxhlet using petroleum ether as hot solvent for an average period of 6 hours of continuous extraction – Protocol n° 032/IV (IAL, 2008). The ash level was quantified by the gravimetric method of

incineration in muffle furnace at 550 °C until constant weight – Protocol n° 018/IV (IAL, 2008).

Total starch (TS) content was determined by acid hydrolysis assisted with high temperatures in autoclave at 121 °C/1 atm – Protocol n° 043/IV (IAL, 2008).

### 2.5. *In vitro* digestibility of starch

*In vitro* digestibility of starch of PFSP and LP was evaluated using the methods described by MA et al. (2021) and GONG et al. (2022), with slight modifications. PFSP was dried in a forced circulation oven at 40 °C. The sample (200 mg) was mixed with 15 mL of preheated phosphate buffer (37 °C; pH 5,60 – 5,80) and shaken at 37 °C for 5 minutes, followed by the addition of 5 mL of enzymatic solution containing pancreatic  $\alpha$ -amylase (290 U/mL) and amyloglucosidase (15 U/mL). The mixture (sample + enzymatic solution) was incubated at 37 °C under shaking conditions (100 rpm) for 3 h. At predetermined time points, 1.00 mL of hydrolysate was withdrawn, and the reaction was stopped by using an ice bath. The glucose content was determined using the Somogyi-Nelson method – Protocol n° 281/IV (IAL, 2008), and the starch content was calculated by multiplying the glucose level by a factor of 0.90. The content of starch was classified in three types: rapidly digested starch – RDS (starch digested after 20 minutes), slowly digested starch – SDS (starch digested between 20 and 120 minutes), and resistant starch – RS (undigested after 120 minutes). The contents of RDS, SDS, and RS were determined based on Equations 01, 02, and 03:

$$\text{RDS(\%)} = \left( \frac{S_{20} - S_0}{\text{TS}} \right) \times 100 \quad (\text{Equation 01})$$

$$\text{SDS (\%)} = \left( \frac{S_{120} - S_{20}}{\text{TS}} \right) \times 100 \quad (\text{Equation 02})$$

$$\text{RS (\%)} = \left( \frac{\text{TS} - \text{RDS} - \text{SDS}}{\text{TS}} \right) \times 100 \quad (\text{Equation 03})$$

### 2.6. Total anthocyanin content (TAC)

TAC of LP and yogurt samples was determined using the procedure reported by DU et al. (2021), with modifications. The extracts were prepared with 1.5 g of samples and 30 mL of an acidified ethanolic aqueous solution (60% v/v) in an ultrasound bath for 2 h. The samples were centrifuged at  $3,570 \times g$  for 20 minutes at 4°C. The supernatants

were filtered, and the TAC was determined using the pH differential method (pH 1.00 and pH 4.50) described by LEE et al. (2005).

An aliquot of 2.00 mL of the extract was added to 3.00 mL of a potassium chloride buffer solution (0.025 M/pH 1.00) and 3.00 mL of a sodium acetate buffer solution (0.4 M/pH 4.00). The mixture was homogenized and allowed to rest for 15 minutes. Then, absorbances were measured at 530 and 700 nm using a scanning spectrophotometer (Model WUV – M51, WEBLABORSP, Mogi das Cruzes, São Paulo, Brazil). The TAC was quantified according to Equations 04 and 05 and was expressed as mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup>.

$$A = [(A_{520 \text{ nm/pH } 1.00} - A_{700 \text{ nm/pH } 1.00}) - (A_{520 \text{ nm/pH } 4.50} - A_{700 \text{ nm/pH } 4.50})] \quad (\text{Equation 04})$$

$$\text{TAC} = \left( \frac{A}{\epsilon \times L} \right) \times \text{MM} \times 100 \times f_d \quad (\text{Equation 05})$$

In which: A is the absorbance corrected by the difference between the absorbances recorded in the readings at pH 1.00 and pH 4.50;  $\epsilon$  is the molar extinction coefficient of anthocyanin; L is the length of the optical path (1 cm); MM is the molecular mass of anthocyanin;  $f_d$  is the dilution factor of the sample; TAC is the total anthocyanin content.

## 2.7. Antioxidant capacity (DPPH radical-scavenging assay and Ferric reducing antioxidant capacity – FRAP assay) and total phenolic content

The bioactive properties were determined using extracts prepared with an extracting solution of methanol 70%. For the PFSP extract, 2.0 g of sample were extracted with 20 mL of the methanolic solution, while 0.2 g of LP were used for the extract preparation.

DPPH radical-scavenging assay was based on the methodology described by RUFINO et al. (2010), with minor modifications. An aliquot of 150  $\mu\text{L}$  of extract was added to 2.85 mL of a DPPH solution and allowed to react for 1 h. Then, the absorbance was read at 517 nm with a spectrophotometer. Trolox was used to construct a standard curve (from 5 to 70  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) and the DPPH value was expressed as  $\mu\text{mol}$  trolox equivalents per gram of sample ( $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ ).

Antioxidant capacity determined by the ferric reducing antioxidant capacity – FRAP assay was based on the methodology reported by THAIPONG et al. (2006), where



Trolox was also used as reference. The extract (90 mL) was added to 270 mL of distilled water and 2.7 mL of FRAP reagent [25 mL of 0.3 M acetate buffer; 2.5 mL of a 10 mM solution of TPTZ (2, 4, 6-tri(2-pyridyl)-1,3,5-triazine), and 2.5 mL of a 20 mM aqueous solution of ferric chloride]. The mixture was incubated at 37 °C under shaking for 30 minutes and cooled. The absorbance was read at 595 nm with a spectrophotometer and the FRAP value was expressed as  $\mu\text{mol trolox equivalents per gram of sample } (\mu\text{mol TE g}^{-1})$ .

Total phenolic content was determined according to RUFINO et al. (2010), with minor modifications. An aliquot of 1 mL of the extract was added to 1 mL of the Folin-Ciocalteu aqueous solution (1:10), 1 mL of methanol 70%, and 1 mL of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  aqueous solution (10% w/v). The mixture was allowed to rest for 2 h in dark. The absorbance was read at 725 nm with a spectrophotometer. Gallic acid was used as reference to construct a standard curve (from 5 to 40  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) and the total phenolic content was expressed as mg gallic acid equivalents per gram of sample (mg GAE  $\text{g}^{-1}$ ).

## 2.8. pH, titratable acidity, and color

Yogurt samples were analyzed at days 0, 10, 20 and 30. The pH value was measured using a digital potentiometer (Ohaus Starter 2100, Canada). The titratable acidity was determined with the aid of a digital potentiometer (Starter 2100, Ohaus, Barueri, Brazil) to assist in determining the turning point of the indicator, using a 0.1 M sodium hydroxide solution as titrant and a phenolphthalein ethanolic solution as an indicator, following the procedure indicated by IAL (2008). Yogurt samples were packed in glass plates and color was measured using a colorimeter Spectrophotometer CM – 5 (Konica Minolta®, Osaka, Japan). The parameters CIELab  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  were determined, where  $L^*$  value ranges from 0 (black) to 100 (white), coordinate  $a^*$  represents red (positive) to green (negative), and  $b^*$  represents yellow (positive) to blue (negative). The total color difference ( $\Delta E$ ) was calculated using the values of  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ , according to Equation 06.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Equation 06})$$

## 2.9. Syneresis

Syneresis was measured using the procedure described by KIM et al. (2020), with modifications. The assay was performed with 3 simultaneous replications in single units

of each sample. A system was assembled containing a plastic funnel with Whatman filter number 1 coupled to an Erlenmeyer flask. Yogurt samples (20 g) were placed in the funnel and the entire system was kept under refrigeration (4 °C) for 30 days. To minimize and avoid exchanges with the environment, the system was protected with a thermoplastic film (Parafilm®). Expelled water was collected in an Erlenmeyer flask and weighed at 0, 10, 20, and 30 days of storage. The syneresis index was determined from Equation 07.

$$\text{Syneresis (\%)} = \left( \frac{\text{expelled water}}{\text{sample weight}} \right) \times 100 \quad (\text{Equation 07})$$

#### 2.10. *Apparent viscosity and texture analysis*

Apparent viscosity analysis of samples was carried out after a rest of 24 hours under refrigeration (4 °C) in a rotational concentric cylinder viscometer (model 35 A, Fann Instrument Company, Houston, EUA). To minimize interferences, the yogurt samples were transferred to metal cylinders and allowed to rest under refrigeration temperature (4 °C) for 30 minutes. The readings were performed in an air-conditioned environment and the samples were evaluated under the rotation velocities of 0.9, 1.8, 3, 6, 30, and 60 rpm. The experimental data obtained were shear rate and shear stress and the results were expressed by apparent viscosity in relation to the rotational speed.

The texture analysis of Greek yogurt was carried out in a TA – XT2 texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK). After packing, the samples were allowed to rest under refrigeration (4 °C) for 24 hours. The assay was performed with 3 simultaneous replications in single units of each sample. Each reading was conducted using approximately 30 g of yogurt, previously stored in airtight plastic packages. A cylindrical probe with 35 mm of diameter equipped with and a 5-kg load cell was used for Texture Profile Analyses. The analysis conditions were as follows. Pretest speed: 1.7 mm/s; test speed: 1.7 mm/s; posttest speed: 1.0 mm/s; 2 penetration cycles; distance traveled by the device in the sample: 5 mm; contact force: 100 g; contact time: 5 s. The parameters obtained were hardness, cohesiveness, adhesiveness, springiness, gumminess, and chewiness.

#### 2.11. *Statistical analysis*

All experiments were performed in triplicate. Results were expressed as mean ± standard deviation. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA), the means

were compared by the Tukey's test, and 5% significance level was considered ( $P < 0.05$ ). The statistical analysis was performed using Statistic 10.0 (Stats oft®, Tulsa, USA).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Chemical composition

Table 1 presents the macronutrient contents on a dry basis.

**Table 1** – Chemical composition (moisture, total carbohydrates, total starch, dietary fiber, protein, lipid, and ash) of purple-fleshed sweet potato (PFSP) and lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP)

Sample	Results in dry base (%), except moisture					
	<i>Moisture</i>	<i>Total carbohydrates and total starch</i>	<i>Dietary fiber</i>	<i>Protein</i>	<i>Lipid</i>	<i>Ash</i>
<b>PFSP</b>	66.69 <sup>A</sup> ± 0.47	78.43 <sup>A</sup> ± 3.86, of which: 53.14 <sup>a</sup> ± 1.57	16.97 <sup>A</sup> ± 0.30	2.07 <sup>B</sup> ± 0.10	0.84 <sup>A</sup> ± 0.04	1.69 <sup>B</sup> ± 0.04
<b>LP</b>	2.37 <sup>B</sup> ± 0.12	78.58 <sup>A</sup> ± 4.36, of which: 53.27 <sup>a</sup> ± 4.36	11.48 <sup>B</sup> ± 0.58	3.97 <sup>A</sup> ± 0.15	0.68 <sup>B</sup> ± 0.04	2.92 <sup>A</sup> ± 0.20

<sup>A-B</sup> Different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

The contents determined for PFSP corroborate the findings of the scientific literature. JI et al. (2015) evaluated the chemical composition of different types of sweet potatoes and reported contents of 0.72% for lipids and 2.06% for ash in a variety of purple-fleshed sweet potatoes. However, protein content reported by the authors was approximately three times higher (6.41% versus 2.07%), while LP presented a dietary fiber content approximately 8 times higher than the one obtained in this study (16.97% versus 2.35%). Samples of purple-fleshed sweet potato evaluated by LIM et al. (2013) presented contents similar to the ones quantified in this study: 1.5% for proteins, 0.20% for lipids, 15.8% for total dietary fiber, and 1.3% for ash.

Regarding the chemical composition of LP, the values found here are also in agreement with the scientific literature. According to ALBUQUERQUE et al. (2020), flours obtained from four sweet potato varieties showed contents ranging from 2.1% to 2.3% for ash and from 1.8% to 3.6% for proteins, which were close to the levels reported in the present study. FITRI et al. (2023) and NGOMA et al. (2019) reported lipid contents of 0.76% and 0.69% for purple-fleshed sweet potato flours respectively, results close to that found for LP (0.68%). ISLAM et al. (2020) also studied purple-fleshed sweet potato

flour and determined a total dietary fiber content of 9.97%, similar to LP. Varied macronutrient contents observed in plants may be attributed to intrinsic, extrinsic, and environmental factors, such as genetic conditions and improvement, genotype/cultivar/variety, soil type, forms of cultivation, water availability, and management during and after harvest (FRACASSO et al., 2016).

Significant differences ( $P < 0.05$ ) were observed by comparing the macronutrient contents of PFSP and LP, except for total carbohydrates, indicating that the processing applied had a direct impact on chemical composition of LP. Moreover, there was a reduction in the content of dietary fibers and lipids, while the levels of ash and proteins increased. It is known that freeze-drying is a unitary operation of great importance in food preservation. One of its main characteristics is the preservation of physical, chemical, nutritional, and bioactive characteristics of food (PANDITH et al., 2023). Thus, it indicated that such changes were due to the heat treatment applied prior to freeze-drying (80 °C for 10 minutes). Other authors have also reported variations in the chemical composition of sweet potatoes after heat processing. OGLIARI et al. (2020) observed changes in the macronutrient contents of sweet potatoes after boiling, which was also described by CHEONG et al. (2022).

Despite changes in macronutrient contents (Table 1), it is possible to observe both PFSP and LP showed levels higher than 10.00% for fibers and low lipid contents (less than 1.00%), in addition to considerable ash levels. Sweet potatoes are subsistence foods with remarkable nutritional quality, being a source of fiber (ZHU & SUN, 2019). Therefore, the fortification of foods using PFSP or LP, can be beneficial for the nutritional improvement of products.

### *3.2. In vitro digestibility of starch*

PFSP and LP presented total starch (TS) and rapidly digested starch (RDS) values close to 53% and 75%, respectively (Table 2), with no significant differences ( $P < 0.05$ ) between samples. However, significant variations were observed for the contents of slowly digested starch (SDS) and resistant starch (RS) (Table 2). Regarding the SDS, PFSP presented 21.54% (13.80% higher than LP), while PFSP presented 2.77% (14.02% lower than PFSP) for RS. KATAYAMA et al. (2011) evaluated the resistant starch content of 21 sweet potato cultivars and found results ranging from 1.8% to 9.5%, which are the same range of the value determined herein for PFSP. ZHENG et al. (2016) reported a RS level within this same range, but higher than PFSP (5.02%). Conversely,

SUN et al. (2022) observed a RS content equal to 1.44% (lower than PFSP). As previously stated, the composition of vegetables may vary due to intrinsic and extrinsic factors (FRACASSO et al., 2016).

**Table 2** – Values of total starch (TS), rapidly digested starch (RDS), slowly digested starch (SDS), and resistant starch (RS) of purple-fleshed sweet potato (PFSP) and lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) after simulation of *in vitro* digestibility in 0 days of storage

Sample	Results in dry base (%), except moisture			
	TS	RDS*	SDS*	RS*
<b>PFSP</b>	53.14 <sup>A</sup> ± 1.57	75.35 <sup>A</sup> ± 0.82	21.54 <sup>A</sup> ± 0.91	2.77 <sup>B</sup> ± 0.12
<b>LP</b>	53.27 <sup>A</sup> ± 4.36	75.44 <sup>A</sup> ± 1.25	7.74 <sup>B</sup> ± 0.67	16.82 <sup>A</sup> ± 0.63

<sup>A-B</sup> Different letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ );  
\*Values in relation to total content of starch (TS) in dry base (%).

The equivalence of the differences observed between SDS and RS indicates that the starch hydrolysis in PFSP was anticipated, reducing the RS content *after the in vitro* digestive process. This finding suggested that the heat treatment applied to obtain LP promoted improvements in the content of RS. According to HAGENIMANA et al. (1992), thermal processes can denature amylases naturally present in sweet potato roots, which reduces starch hydrolysis, besides promoting a debranching of the  $\alpha$ -(1,6) bond of amylopectin that is converted into small-chain linear polysaccharides. ZHENG et al. (2016) evaluated the impact of heat treatment combined with moisture on the improvement of the prebiotic characteristics of purple-fleshed sweet potatoes and observed that the value of resistant starch almost tripled, increasing from 5.02% to 14.23%.

Although, carbohydrates are the main components of LP, it is worth noting that part of this macronutrient is in the form of resistant starch, presenting a glycemic response inferior to other known carbohydrate sources (ZHU & SUN, 2019). The RS starch content of 16.82% for LP is highly advantageous as it allows its incorporation into food as a functional ingredient. It may be due to both the resistant starch content and the potential as a fiber source, since a considerable part of the carbohydrates present in this matrix reaches the large intestine without being hydrolyzed, where it is fermented by colonic bacteria and can have prebiotic effects (GIBSON et al., 2017). ZHU & SUN (2019) studied the supplementation of bread with sweet potato flour of purple-fleshed and

observed that the addition of different levels promoted a reduction of starch quickly and slowly digested, as well as an increase in resistant starch content. In addition, the authors noticed that the higher the supplementation with sweet potato flour, the lower the glycemic response, indicating that the starch present had greater *resistance to in vitro digestion*, reducing the release of hydrolyzed sugars.

### *3.3. Total anthocyanin content, antioxidant capacity (DPPH radical-scavenging assay and Ferric reducing antioxidant capacity – FRAP assay), and total phenolic content*

The presence of natural antioxidant compounds can promote the prevention of non-chronic disorders, as well as inhibit the activity of free radicals associated with oxidative processes of lipids, proteins, RNA, DNA, and sugars, which can lead to the incidence of pathologies such as cancer, Alzheimer's and Parkinson's diseases, autoimmune deficiency, and degenerative disorders like diabetes and obesity (HU et al., 2016). Purple-fleshed sweet potato is a known source of bioactive compounds with anti-inflammatory and anticancer activities (SUGATA et al., 2015). It presents antihyperglycemic properties due to the inhibition of the enzyme  $\alpha$ -glucosidase (MATSUI et al., 2002), as well as antiatherosclerotic (MIYAZAKI et al., 2008) and antihypertensive effects (KOBAYASHI et al., 2005). Table 3 brings the results obtained for total phenolic content (TPC), antioxidant capacity (DPPH and FRAP), and total anthocyanin content (TAC) of PFSP, LP, and yogurt samples (control, A<sub>2</sub>, and A<sub>4</sub>).

**Table 3** – Total anthocyanin content (TAC), Antioxidant capacity (DPPH radical-scavenging assay and Ferric reducing antioxidant capacity – FRAP assay), and total phenolic content (TPC) of purple-fleshed sweet potato (PFSP), lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP), and Greek yogurt fortified with lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) in 0 days of storage

	Results in dry base				
	PFSP	LP	Control (Yogurt)	A <sub>2</sub>	A <sub>4</sub>
<b>TAC</b> (mg cyanidin 3-glucoside 100 g <sup>-1</sup> )	54.59 <sup>a</sup> ± 2.64	51.10 <sup>a</sup> ± 1.87	n/a*	1.16 <sup>c</sup> ± 0.08	2.10 <sup>b</sup> ± 0.27
<b>DPPH</b> (μmol TE g <sup>-1***</sup> )	16.50 <sup>b</sup> ± 0.55	20.64 <sup>a</sup> ± 1.61	1.00 <sup>c</sup> ± 0.06	0.95 <sup>c</sup> ± 0.01	0.93 <sup>c</sup> ± 0.06
<b>FRAP</b> (μmol TE g <sup>-1***</sup> )	50.40 <sup>b</sup> ± 6.90	112.93 <sup>a</sup> ± 4.38	0.57 <sup>c</sup> ± 0.08	2.86 <sup>d</sup> ± 0.22	7.24 <sup>c</sup> ± 0.57
<b>TPC</b> (mg GAE g <sup>-1**</sup> )	88.13 <sup>b</sup> ± 1.69	103.66 <sup>a</sup> ± 3.35	0.42 <sup>d</sup> ± 0.16	0.75 <sup>d</sup> ± 0.18	1.22 <sup>c</sup> ± 0.20

<sup>a-c</sup> Different letters in the same line indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); \*n/a: not applicable; \*\*GAE: gallic acid equivalent; \*\*\*TE: trolox equivalent.

The values of TPC, DPPH, and FRAP were significantly different ( $P < 0.05$ ) for PFSP and LP. An increase in LP was observed for these parameters (Table 3). For TPC, the results found in the present study were higher than those reported by JI et al. (2015), who described a content of 54.3 mg GAE g<sup>-1</sup> for purple-fleshed sweet potatoes. However, the authors obtained a considerably higher response for DPPH, where they observed a value of 81.2 μmol TE g<sup>-1</sup>, while PFSP presented a content of 16.50 μmol TE g<sup>-1</sup>. LIM et al. (2013) reported similar results, with a lower content for TPC (16.10 mg GAE g<sup>-1</sup>), but for FRAP, the authors had better performance (337.21 versus 50.40 μmol TE g<sup>-1</sup>).

PFSP and LP showed no significant differences ( $P < 0.05$ ) regarding the TAC (Table 3). The levels found were 54.59 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup> for PFSP and 51.10 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup> for LP, respectively. There is a great variation in the values described in the scientific literature for anthocyanin contents. HU et al. (2016) studied the anthocyanin contents of 30 varieties of purple-fleshed sweet potatoes, where the values ranged from 74.3 to 607 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup>. ISLAM et al. (2020) found a total anthocyanin concentration of 59.92 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup> for purple-fleshed sweet potato flour, which is similar to the one determined in the present study for LP (51.10 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup>). Variations in bioactive contents are already expected. According to ISLAM et al. (2020), the levels of anthocyanins and other bioactive components can be influenced by the different types of

varieties/genotypes, harvest time, storage period, submission to boiling processes, and drying/dehydration conditions.

The addition of LP to yogurts did not promote an increase in the sequestration capacity of the DPPH radical. For TPC, increased bioactivity was only observed for A<sub>4</sub>. The fortification with LP at 2 and 4% resulted in a significant increase in the bioactive capacity of Greek yogurt regarding the iron reduction capacity (FRAP). Studies concerning the fortification of yogurts using sweet potatoes of purple fleshed are still incipient. However, there are several studies that report the supplementation of yogurts with different sources of anthocyanins. DU et al. (2021) quantified the TPC of yogurts supplemented with mulberry bagasse at 3 levels (1, 2, and 3%). The authors found TPC contents between 0.70 and 3.92 mg GAE g<sup>-1</sup>. Both A<sub>2</sub> and A<sub>4</sub> are within the range reported by these authors. They also evaluated the TAC concentration and reported values ranging from 2.33 to 7.91 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup>, which were higher than the ones of the present study (1.16 and 2.10 mg cyanidin 3-glucoside 100 g<sup>-1</sup>). ANUYAHONG et al. (2020) obtained lower results for yogurt supplemented with anthocyanin-rich rice: approximate values between 0.06 and 0.12 mg GAE g<sup>-1</sup> for TPC and between 0.04 and 0.11 µmol TE g<sup>-1</sup> for FRAP.

As expected, the addition of LP significantly increased ( $P < 0.05$ ) the bioactive contents of yogurts through the occurrence of anthocyanins, which was more evident when LP was added at 4%. Although, the contributions in the antioxidant capacities of yogurts have occurred in a discrete way, the enrichment of this product using a natural matrix represent a suitable strategy to improve its nutritional quality (JASTER et al., 2018). Moreover, it is noteworthy that sweet potato anthocyanins have greater stability compared to those present in other vegetables, which favors their application (TSUKUI et al., 1999).

### *3.4. pH, titratable acidity, and color*

pH and acidity are important parameters of quality and safety for yogurts as they confer characteristics related to identity and quality standards, as well as allow the natural maintenance of the microbiological parameters at safe levels (AHMAD et al., 2022). Over the 30 days of storage, none of the samples showed a significant difference in Ph ( $P < 0.05$ ), with values ranging from 4.33 to 4.46 (Figure 2).



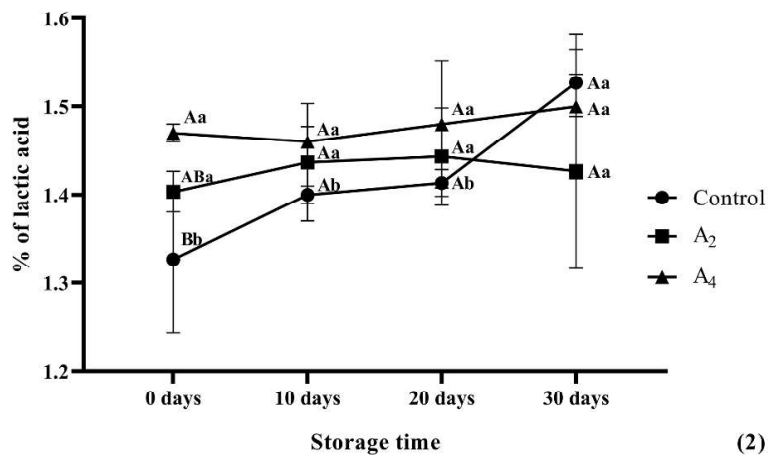
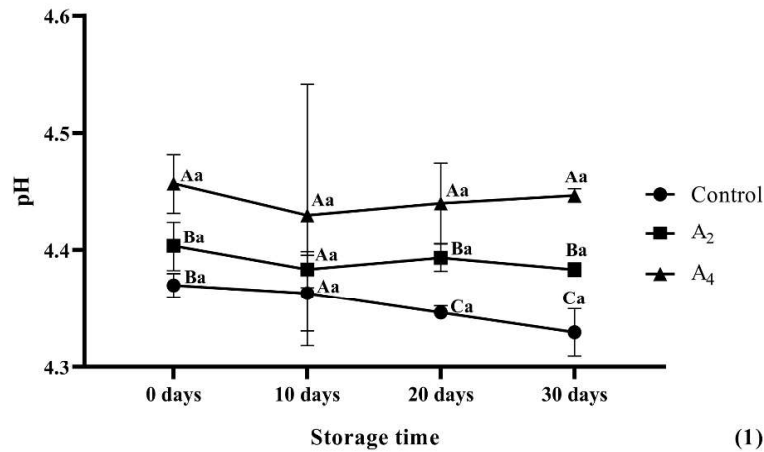


Figure 2 - Variation of pH (1) and lactic acid concentration (2) of Greek yogurt fortified with using lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) during storage under refrigeration (4 °C)

Regarding the lactic acid content, samples A<sub>2</sub> and A<sub>4</sub> showed no significant differences ( $P < 0.05$ ) throughout storage, while the control sample presented an increase in lactic acid level in 30 days (Figure 2). Differences among samples were only observed at 0 days of storage for control and A<sub>2</sub> samples.

According to the Normative Instruction No. 46 (BRAZIL, 2007), the lactic acid content of yogurts should be between 0.6 and 1.5%, corroborating the results found in the present study, samples presented values between 1.33 and 1.53%. These findings suggested post-acidification. This condition is favorable since post-acidification is considered an undesirable event that causes a reduction in the useful life and changes in

the product's sensory characteristics (ANUYAHONG et al., 2020; GHASEMPOUR et al., 2020).

Color has a direct impact on product choice and food preferences, being an attribute related to product acceptance that induces hedonic expectations (AHMAD et al., 2022). The prepared yogurts and LP can be observed in figure 1.

The  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $\Delta E$  values of yogurts are shown in table 4.

**Table 4** – Color (parameters  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $\Delta E$ ) of Greek yogurt fortified with lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) during storage under refrigeration (4 °C)

Parameter	Sample	0 days	10 days	20 days	30 days
$L^*$	Control	90.61 <sup>Aa</sup> ± 0.82	84.72 <sup>Bb</sup> ± 1.28	79.91 <sup>Bc</sup> ± 0.91	76.61 <sup>Ac</sup> ± 1.67
	A <sub>2</sub>	86.29 <sup>Bab</sup> ± 1.72	87.91 <sup>Aa</sup> ± 0.30	83.86 <sup>Ab</sup> ± 0.17	79.39 <sup>Ac</sup> ± 1.62
	A <sub>4</sub>	81.55 <sup>Ca</sup> ± 0.04	81.86 <sup>Ca</sup> ± 0.37	81.26 <sup>ABa</sup> ± 1.67	78.39 <sup>Aa</sup> ± 2.01
$a^*$	Control	0.72 <sup>Ca</sup> ± 0.02	0.59 <sup>Ca</sup> ± 0.06	0.60 <sup>Ca</sup> ± 0.06	0.67 <sup>Ca</sup> ± 0.03
	A <sub>2</sub>	5.67 <sup>Ba</sup> ± 0.13	4.83 <sup>Bb</sup> ± 0.05	4.88 <sup>Bb</sup> ± 0.01	4.67 <sup>Bb</sup> ± 0.09
	A <sub>4</sub>	8.53 <sup>Aa</sup> ± 0.01	7.73 <sup>Ab</sup> ± 0.08	7.53 <sup>Ab</sup> ± 0.06	7.65 <sup>Ab</sup> ± 0.27
$b^*$	Control	12.12 <sup>Aa</sup> ± 0.01	11.57 <sup>Aa</sup> ± 0.31	11.72 <sup>Aa</sup> ± 0.19	11.79 <sup>Aa</sup> ± 0.18
	A <sub>2</sub>	3.55 <sup>Ba</sup> ± 0.35	3.47 <sup>Ba</sup> ± 0.38	3.21 <sup>Ba</sup> ± 0.25	2.91 <sup>Ba</sup> ± 0.09
	A <sub>4</sub>	2.51 <sup>Ca</sup> ± 0.01	2.45 <sup>Ca</sup> ± 0.08	2.38 <sup>Ca</sup> ± 0.07	2.50 <sup>Ca</sup> ± 0.13
$\Delta E$	Control		5.92 <sup>Aa</sup> ± 0.50	4.81 <sup>Aab</sup> ± 0.40	3.30 <sup>Ab</sup> ± 0.79
	A <sub>2</sub>	n/a*	2.38 <sup>Ba</sup> ± 0.93	4.06 <sup>Aa</sup> ± 0.30	4.50 <sup>Aa</sup> ± 1.79
	A <sub>4</sub>		0.94 <sup>Bc</sup> ± 0.02	2.15 <sup>Bb</sup> ± 0.18	2.90 <sup>Aa</sup> ± 0.33

<sup>A-C</sup> Different letters in the same column indicate significant differences; <sup>a-c</sup> Different letters in the same line for the same parameter indicate significant differences (P < 0.05); \*n/a: not applicable.

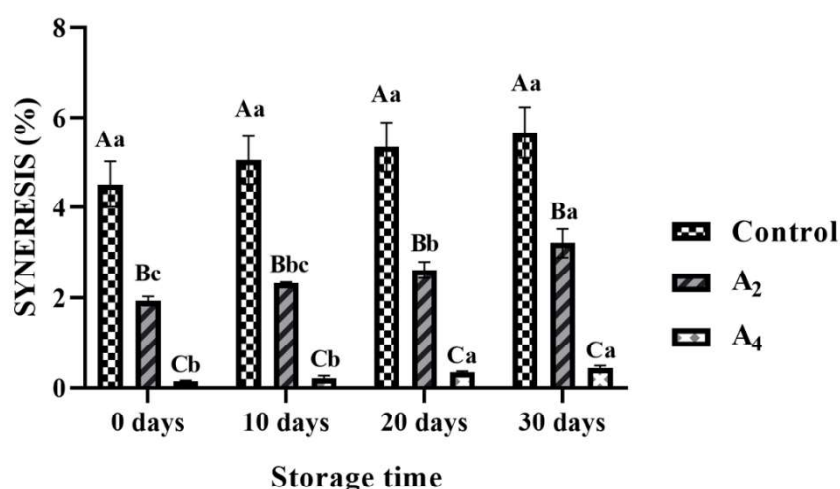
Compared to Control, the addition of LP at different levels promoted significant reductions of  $L^*$  and  $b^*$ , indicating that the samples became darker (Table 4). Moreover, there was an increase in  $a^*$  values, evidencing that the samples were closer to red, which can be observed in Figure 1, since after the addition of LP the samples presented pink coloration. The results found in this study were like those reported in studies carried out with yogurts fortified with pigments of plant matrices, such as mulberry bagasse (DU et al., 2021), grape bagasse (DEMIRKOL & TARAKCI, 2018), and elderberry (CAIS-SOKOLIŃSKA & WALKOWIAK-TOMCZAK, 2021). The low variation of  $\Delta E$  during storage is due to the higher resistance of PFSP anthocyanins.

Regarding the total color difference ( $\Delta E$ ) during storage, a minor variation was determined in sample A<sub>4</sub> compared to 0 days of storage. It indicated greater stability in the evaluated parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ ). Even with significant variations (P < 0.05), the color was relatively constant in samples since the maximum value of  $\Delta E$  was 5.92 (Table

4). Such stability favors a possible application in dairy products as color is the first quality attribute evaluated by consumers and the low effect of storage time on color allows the offer of a uniform product (GHASEMPOUR et al., 2020). According to TSUKUI et al. (1999), due to the high degree of acylation, anthocyanins present in this root become more resistant to oxidation, heating, and irradiation of UV light when compared to other pigments and anthocyanins of other vegetables, such as apple, cabbage, and strawberry.

### 3.5. Syneresis

Syneresis is an indicator of yogurt quality and represents the balance between the forces of attraction and repulsion within the casein network formed in yogurt production and the rearrangement capacity of the network formed with the addition of components (ANUYAHONG et al., 2020). When compared to each other, the samples showed significantly different ( $P < 0.05$ ) results of syneresis for all storage times. During the 30 days of storage, an increase in the syneresis index was observed for the 3 samples (Figure 3).



**Figure 3** – Syneresis of Greek yogurt fortified with using lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) during storage under refrigeration (4 °C)

Control samples presented 4.52% of syneresis at 0 days and 5.62% at 30 days, while samples A<sub>2</sub> and A<sub>4</sub> showed the following results, respectively: 1.93% at 0 days and 3.21% at 30 days; 0.15% at 0 days and 0.45% at 30 days. The release of water is undesirable and may lead to rejection by consumers (GHASEMPOUR et al., 2020). It is possible to observe that for A<sub>4</sub> the syneresis is almost nil. For control and A<sub>2</sub>, the

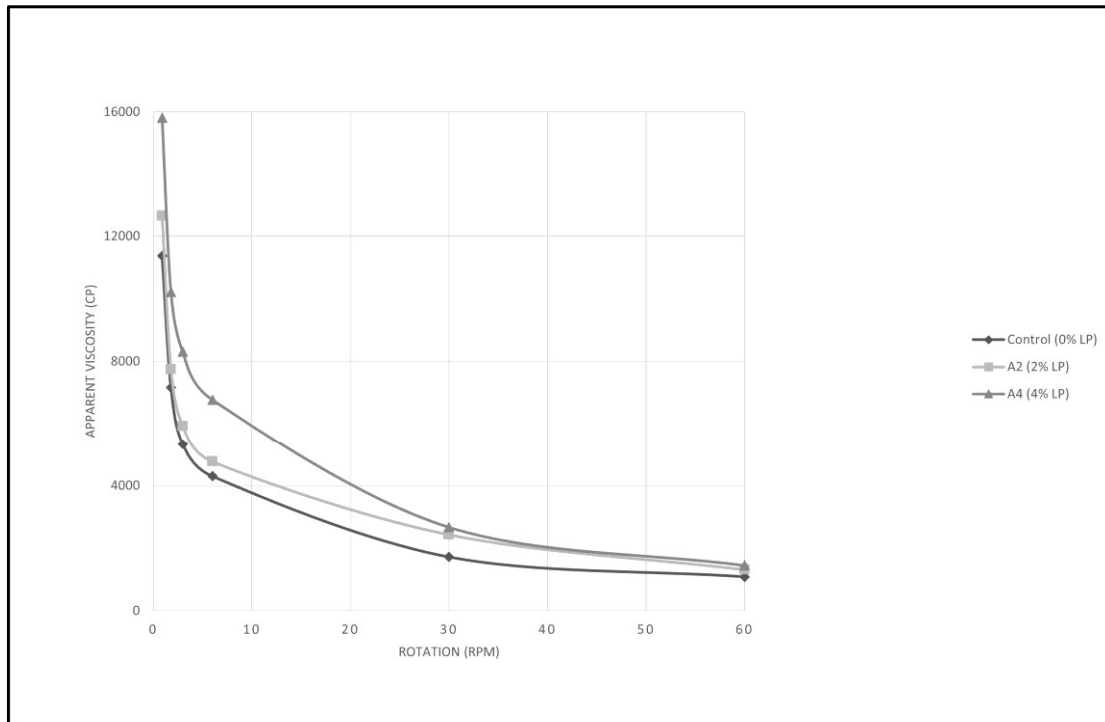
maximum values recorded were 5.62% and 3.21%, respectively. The low rates are due to the type of product. Greek yogurt is a concentrated product (JRAD et al., 2019).

The addition of LP promoted the increase of solids content, considerably reducing yogurt syneresis and corroborating described by other authors. DU et al. (2021) evaluated the effects of mulberry pomace addition in yogurts and revealed that the increase in water retention capacity was proportional to mulberry pomace dosages. ANUYAHONG et al. (2020) observed the reduction of syneresis in yogurts incorporated with high-anthocyanin content rice. According to DÖNMEZ et al. (2017), reductions of syneresis allow the increase of water capacity within the existing gel network.

Improvements in syneresis with the addition of LP to Greek yogurt may be due to two points: 1) polyphenols can form soluble complexes with casein. From the hydrophobic interaction of the casein network, associated with the parallel emergence of hydrogen bonds, such complexes are stabilized, which limits the release of the present serum (ANUYAHONG et al., 2020); 2) Water retention capacity of starch can promote protein-protein interactions, which makes the structure of the protein network more structured and reticulated, reducing water expulsion (JIA et al., 2022).

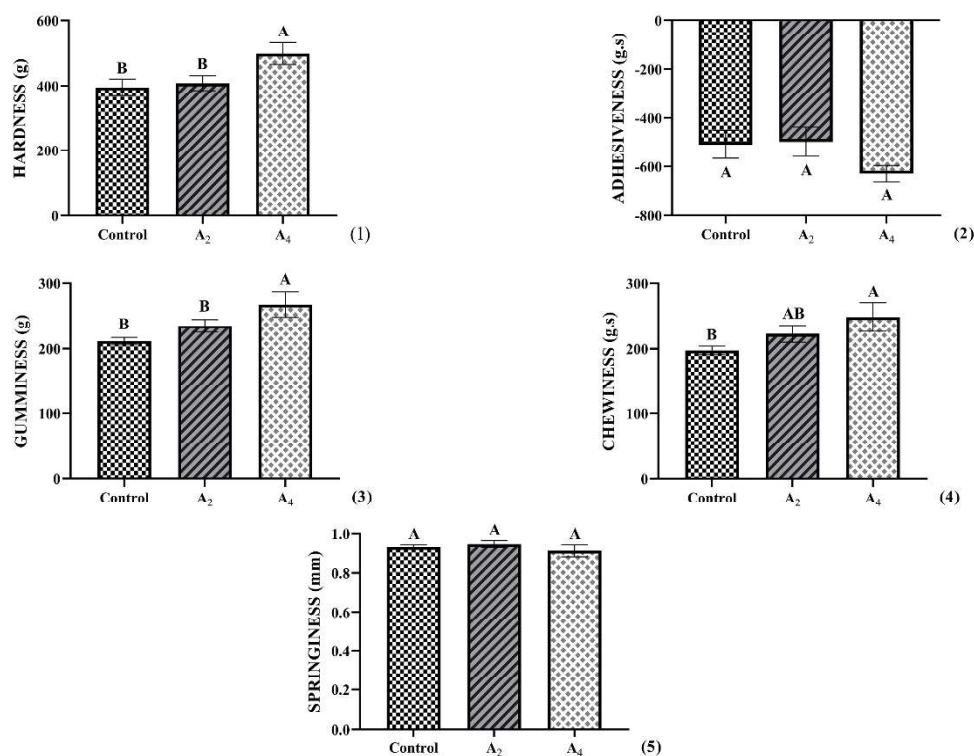
### *3.6. Apparent viscosity and texture analysis*

The Figure 4 shows the results of apparent viscosity. The samples showed pseudoplastic behavior. With the increase in the shear rate, the chains that were previously arranged randomly start to align in the direction of the flow, where there is a lower interaction between the existing polymer chains (PÉREZ et al., 2021). An increase in apparent viscosity was also observed with the addition of LP, being more evident at the level of 4%.



**Figure 4** - Apparent viscosity of Greek yogurt fortified with using lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) in 0 days of storage

Regarding the texture profile, no significant differences were observed ( $P < 0.05$ ) for adhesiveness and springiness between samples. For hardness and gumminess, A<sub>4</sub> differed from control and A<sub>2</sub>, while for chewiness, A<sub>4</sub> differed only from control (Figure 5). The addition of 4% LP promoted an improvement in texture, allowing the production of firmer yogurts with greater chewability and gummy.



**Figure 5** - Texture Profile [Hardness (1), Adhesiveness (2), Gumminess (3), Chewiness (4), and Springiness (5)] of Greek yogurt fortified with using lyophilized purple-fleshed sweet potato powder (LP) in 0 days of storage

According to ANUYAHONG et al. (2020), these are important quality parameters of yogurts. Improvements in yogurt texture parameters have been reported by several authors. DU et al. (2021) also observed an increase in apparent viscosity when enriching yogurt with blackberry bagasse. ZYGMANTAITE et al. (2021) and CAIS-SOKOLIŃSKA & WALKOWIAK-TOMCZAK (2021) obtained more viscous yogurts from cranberry bagasse and elderberry juice enrichment, respectively. However, it is believed that the textural alterations of yogurts are due to interactions promoted with starch, since LP presents in its composition around 53% of starch, being 75% of this percentage resistant starch (Table 2). The findings of this study corroborated the results reported by HE et al. (2019), who showed that the addition of two different types of resistant starches at 1.5% promoted an increase in the apparent viscosity of yogurts. PÉREZ et al. (2021) compared the impacts of adding starch from two varieties of yam in yogurt to the supplementation with pectin (food additive with thickening capacity) and observed that the yogurts added with starches had higher viscosity. In addition, JIA et al. (2022) reported that the addition of resistant starches from corn promoted the production of firmer yogurts as the starch swelling property plays an important role in yogurt texture.

These are desirable technological aspects since Greek yogurt is a product of relatively high firmness and consistency and its production without the use of chemical additives allows meeting the clean label market demand (JRAD et al., 2019; ASIOLI et al., 2017).

#### **4. CONCLUSION**

Purple-fleshed sweet potato powder is a natural versatile food additive that plays a role in color promotion, texture improvement, and maintenance of parameters of quality of yogurt. The addition of LP resulted in pink firmer yogurts, low color variation throughout storage, and without post-acidification. Additionally, the bioactive capacity of the product increased by adding a matrix rich in anthocyanins and the syneresis considerably reduced, an important parameter to the consumers' acceptability.

Results achieved in this research were promising and yogurts can be considered excellent products for the application of freeze-dried powder of purple-fleshed sweet potato. However, even with these encouraging results and perspectives, further studies are needed to evaluate the sensory acceptance of this kind of product by consumers.

#### **5. ACKNOWLEDGMENTS**

The authors acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brazil (CNPq) for their financial support (processes n. 472988/2014-0 and n. 443310/2016-5), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Brazil (FAPERJ) for the financial support (process n. E-26/210.112/2021 – 259048), Sacco Brasil® for the donation of culture for yogurt production, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Brazil (PPGCTA – UFRRJ), Pró-Reitoria de Pós-Graduação – Brazil (PROPPG – UFRRJ), and Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brazil (UFRRJ). This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Financing Code 001.

#### **6. DECLARATION OF CONFLICT OF INTEREST**

The authors declare no conflict of interest. Sponsors had no role in the design of the study; in the collection, analysis, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

## 7. AUTHORS' CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally to the conception and writing of this manuscript. All authors critically revised the manuscript and approved the final version.

## 8. REFERENCES

- AHMAD, I. et al. Physicochemical, rheological and antioxidant profiling of yogurt prepared from non-enzymatically and enzymatically hydrolyzed potato powder under refrigeration. **Food Science and Human Wellness**, v. 12, n. 1, p. 69–78, 2022. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213453022001318>>. Accessed: aug. 08, 2022. doi: [10.1016/j.fshw.2022.07.024](https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.024).
- ALBUQUERQUE, T. M. R. et al. Potential prebiotic properties of flours from different varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots cultivated in Northeastern Brazil. **Food Bioscience**, v. 36, Article 100614, p. 1-13, 2020. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429219306480>>. Accessed: apr. 24, 2023. doi: [10.1016/j.fbio.2020.100614](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100614).
- ANUYAHONG, T. et al Incorporation of anthocyanin-rich riceberry rice in yogurts: Effect on physicochemical properties, antioxidant activity and in vitro gastrointestinal digestion. **LWT**, v. 129, Article 109571, p. 1-10, 2020. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820305600>>. Accessed: aug. 16, 2022. doi: [10.1016/j.LWT.2020.109571](https://doi.org/10.1016/j.LWT.2020.109571).
- ASCHEMANN-WITZEL, J. Consumer perception and trends about health and sustainability: Trade-offs and synergies of two pivotal issues. **Current Opinion in Food Science**, v. 3, p. 6–10, 2015. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799314000046>>. Accessed: sept. 22, 2022. doi: [10.1016/j.cofs.2014.08.002](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.08.002).
- ASCHEMANN-WITZEL, J. et al. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping. **Food Quality and Preference**, v. 71, p. 117–128, 2019. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329318300405>>. Accessed: sept. 22, 2022. doi: [10.1016/j.foodqual.2018.06.003](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.003).
- ASIOLI, D. et al. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, v. 99, p. 58–71, 2017. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996917303435>>. Accessed: jun. 29, 2022. doi: [10.1016/j.foodres.2017.07.022](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.022).
- BRAZIL. Instrução Normativa No. 46, de 23 de outubro de 2007. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados**. (2007) Available from: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1/rtiq-leite-e-seus-derivados>>. Accessed: sept. 29, 2022.
- CAIS-SOKOLIŃSKA, D.; WALKOWIAK-TOMCZAK, D. Consumer-perception, nutritional, and functional studies of a yogurt with restructured elderberry juice. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 2, p. 1318–1335, 2021. Available:



<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030220310109>>. Accessed: aug. 15, 2022. doi: [10.3168/jds.2020-18770](https://doi.org/10.3168/jds.2020-18770).

CHEONG, J. J. et al. Effects of cooking methods on physicochemical properties, antioxidant properties and sensory acceptability of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Food Research**, v. 6, n. 6, p. 257 - 266, 2022. Available from: <[https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/31\\_fr-2021-1008\\_cheong.pdf](https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/31_fr-2021-1008_cheong.pdf)>. Accessed: apr. 24, 2023. doi: [10.26656/fr.2017.6\(6\).1008](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(6).1008).

DEMIRKOL, M.; TARAKCI, Z. Effect of grape (*Vitis labrusca* L.) pomace dried by different methods on physicochemical, microbiological and bioactive properties of yoghurt. **LWT**, v. 97, p. 770–777, 2018. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818306418>>. Accessed: jul. 28, 2022. doi: [10.1016/j.LWT.2018.07.058](https://doi.org/10.1016/j.LWT.2018.07.058).

DÖNMEZ, Ö. et al. Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 2, p. 901–907, 2017. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203021630892X>>. Accessed: jun. 29, 2022. doi: [10.3168/jds.2016-11262](https://doi.org/10.3168/jds.2016-11262).

DU, H. et al. Effects of mulberry pomace on physicochemical and textural properties of stirred-type flavored yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 12, p. 12403–12414, 2021. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221008675>>. Accessed: jun. 16, 2022. doi: [10.3168/jds.2020-20037](https://doi.org/10.3168/jds.2020-20037).

FITRI, I. et al. Macro and Micronutrients of Purple Sweet Potato Flour as Material Raw Complementary Feeding. **Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology**, v. 31, n. 1, p. 44-49, 2023. Available from: <[https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/applied\\_sciences\\_eng\\_tech/article/view/1609](https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/applied_sciences_eng_tech/article/view/1609)>. Accessed: apr. 24, 2023. doi: [10.37934/araset.31.1.4449](https://doi.org/10.37934/araset.31.1.4449).

FRACASSO, A. et al. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. **Journal of Plant Physiology**, v. 190, p. 1–14, 2016. Available from: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26624226/>>. Accessed: jul. 09, 2022. doi: [10.1016/j.jplph.2015.10.009](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.009).

GHASEMPOUR, Z. et al. Development of probiotic yogurt containing red beet extract and basil seed gum; techno-functional, microbial and sensorial characterization. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 29, Article 101785, p. 1-7, 2020. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818120306903>>. Accessed: sept. 28, 2022. doi: [10.1016/j.bcab.2020.101785](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101785).

GIBSON, G. R. et al. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology**, v. 14, n. 8, p. 491–502, 2017. Available from: <<https://www.nature.com/articles/nrgastro.2017.75>>. Accessed: jul. 23. 2022. doi: [10.1038/nrgastro.2017.75](https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75).

GONG, S. et al. Effects of amylolytic *Lactobacillus* fermentation on the nutritional

quality and digestibility of purple potato flour. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 107, Article 104363, p. 1-8, 2022. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157521005639>>. Accessed: aug. 17, 2022. doi: [10.1016/j.jfca.2021.104363](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104363).

GRANATO, D. et al. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. **Trends in Food Science and Technology**, v. 62, p. 13–22, 2017. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224416303284>>. Accessed: aug. 19, 2022. doi: [10.1016/j.tifs.2016.12.010](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.010).

HAGENIMANA, V. et al. Distribution of Amylases within Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Root Tissue. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 10, p. 1777–1783, 1992. Available from: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf00022a010>>. Accessed: sept. 16, 2022. doi: [10.1021/jf00022a010](https://doi.org/10.1021/jf00022a010).

HE, J. et al. Effect of 2 types of resistant starches on the quality of yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 5, p. 3956–3964, 2019. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219301924>> Accessed: sept. 18, 2022. doi: [10.3168/jds.2018-15562](https://doi.org/10.3168/jds.2018-15562).

HU, Y. et al. An analytical pipeline to compare and characterise the anthocyanin antioxidant activities of purple sweet potato cultivars. **Food Chemistry**, v. 194, p. 46–54, 2016. Available from: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26471525/>>. Accessed: aug. 30, 2022. doi: [10.1016/j.foodchem.2015.07.133](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.133).

HSU, J. L. et al. Willingness-to-pay for ready-to-eat clean label food products at convenient stores. **Future Foods**, v. 7, Article 100237, p. 1-5, 2023. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833523000230>. Accessed: jul. 19, 2023. doi: [10.1016/j.fufo.2023.100237](https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100237).

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4th ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Available from: <[http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016\\_3\\_19/analisedealimentosial\\_2008.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf)>.

ISLAM, M. Z. et al. Physicochemical and Bread-making Properties of Flours from Sweet Potatoes with Different Flesh Colours. **Sains Malaysiana**, v. 49, n. 7, p. 1577–1583, 2020. Available from: <[http://www.ukm.my/jsm/pdf\\_files/SM-PDF-49-7-2020/10.pdf](http://www.ukm.my/jsm/pdf_files/SM-PDF-49-7-2020/10.pdf)>. Accessed: jul. 15, 2022. doi: [10.17576/jsm-2020-4907-10](https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4907-10).

JASTER, H. et al. Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. **Food Research International**, v. 104, p. 119–125, 2018. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996917306919>>. Accessed: aug. 21, 2022. doi: [10.1016/j.foodres.2017.10.006](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.006).

JL, H. et al. Analysis on the Nutrition Composition and Antioxidant Activity of Different Types of Sweet Potato Cultivars. **Food and Nutrition Sciences**, v. 06, n. 01, p. 161–167, 2015. Available from: <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=53370>>. Accessed: aug. 17, 2022. doi: [10.4236/fns.2015.61017](https://doi.org/10.4236/fns.2015.61017).

- JIA, S. et al. Influence of corn resistant starches type III on the rheology, structure, and viable counts of set yogurt. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 203, n. 3501, p. 10–18, 2022. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022000344>>. Accessed: sept. 18, 2022. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2022.01.027](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.027).
- JRAD, Z. et al. Potential effects of ultrafiltration process and date powder on textural, sensory, bacterial viability, antioxidant properties and phenolic profile of dromedary Greek yogurt. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 3, p. 854–861, 2019. Available from: <<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijfs.14005>>. Accessed: jul. 22, 2022. doi: [10.1111/ijfs.14005](https://doi.org/10.1111/ijfs.14005).
- KATAYAMA, K. et al. Resistant and Digestible Starch Contents in Sweet Potato Cultivars and Lines. **Journal of Applied Glycoscience**, v. 58, n. 2, p. 53–59, 2011. Available from: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jag/58/2/58\\_jag.JAG-2010\\_016/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jag/58/2/58_jag.JAG-2010_016/pdf)>. Accessed: sept. 03, 2022. doi: [10.5458/jag.jag.jag-2010\\_016](https://doi.org/10.5458/jag.jag.jag-2010_016).
- KIM, S. Y. et al. The quality characteristics, antioxidant activity, and sensory evaluation of reduced-fat yogurt and nonfat yogurt supplemented with basil seed gum as a fat substitute. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 2, p. 1324–1336, 2020. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219310549>>. Accessed: aug. 01, 2022. doi: [10.3168/jds.2019-17117](https://doi.org/10.3168/jds.2019-17117).
- KOBAYASHI, M. et al. Hypotensive Effect of Anthocyanin-rich Extract from Purple-fleshed Sweet Potato Cultivar "Ayamurasaki" in Spontaneously Hypertensive Rats. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 52, p. 41–44, 2005. Available from: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk/52/1/52\\_1\\_41/\\_article/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk/52/1/52_1_41/_article/-char/en)>. Accessed: aug. 10, 2022. doi: [10.3136/nskkk.52.41](https://doi.org/10.3136/nskkk.52.41).
- LEE, J. et al. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 5, p. 1269–1278, 2005. Available from: <<https://academic.oup.com/jaoac/article/88/5/1269/5657437>>. Accessed: jan. 10, 2022. doi: [10.1093/jaoac/88.5.1269](https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269).
- LIM, S. et al. Role of anthocyanin-enriched purple-fleshed sweet potato p40 in colorectal cancer prevention. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 57, n. 11, p. 1908–1917, 2013. Available from: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23784800/>>. Accessed: jul. 16, 2022. doi: [10.1002/mnfr.201300040](https://doi.org/10.1002/mnfr.201300040).
- MA, Y. et al. Effect of superheated steam treatment on the structural and digestible properties of wheat flour. **Food Hydrocolloids**, v. 112, n. September 2020, p. 106362, 2021. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X20318920>>. Accessed: jul. 29, 2022. doi: [10.1016/j.foodhyd.2020.106362](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106362).
- MATSUI, T. et al. Anti-hyperglycemic effect of diacylated anthocyanin derived from Ipomoea batatas cultivar ayamurasaki can be achieved through the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory action. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 25, p. 7244–7248, 2002. Available from: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12452639/>>. Accessed: aug. 02, 2022. doi: [10.1021/jf025913m](https://doi.org/10.1021/jf025913m).

MIYAZAKI, K. et al. Anthocyanins from purple sweet potato *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki suppress the development of atherosclerotic lesions and both enhancements of oxidative stress and soluble vascular cell adhesion molecule-1 in apolipoprotein E-deficient mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11485–11492, 2008. Available from: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18986148/>>. Accessed: jul. 15, 2022. doi: [10.1021/jf801876n](https://doi.org/10.1021/jf801876n).

NGOMA, K et al. Physicochemical and Functional Properties of Chemically Pretreated Ndou Sweet Potato Flour. **International Journal of Food Science**, v. 2019, Article 4158213, p. 1-9, 2019. Available from: <<https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2019/4158213/>>. Accessed: apr. 24, 2023. doi: [10.1155/2019/4158213](https://doi.org/10.1155/2019/4158213).

OGLIARI, R. et al. Chemical, Nutritional and Sensory Characterization of Sweet Potato Submitted to Different Cooking Methods. **International Journal of Research - GRANTHAALAYAH**, v. 8, n. 10, p. 147-156, 2020. Available from: <[https://www.granthaalayahpublication.org/journals/index.php/granthaalayah/article/view/IJRG20\\_B10\\_3814](https://www.granthaalayahpublication.org/journals/index.php/granthaalayah/article/view/IJRG20_B10_3814)>. Accessed: apr. 24, 2023. doi: [10.29121/granthaalayah.v8.i10.2020.1881](https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v8.i10.2020.1881).

PANDITH, J. A. et al. Recent developments in space food for exploration missions: A review. **Life Sciences in Space Research**, v. 36, p. 123–134, 2023. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214552422000736>> Accessed: apr. 20, 2023. doi: [10.1016/j.lssr.2022.09.007](https://doi.org/10.1016/j.lssr.2022.09.007).

PÉREZ, J. et al. Effect of yam (*Dioscorea* spp.) starch on the physicochemical, rheological, and sensory properties of yogurt. **Heliyon**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2021. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402100092X>>. Accessed: jul. 22, 2022. doi: [10.1016/j.heliyon.2021.e05987](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05987).

RUFINO, M. do S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610001172>>. Accessed: jul. 22, 2022. doi: [10.1016/j.foodchem.2010.01.037](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037).

SANTOS, R. A. dos et al. Influence of aqueous yam extract and goat milk casein powder on the characteristics of goat Greek-style yogurt. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 27, Article 100465, p. 1-8, 2022. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878450X21001645>>. Accessed: jan. 25, 2022. doi: [10.1016/j.ijgfs.2021.100465](https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100465).

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 19–38, 2004. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224403001638>>. Accessed from: sept. 01, 2022. doi: [10.1016/j.tifs.2003.07.004](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004).

SUDJATINAH, S. et al. Study on The Utilization of Purple Sweet Potato (*Ipomea batatas* L) for Ice Cream as Antioxidants. **Journal of Applied Food Technology**, v. 7, n. 1, p. 1–4, 2020. Available from: <<https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jaft/article/view/6098>>. Accessed from: aug. 21, 2022. doi: [10.17728/jaft.609](https://doi.org/10.17728/jaft.609).

SUGATA, M. et al. Anti-Inflammatory and Anticancer Activities of Taiwanese Purple-Fleshed Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas* L. Lam) Extracts. **BioMed Research International**, v. 2015, Article 768093, p. 1-10. Available from: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26509161/>>. Accessed: aug. 15, 2022. doi: [10.1155/2015/768093](https://doi.org/10.1155/2015/768093).

SUN, H. et al. Effects of treatment methods on the formation of resistant starch in purple sweet potato. **Food Chemistry**, v. 367, Article 130580, p. 1-8, 2022. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621015867>>. Accessed: aug. 15, 2022. doi: [10.1016/j.foodchem.2021.130580](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130580).

TANAKA, M. et al. Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. **Breeding Science**, v. 67, n. 1, p. 52–61, 2017. Available from: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5407917/>>. Accessed from: jul. 20, 2022. doi: [10.1270/jsbbs.16125](https://doi.org/10.1270/jsbbs.16125).

THAIPONG, K. et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6–7, p. 669–675, 2006. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157506000081>>. Accessed: jul. 29, 2022. doi: [10.1016/j.jfca.2006.01.003](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003).

TSUKUI, A. et al. Stability and Composition Ratio of Anthocyanin Pigments from *Ipomoea batatas* Poir. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 46, n. 3, p. 148–154, 1999. Available from: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk1995/46/3/46\\_3\\_148/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk1995/46/3/46_3_148/pdf)>. Accessed: aug. 12, 2022. doi: [10.3136/nskkk.46.148](https://doi.org/10.3136/nskkk.46.148).

ZHENG, Y. et al. Characterization and prebiotic effect of the resistant starch from purple sweet potato. **Molecules**, v. 21, n. 7, p. 1-11, 2016. Available from: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6273351/>>. Accessed: aug. 30, 2022. doi: [10.3390/molecules21070932](https://doi.org/10.3390/molecules21070932).

ZHU, F.; SUN, J. Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour. **Food Bioscience**, v. 30, Article 100411, p. 1-8, 2019. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429218307624>>. Accessed: sept. 15, 2022. doi: [10.1016/j.fbio.2019.04.012](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.04.012).

ZYGMANTAITE, G. et al. Extract isolated from cranberry pomace as functional ingredient in yoghurt production: Technological properties and digestibility studies. **LWT**, v. 148, Article 111751, p. 1-9, 2021. Available: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364382100904X>>. Accessed: sept. 29, 2022. doi: [10.1016/j.lwt.2021.111751](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111751).

## 8. CAPÍTULO IV

### **Enriquecimento de iogurte batido com pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa: propriedades físicas, químicas, texturais, bioativas e efeitos sobre a viabilidade de bactérias lácticas**

#### **RESUMO**

Este estudo propõe o uso de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa da variedade “Beni imo” (PL) como um novo ingrediente multifuncional para melhoria dos parâmetros de identidade e qualidade de iogurte batido. Propriedades físicas e químicas, cor, teor de antocianinas monoméricas, viabilidade de bactérias lácticas, capacidade de retenção de água, microestrutura e textura foram avaliadas para iogurtes enriquecidos com PL aos níveis de 2% (YLP2), 4% (YLP4) e 6% (YLP6) com armazenamento durante 30 dias sob refrigeração (4 °C). Os resultados indicaram que PL propiciou colorações rosadas ao iogurte de diferentes intensidades e tonalidades, além de aumentar significativamente ( $P < 0.05$ ) a capacidade de retenção de água e reduzir a atividade de água dos iogurtes. Não foram observados processos de pós-acidificações evidenciados ao longo do armazenamento. YLP2, YLP4 e YLP6 apresentaram maior estabilidade no número de células viáveis das bactérias ácido-láticas em relação à amostra controle (sem enriquecimento) ao longo do armazenamento. Intersticialmente, PL melhorou a microestrutura do iogurte em relação à amostra Controle, promovendo redes mais reticuladas, com maior uniformidade e zonas vazias menores em todos os níveis, além de torná-lo mais firme e mais cremoso com 4 e 6% de PL. Este estudo concluiu que PL pode ser utilizado como um ingrediente multifuncional a fim de promover melhorias tecnológicas, podendo desempenhar funções como corante natural, estabilizante, emulsificante, espessante para iogurtes.

**Palavras-chave:** antocianinas; corante alimentício natural; propriedade tecnológicas; leites fermentados.

### **1. INTRODUÇÃO**

O iogurte é um dos produtos lácteos de maior importância econômica ao redor do mundo, com destacável qualidade nutricional devido aos seus conteúdos de lipídios, proteínas, minerais e vitaminas. Sua obtenção é decorrente do processo de fermentação

do leite pelo *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, podendo apresentar em sua composição outros micro-organismos (CHEN et al., 2019; MANTZOURANI et al., 2022). Essas bactérias ácido-láticas (LAB) apresentam-se em densidade populacional superior a 7 log UFC/g e podem trazer benefícios à saúde humana, como prevenção de doenças e fortalecimento do sistema imunológico, quando consumidas em quantidades e frequências adequadas. A fermentação ocorre até que se atinja valores de pH entre 4,60 e 4,50, dando origem a um alimento coagulado, ácido e semissólido (MOTA et al., 2015; OSORIO-ARIAS et al., 2020).

Aditivos sintéticos podem ser utilizados para corrigir falhas tecnológicas ou promover melhorias nas características tecnológicas e sensoriais do iogurte, como estabilizantes, espessantes, emulsificantes, corantes, entre outros (BAGLIO, 2014). Entretanto, tais ingredientes podem trazer efeitos deletérios à saúde humana (KERDUDO et al., 2016), fazendo com que os consumidores busquem opções mais próximas ao natural, com a utilização mínima e/ou não-utilização desses ingredientes, provocando uma mudança no mercado e nos produtos ofertados, representada, principalmente, pelo movimento *clean label* (ROOBAB et al., 2021). Assim, são constantes as pesquisas visando à busca por ingredientes alternativos aos aditivos sintéticos.

Wang, Kristo & LaPointe (2019) observaram aumento da firmeza e coesividade de iogurte ao enriquecê-lo com bagaço de maçã liofilizado, que atuou como um reforço aos géis de caseína. Chen et al. (2023) descreveram estruturas mais homogêneas em iogurtes incorporados de fibra de soja oriundo de okara, além de observarem géis mais fortes e maior capacidade de retenção de água. Du et al. (2021) relataram aumento da viscosidade, consistência e firmeza de iogurtes enriquecidos com bagaço de amora. Meena et al. (2022) melhorias na textura, consistência e coesividade após o enriquecimento com bagaço de abacaxi, indicando um reforço na estrutura física do iogurte. Assim, há possibilidades para melhoramento das características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais do iogurte, em especial, com utilização de diferentes matrizes de origem vegetal, das quais se destaca a batata-doce de polpa roxa.

A batata-doce de polpa roxa (BDPR) é uma raiz com altos teores de compostos bioativos, com grande adaptação frente a diferentes tipos de clima e solos, com alto rendimento por hectare (TANAKA et al., 2017). É um vegetal com destacável qualidade

nutricional, com consideráveis teores de fibras, vitaminas e minerais, e baixos conteúdos de lipídios (ALAM, 2021). Além disso, BDPR é uma reconhecida fonte de amido total, com teores superiores a 50%, importante ingrediente na indústria alimentícia, com inúmeras funções tecnológicas, tais como: espessante, emulsificante, material de revestimento e encapsulamento, agente ligante, estabilizante, gelificante (BANGAR et al., 2022). Dentre os compostos bioativos presentes na BDPR, destacam-se as antocianinas, pigmentos naturais com reconhecida capacidade antioxidante e possui a propriedade de interconversão de cores, sendo capazes de conferir uma ampla gama de colorações, com diferentes tonalidades e intensidades, de acordo com as características de pH do meio (AZZINI et al., 2017). Vale destacar que estudos que indicam os efeitos biológicos benéficos das antocianinas, em especial, as presentes na BDPR, que, conforme citado anteriormente, podem desempenhar: efeitos anti-hiperglicêmico devido à inibição da enzima  $\alpha$ -glucosidase (MATSUI et al., 2002), antiaterosclerótico (MIYAZAKI et al., 2008), anti-hipertensiva (KOBAYASHI et al., 2005), atividades anti-inflamatórias e anticancerígenas (SUGATA et al., 2015), inibição de inflamação hepática (WANG et al., 2017). Assim, espera-se que a incorporação da BDPR pode promover diversos efeitos nas características de iogurte, em especial, pela atuação das antocianinas e amido.

O objetivo do presente trabalho foi investigar a utilização da BDPR na forma de pó liofilizado como ingrediente multifuncional e seus impactos nas propriedades de iogurte batido.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Material**

Batata-doce de polpa roxa (PSFP) foi obtida a partir de uma unidade de produção familiar localizada em Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil (22° 47' 03,6" latitude Sul e 43° 39' 40,1" longitude Oeste). Leite integral pasteurizado – 3,6% de gordura (Vigor, Porto, Portugal) foi obtido no mercado local (Aveiro, Portugal). Lyofast Y 438 A, uma cultura liofilizada de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, foi fornecida pela Sacco Brasil (São Paulo, Brasil®). A obtenção do pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa foi realizada no Laboratório Instrumental do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Seropédica – RJ, Brasil), enquanto os demais ensaios



foram realizados nas instalações do Departamento de Química da Universidade de Aveiro (Aveiro – Portugal).

## **2.2. Tratamento térmico de BDPR e obtenção de pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa**

A BDPR foi colhida manualmente, selecionado, lavado e sanitizado por imersão em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm por 15 minutos). Em seguida, foi descascado e picado em pedaços de 5 cm<sup>2</sup>.

A PSFP foi tratada termicamente por imersão em água a 80 °C por 10 minutos (proporção 1:3 p/p). Após o tratamento térmico, as batatas e a água do cozimento foram processadas no liquidificador industrial (modelo LI-1,5-N, Skymesen, Santa Catarina, Brasil) por 10 minutos. O purê obtido foi colocado em embalagem plástica hermética e congelado a -18 °C em freezer convencional por 7 dias. Posteriormente, o purê foi liofilizado em liofilizador de bancada (Liotop®, modelo L101) por um período médio de 5 dias, triturada no liquidificador industrial e selecionada em uma peneira de análise granulométrica de 710 µm. Esse processo resultou no pó de batata-doce (PL) liofilizado de polpa roxa, que foi armazenado em recipientes herméticos sob refrigeração (4 °C).

## **2.3. Produção de iogurte batido enriquecido com LP**

O leite integral pasteurizado foi aquecido a 43 °C e a cultura liofilizada de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* foi adicionada na proporção de 0,07 g L<sup>-1</sup> de leite, seguindo a recomendação do fabricante. Em seguida, foi incubado em banho-maria a 43 °C até atingir o valor de pH entre 4,5 e 4,6. Após a coagulação, o iogurte foi dividido em quatro partes iguais. Três partes foram enriquecidas com PL usando três proporções [2% p/p – YLP2, 4% p/p – YLP4 e 6% p/p – YLP6]. Assim, quatro diferentes amostras foram obtidas: Controle (sem adição de PL), YLP2, YLP4 e YLP6. As amostras foram fracionadas em embalagens plásticas herméticas contendo 30 g de iogurte cada e armazenadas sob refrigeração (4 ± 1 °C).

## **2.4. pH e acidez titulável (AT)**

O pH e a acidez titulável foram determinados utilizando-se um titulador automático com potenciômetro acoplado (TitroMatic pH-Stat 1S, Crison, Barcelona, Espanha) aos 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento sob refrigeração a 4°C. A acidez titulável (AT) foi determinada utilizando solução de hidróxido de sódio 0,1 M como

titulante e solução etanólica de fenolftaleína 1% como indicador, tendo sido expressa em % de ácido láctico, seguindo o procedimento indicado pela AOAC (2012).

## 2.5. *Teor de antocianinas monoméricas totais (TAM) e análise de cor instrumental*

O teor de antocianinas monoméricas totais (TAM) de PL e das amostras de iogurte foi determinado usando o procedimento relatado por DU et al (2021), com modificações. Os extratos foram preparados com 1,5 g de amostras e 30 mL de solução aquosa etanólica acidificada (60% v/v) em banho de ultrassom por 2 h. As amostras foram centrifugadas a  $3.570 \times g$  por 20 minutos a 4°C. Os sobrenadantes foram filtrados e o TAM foi determinado pelo método diferencial de pH (pH 1,00 e pH 4,50) descrito por LEE et al (2005).

Uma alíquota de 2,00 mL do extrato foi adicionada a 3,00 mL de solução tampão cloreto de potássio (0,025 M/pH 1,00) e 3,00 mL de solução tampão acetato de sódio (0,4 M/pH 4,00). A mistura foi homogeneizada e deixada descansar por 15 minutos. Em seguida, as absorbâncias foram medidas a 530 e 700 nm usando um espectrofotômetro (Multiskan GO, Thermo Scientific, Vantaa, Finlândia). O TAM foi quantificado de acordo com as Equações 01 e 02 e foi expresso em  $\mu\text{g}$  de cianidina 3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$  de amostra.

$$A = [(A_{520 \text{ nm/pH } 1.00} - A_{700 \text{ nm/pH } 1.00}) - (A_{520 \text{ nm/pH } 4.50} - A_{700 \text{ nm/pH } 4.50})] \quad (\text{Equação 01})$$

$$TAM = \left( \frac{A}{\epsilon \times L} \right) \times MM \times 100 \times f_d \quad (\text{Equação 02})$$

Em que: A é a absorbância corrigida pela diferença entre as absorbâncias registradas nas leituras em pH 1,00 e pH 4,50;  $\epsilon$  é o coeficiente de extinção molar da antocianina; L é o comprimento do caminho óptico (1 cm); MM é a massa molecular da antocianina;  $f_d$  é o fator de diluição da amostra; TAM é o teor total de antocianinas.

A cor foi mensurada utilizando-se um colorímetro Konica Minolta Colorimeter cm-2600d (Konica Minolta®, Osaka, Japão). As amostras foram acondicionadas em placas de vidro e os parâmetros CIELab  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram determinados, onde o valor de  $L^*$  varia de 0 (preto) a 100 (branco), a coordenada  $a^*$  representa o vermelho (positivo) para o verde (negativo), e  $b^*$  representa o amarelo (*positivo*) para o azul (negativo). As avaliações dos parâmetros de cor do iogurte foram realizadas aos 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento sob refrigeração a 4°C.

## **2.6. Contagem total de bactérias lácticas viáveis (BL)**

As contagens totais de bactérias lácticas viáveis (BL) foram realizadas nos intervalos de 0, 10, 20 e 30 dias de armazenamento sob refrigeração (4 °C), utilizando a técnica de microgotas (CUNHA JÚNIOR et al., 2021). A partir de diluições seriadas, gotas de 20 µL foram incubadas na superfície de placas contendo ágar MRS (De Man, Rogosa e Sharpe). As placas foram incubadas a  $37 \pm 1$  °C por 72 horas em estufa sem ventilação sob condições anaeróbicas. O resultado foi expresso como logaritmos do número de unidades formadoras de colônias por mL (log UFC mL<sup>-1</sup>).

## **2.7. Capacidade de retenção de água (CRA) e atividade de água (Aa)**

A capacidade de retenção de água foi mensurada (CRA) usando o procedimento descrito por DU et al. (2021), com modificações. 10 g de amostra foram centrifugados por 10 min a  $3.570 \times g$ . A água expelida foi retirada e pesada. CRA foi expressa em % e calculado conforme a Equação 04:

$$CRA(\%) = \left( \frac{\text{peso da amostra} - \text{peso do soro expelido}}{\text{peso da amostra}} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 04})$$

A Aa das amostras de iogurte foi determinada utilizando-se higrômetro digital (Humimeter RH2, St. Ruprecht an der Raab, Áustria).

## **2.8. Microscopia Confocal de Varredura a Laser**

A microestrutura dos iogurtes foi estudada utilizando-se Microscopia Confocal de Varredura a Laser, seguindo a metodologia proposta por Körzendörfer et al (2019), com pequenas modificações. Assim, 500 µL de amostras de iogurte foram corados com 10 µL de solução aquosa de rodamina B (0,2%) e armazenados a 4 °C por 1 h. As amostras coradas foram analisadas em microscópio de fluorescência Imager M.2 Widefield (Zeiss, Jena, Alemanha). Imagens tridimensionais foram obtidas escaneando a amostra em um corte definido ao longo do eixo z.

## **2.9. Textura**

A análise de textura das amostras de iogurte enriquecido foi realizada em um analisador de textura TA - XT2i (Stabla Micro Systems, Godalming, Surrey, UK). 30 g de iogurtes foram transferidos para potes plásticos e deixados em repouso sob refrigeração (4 °C) por 24 horas. A análise do perfil de textura foi realizada utilizando-se

sonda circular (40 mm de diâmetro x 5,7 mm de espessura) e célula de carga de 5 kg. As condições de análise foram velocidade pré-teste: 1,0 mm/s; velocidade de teste: 1,7 mm/s; velocidade pós-teste: 1,7 mm/s; 2 ciclos de penetração; distância percorrida pelo aparelho na amostra: 2 mm; força de contato: 0,049 N; Tempo de contato: 5 s. Os parâmetros obtidos foram dureza, gomosidade e mastigabilidade.

#### **2.10.      *Análise estatística***

Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. As datas foram analisadas por análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo Teste Tukey e considerado nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). A análise estatística foi realizada com o programa Statistic 10.0 (Statsoft®, Tulsa, EUA).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1.      *pH e acidez titulável (AT)***

O pH e a acidez são importantes parâmetros no processamento de iogurte, estando relacionados à sua segurança e aos seus aspectos tecnológicos, além de terem relação intrínseca e direta com as características sensoriais desse produto. Assim, a manutenção do pH e acidez ao longo do armazenamento tornam-se essenciais para a oferta de um produto dentro dos parâmetros de identidade e qualidade esperados para iogurte (AHMAD et al., 2023). O enriquecimento do iogurte com PL não promoveu alterações significativas ( $P < 0.05$ ) em relação ao pH no tempo 0 dias (Tabela 1). Entretanto, ao longo do armazenamento, foram observadas reduções nos valores de pH, indicando que as amostras ficaram mais ácidas ao longo do armazenamento. Essa variação foi mais evidente para a amostra controle, uma vez que a mesma apresentou redução de 0.23, enquanto as amostras enriquecidas (YLP2, YLP4 e YLP6) tiveram variações entre 0.08 e 0.12. As amostras apresentaram valores de pH na faixa de 4.17 a 4.44, permitindo uma barreira natural para a manutenção da qualidade microbiológica do produto, uma vez que valores de pH inferiores a 4.50 são capazes de inibir o desenvolvimento de grande parte dos micro-organismos patogênicos e deteriorantes (AHMAD et al., 2023).

**Tabela 1** – Variação do pH e da acidez do iogurte batido enriquecido e armazenado sob refrigeração (4 °C)

Armazenamento	pH				% de ácido láctico			
	Controle	YLP2	YLP4	YLP6	Controle	YLP2	YLP4	YLP6
<b>0 dias</b>	4,40 <sup>Aa</sup>	± 4,40 <sup>Aa</sup>	± 4,42 <sup>Aa</sup>	± 4,44 <sup>Aa</sup>	0,76 <sup>Aa</sup>	± 0,79 <sup>Ba</sup>	± 0,81 <sup>Aa</sup>	± 0,80 <sup>Ba</sup>
	0,02	0,02	± 0,01	± 0,02	0,05	± 0,02	± 0,03	± 0,01
<b>10 dias</b>	4,40 <sup>Aa</sup>	± 4,37 <sup>ABa</sup>	± 4,37 <sup>Ba</sup>	± 4,44 <sup>ABa</sup>	0,82 <sup>Aa</sup>	± 0,79 <sup>Ba</sup>	± 0,83 <sup>Aa</sup>	± 0,83 <sup>ABa</sup>
	0,02	0,01	± 0,01	± 0,05	0,04	± 0,06	± 0,03	± 0,05
<b>20 dias</b>	4,32 <sup>Bc</sup>	± 4,34 <sup>Bbc</sup>	± 4,37 <sup>Bb</sup>	± 4,40 <sup>Ba</sup>	0,80 <sup>Ab</sup>	± 0,93 <sup>Aa</sup>	± 0,86 <sup>Aab</sup>	± 0,84 <sup>ABb</sup>
	0,01	0,03	± 0,00	± 0,01	0,06	± 0,01	± 0,06	± 0,03
<b>30 dias</b>	4,17 <sup>Cc</sup>	± 4,28 <sup>Cb</sup>	± 4,33 <sup>Ca</sup>	± 4,36 <sup>Ba</sup>	0,93 <sup>Aa</sup>	± 0,96 <sup>Aa</sup>	± 0,88 <sup>Ab</sup>	± 0,88 <sup>Ab</sup>
	0,02	0,03	± 0,02	± 0,02	0,16	± 0,04	± 0,02	± 0,01

<sup>A-C</sup> Letras diferentes na mesma coluna para o mesmo parâmetro indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ );

<sup>a-c</sup> Letras diferentes na mesma linha para o mesmo parâmetro indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ).





Conforme esperado, a variação da acidez, representada pela variação da concentração de ácido láctico, teve comportamento complementar ao pH. Foram observados aumentos significativos ( $P < 0,05$ ) ao longo dos 30 dias de armazenamento (Tabela 1), aumentos estes que estão mais evidentes na amostra controle e YLP2, justificando o fato dessas amostras terem sido aquelas que apresentaram maior variação no pH ao comparar 0 e 30 dias de armazenamento, enquanto a amostra YLP4 não teve variação significativa no teor de ácido láctico ( $P < 0,05$ ) ao longo dos 30 dias de armazenamento e YLP6 teve variação apenas entre 0 dias e os demais tempos de armazenamento (Tabela 1).

Os achados do presente estudo indicam que não houve processo de pós-acidificação de forma evidenciada, indicando que a produção de metabólitos decorrentes do metabolismo dos micro-organismos ocorreu de forma discreta ao longo do armazenamento. Esse cenário é altamente promissor, uma vez que a pós-acidificação pode ser considerada um defeito tecnológico para iogurte, acarretando a rejeição do produto por parte dos consumidores, reduzindo assim, sua vida útil (ANUYAHONG et al., 2020; GHASEMPOUR et al., 2020).

### 3.2. Teor de antocianinas monoméricas totais (TAM) e análise de cor instrumental

A Tabela 2 apresenta os teores de antocianinas e os parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) obtidos das amostras ao longo do armazenamento sob refrigeração a 4 °C.

**Tabela 2** – Teor de antocianinas monoméricas totais (TAM) e cor instrumental (parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) do iogurte batido enriquecido e armazenado sob refrigeração (4 °C) em 0 dias de armazenamento

Tratamento	TAM*	Armazenamento	$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>Controle</b> 	n/a**	0 dias	73,43 <sup>Ba</sup> ± 0,75	-1,01 <sup>Ac</sup> ± 0,03	6,10 <sup>b</sup> ± 0,04
		10 dias	81,86 <sup>Aa</sup> ± 1,85	-1,46 <sup>Bd</sup> ± 0,0	6,72 <sup>a</sup> ± 0,19
		20 dias	72,58 <sup>Ba</sup> ± 2,66	-0,96 <sup>Ac</sup> ± 0,11	6,01 <sup>b</sup> ± 0,26
		30 dias	75,20 <sup>ABa</sup> ± 5,07	-1,11 <sup>Ac</sup> ± 0,11	6,37 <sup>b</sup> ± 0,23
<b>YLP2</b> 	64,47 <sup>C</sup> ± 0,91	0 dias	60,97 <sup>Bb</sup> ± 1,49	8,33 <sup>Ab</sup> ± 0,26	-2,07 <sup>d</sup> ± 0,24
		10 dias	64,35 <sup>Ab</sup> ± 2,35	7,83 <sup>ABc</sup> ± 0,30	-1,02 <sup>c</sup> ± 0,15
		20 dias	64,85 <sup>Ab</sup> ± 2,73	7,34 <sup>Bb</sup> ± 0,36	-0,50 <sup>b</sup> ± 0,11
		30 dias	66,58 <sup>Ab</sup> ± 2,88	7,04 <sup>Bb</sup> ± 0,32	-0,16 <sup>a</sup> ± 0,03
<b>YLP4</b> 	83,58 <sup>B</sup> ± 0,85	0 dias	60,30 <sup>Ab</sup> ± 3,12	11,39 <sup>Aa</sup> ± 0,91	-4,18 <sup>d</sup> ± 0,51
		10 dias	61,55 <sup>Abc</sup> ± 0,59	10,04 <sup>ABb</sup> ± 0,19	-2,60 <sup>c</sup> ± 0,06
		20 dias	60,95 <sup>Ab</sup> ± 2,40	9,30 <sup>BCa</sup> ± 0,46	-1,79 <sup>b</sup> ± 0,29
		30 dias	62,44 <sup>Ab</sup> ± 2,23	8,84 <sup>Ca</sup> ± 0,42	-1,08 <sup>a</sup> ± 0,12
<b>YLP6</b> 	96,44 <sup>A</sup> ± 2,75	0 dias	55,68 <sup>Bc</sup> ± 0,79	11,71 <sup>Aa</sup> ± 0,30	-4,63 <sup>d</sup> ± 0,24
		10 dias	59,27 <sup>Ac</sup> ± 1,08	10,85 <sup>ABa</sup> ± 0,27	-3,24 <sup>c</sup> ± 0,22
		20 dias	57,80 <sup>ABc</sup> ± 0,92	10,20 <sup>BCa</sup> ± 0,27	-2,54 <sup>b</sup> ± 0,21
		30 dias	57,01 <sup>ABc</sup> ± 1,24	9,25 <sup>Ca</sup> ± 0,36	-1,33 <sup>a</sup> ± 0,06

<sup>A-B</sup> Letras diferentes na mesma coluna e para o mesmo tratamento indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ); <sup>a-d</sup> Letras diferentes na mesma coluna e para o mesmo tempo de estocagem indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ). \*Unidade TAM:  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$  de iogurte; \*\* n/a: não aplicável

As amostras enriquecidas (YLP2, YLP4 e YLP6) diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ) da amostra controle para todos os parâmetros analisados no ensaio de cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) e para foram observadas diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) nos teores de antocianinas entre as amostras de iogurte. A alteração de cor ao longo da estocagem é algo esperado tanto em matrizes lácteas como em alimentos que contenham antocianinas, uma vez que lipídios e compostos fenólicos podem sofrer processos de oxidação, que podem resultar na formação de compostos de coloração escura, bem como

degradar os pigmentos, como a antocianina, promovendo alterações de cor ao longo da estocagem (POPOV-RALJIĆ et al., 2008; ALAPPAT, ALLAPAT, 2020).

Em relação ao parâmetro  $L^*$ , foram observadas reduções de forma inversa ao enriquecimento, ou seja, quanto maior o nível de LP, menor a luminosidade da amostra, indicando que as amostras ficaram mais escuras após a adição de PL ao iogurte (Tabela 2). As amostras apresentaram certa estabilidade em relação ao  $L^*$  ao longo dos 30 dias de armazenamento. Ao comparar a luminosidade entre os tempos de 0 e 30 dias, nenhuma das amostras apresentaram variações significativas ( $P < 0.05$ ).

Conforme apresentado na Tabela 2, YLP2, YLP4 e YLP6 apresentaram colorações rosadas em diferentes tonalidades, corroborando com as leituras observadas para  $a^*$ , uma vez que YLP2, YLP4 e YLP6 apresentaram valores positivos, compreendidos na faixa de 7,00 a 11040, enquanto a amostra controle apresentou valores negativos, entre -0,95 e -1,46, indicando que as amostras enriquecidas apresentaram colorações que tendem ao vermelho (valores positivos para  $a^*$ ). Foram observadas reduções significativas ( $P < 0,05$ ) nas leituras de  $a^*$  para YLP2, YLP4 e YLP6 ao longo do armazenamento sob refrigeração. Porém, ainda que significativa, tais reduções não foram de grande magnitude (Tabela 2).

As colorações observadas no presente estudo supracitados podem ser justificadas pela propriedade de interconversão de cores que as antocianinas possuem, onde são capazes de modificar sua estrutura química de acordo com as características de pH do meio, conferindo uma ampla gama de colorações, com diferentes tonalidades e intensidades. Em valores de pH próximos a 4,50 (Tabela 1), em geral, as antocianinas tendem a apresentar coloração no espectro rosa-lilás (AZZINI et al., 2017). Conforme esperado, houve um aumento gradual no teor de antocianinas proporcional ao aumento do nível de LP, com valores compreendidos na faixa de 64,47 e 96,44  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glucosídeo  $\text{g}^{-1}$  de iogurte, que tem correlação direta com os aumentos significativos ( $P < 0,05$ ) para o parâmetro  $a^*$  quando comparadas a amostra controle.

De forma análoga, o parâmetro  $b^*$  também foi condizente com o teor de antocianinas. A amostra controle apresentou valores positivos, indicando que sua coloração tende ao amarelo, o que pode ser observado na Tabela 2, uma vez que a amostra controle apresentou coloração levemente amarelada. Enquanto YLP2, YLP4 e YLP6

apresentaram valores negativos para esse parâmetro, indicando colorações tendendo ao azul, que, em associação ao parâmetro  $a^*$ , podem induzir colorações levemente roxas. Para a amostra controle, o parâmetro  $b^*$  apresentou estabilidade ao longo do armazenamento, com alterações significativas ( $P < 0,05$ ) apenas em 10 dias de armazenamento. Enquanto as amostras enriquecidas apresentaram-se instáveis para esse parâmetro, com elevações estatisticamente significativas ( $P < 0,05$ ) ao longo dos 30 dias de armazenamento (Tabela 2).

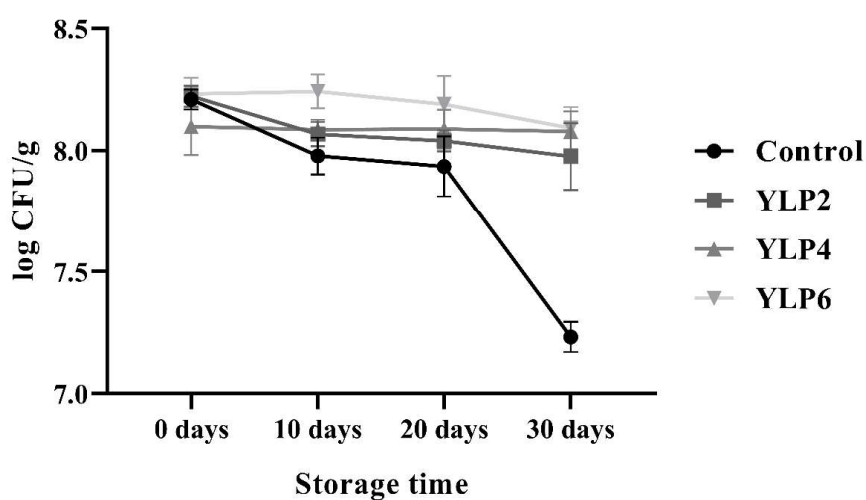
O conteúdo de antocianinas encontrados no presente estudo foram superiores aos relatados por outros autores que suplementaram iogurtes com matrizes e extratos contendo antocianinas. Pinto et al. (2023) obtiveram teores entre 1,03 e 5,87  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$  em iogurte enriquecidos com bagaço de jabuticaba. Enquanto Anuyahong et al. (2020) obtiveram teores entre 28,8 e 93,8  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$  ao adicionar extratos de arroz tailandês vermelho a iogurtes batidos. Já Du et al. (2021) observou teores entre 23,29 e 79,09  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$  no tempo 0 dias de armazenamento de iogurtes com bagaço de amora. Um fato curioso sobre este estudo é que os autores relataram o aumento da concentração de antocianinas após 28 dias de armazenamento, registrando teores entre 131,43 e 309,67  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$  aos níveis de 1% e 3% de bagaço de amora, respectivamente. Tal comportamento não foi relatado em outros estudos com tamanha magnitude. Jaster et al. (2018) enriqueceu iogurte com polpa de morango, reconhecida fonte de antocianinas e obtiveram teores entre 18,60 e 29,90  $\mu\text{g}$  cianidina-3-glicosídeo  $\text{g}^{-1}$ .

Além de se apresentarem com teores satisfatórios nos iogurtes enriquecidos e conferirem cor, outros aspectos tecnológicos das antocianinas de BDPR já relatados na literatura científica podem estimular ainda mais a utilização de PL com ingrediente alimentício. Em um estudo realizado por Tsukui et al. (1999), as antocianinas presentes na BDPR são mais estáveis frente ao aquecimento, irradiação da luz UV que as presentes em outros vegetais, como maçã, repolho, morango, em decorrência do alto grau de acilação. Em complementação, Oliveira et al. (2019), as antocianinas presentes na BDPR têm maior resistência frente às condições do trato gastrointestinal, quando comparadas a antocianinas menos complexas, como as antocianinas presentes no vinho tinto. Essas características propiciam e tornam vantajosa a utilização da BDPR como fonte de ingredientes alimentícios naturais.



### 3.3. Contagem total de bactérias lácticas viáveis (BL)

A adição de PL promoveu uma maior estabilidade na viabilidade total das bactérias ácido-láticas (BL) ao longo dos 30 dias de armazenamento (Figura 1). Todas as amostras apresentaram contagens superiores a 7,00 log UFC/g. Entretanto, ao comparar as amostras entre si, é possível observar que a amostra controle apresentou menores contagens, além de ter apresentado uma variação mais evidenciada ao longo do armazenamento (Figura 1).



**Figura 1** – Contagem total de bactérias lácticas viáveis (LAB) do iogurte batido enriquecido com pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que os compostos presentes em PL promoveram a manutenção do *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*. Outros autores também observaram e relataram tal manutenção decorrente do enriquecimento de produtos lácteos com ingredientes de matrizes vegetais. Dantas et al. (2022) enriqueceram iogurte com farinha de xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) aos níveis de 1% e 2% e observaram maiores contagens de *Lactobacillus bulgaricus* e *Limosilactobacillus mucosae* ao longo de 28 dias de armazenamento, quando comparadas a amostra controle. Em iogurtes enriquecidos com extratos de espiguetas de tamareira (*Phoenix dactylifera* L.), Almusallam et al. (2021) observaram reduções nas contagens de BL no iogurte controle a partir de 14 dias de armazenamento, enquanto as amostras enriquecidas mostraram estabilidade ao longo dos 21 dias de armazenamento, similar ao presente estudo. Azevedo et al. (2018) estudaram leites fermentados adicionados de extratos de bagaços de uva e obtiveram maiores contagens nas amostras suplementadas

quando comparadas ao controle. Vale destacar que esse último estudo também utilizou uma matriz rica em antocianinas como no presente estudo.

### 3.4. Capacidade de retenção de água (CRA) e atividade de água (Aa)

A sinérese é um dos principais defeitos tecnológicos em iogurtes e caracterizada pela expulsão do soro pelo coágulo. Sua fundamentação está no equilíbrio entre as forças de atração e repulsão na rede de proteínas, em especial, pela caseína, formada no processo fermentativo do iogurte. Tal aspecto é um importante parâmetro de qualidade, que tem relação direta com a aceitação do produto (ANUYAHONG et al., 2020). Uma das formas de mensurar a sinérese é através da quantificação física da capacidade de retenção de água, uma vez que iogurtes com maior capacidade de retenção de água tem menor sinérese.

YLP2, YLP4 e YLP6 diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ) da amostra controle durante todo o armazenamento (30 dias), onde foi observado aumento significativo ( $P < 0,05$ ) da capacidade de retenção de água (CRA) após o enriquecimento do iogurte com PL (Tabela 3), propiciando uma menor sinérese.

**Tabela 3** – Capacidade de retenção de água (CRA) e atividade de água (Aa) de iogurte batido enriquecido com pó de batata-doce (LP) liofilizado de polpa roxa

Parâmetro	Tempo de estocagem	Controle	YLP2	YLP4	YLP6
CRA (%)	0 dias	49.13 <sup>Da</sup> ± 3.22	52.93 <sup>Ca</sup> ± 0.17	65.50 <sup>Ba</sup> ± 0.06	69.80 <sup>Aa</sup> ± 1.38
	10 dias	48.21 <sup>Da</sup> ± 0.34	51.18 <sup>Ca</sup> ± 1.04	57.12 <sup>Bb</sup> ± 1.35	61.36 <sup>Ab</sup> ± 0.74
	20 dias	47.76 <sup>Da</sup> ± 1.36	50.66 <sup>Cb</sup> ± 0.37	56.16 <sup>Bb</sup> ± 2.16	60.49 <sup>Ab</sup> ± 1.39
	30 dias	45.51 <sup>Da</sup> ± 1.37	49.88 <sup>Cab</sup> ± 2.63	54.97 <sup>Ab</sup> ± 0.57	60.95 <sup>Ab</sup> ± 6.70
Aa*	0 dias	0.927 <sup>A</sup> ± 0.001	0.919 <sup>B</sup> ± 0.002	0.909 <sup>C</sup> ± 0.001	0.885 <sup>D</sup> ± 0.005

<sup>A-B</sup> Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ); <sup>a-d</sup> Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ( $P < 0,05$ ); \*ensaio realizado somente no tempo de 0 dias.

Além disso, é possível observar que quanto maior o nível de enriquecimento, maior foi CRA, indicando que o enriquecimento com PL promoveu uma melhoria tecnológica no iogurte, de forma mais evidenciada nas amostras YLP4 e YLP6, que, quando comparadas à amostra padrão, apresentaram um aumento da CRA em níveis próximos a 15 e 19% no tempo 0 dias e 10 e 15% em 30 dias de armazenamento, respectivamente (Tabela 3). A amostra controle não apresentou variação significativa ( $P < 0,05$ ) ao longo dos 30 dias de armazenamento, enquanto YLP2, YLP4 e YLP6 apresentaram estabilidade a partir dos 10 dias de armazenamento, diferindo apenas o tempo 0 dias dos demais tempos de armazenamento (10, 20 e 30 dias).

O enriquecimento com PL promoveu um aumento no conteúdo de sólidos totais, modificando a estrutura física e química do iogurte, caracterizada pelo aumento da capacidade de retenção de água. Tais achados estão em concordância com outros estudos relacionados ao enriquecimento de iogurte com diferentes matrizes. Chen et al. (2023) adicionaram fibra da okara ao iogurte e observaram aumentos na capacidade de retenção de água. Os autores observaram valores superiores a 80% nas suplementações aos níveis de 0,75, 1,00, e 2,00%. Em iogurtes enriquecidos com extratos de arroz tailandês vermelho, Anuyahong et al. (2020) observaram redução discreta na sinérese. Du et al. (2021) também observaram menor perda de soro ao longo da estocagem em iogurtes enriquecidos com bagaço de amora, porém de forma menos evidenciada, com valor máximo de 44%, enquanto o presente estudo obteve valores de CRA superiores a 69%.

O aumento de CRA após o enriquecimento do iogurte tem como principal fundamentação o amido presente em LP, uma vez que esse polímero é um dos principais constituintes da BDPR. O amido é importante carboidrato, com diversas funções tecnológicas para a indústria de alimentos, tais como capacidade emulsificante, estabilizante, espessante (BANGAR et al., 2022). Além disso, esse polímero tem capacidade de retenção de água, que pode promover maiores interações entre as proteínas presentes no leite, tornando a rede mais firme, menos reticulada e com maior estruturação (JIA et al., 2022). Além disso, polifenóis presente em PL tem capacidade de formar complexos solúveis com a molécula de caseína, promovendo uma maior interação hidrofóbica, com a associação de pontes de hidrogênio, minimizando assim a sinérese (ANUYAHONG et al., 2020).

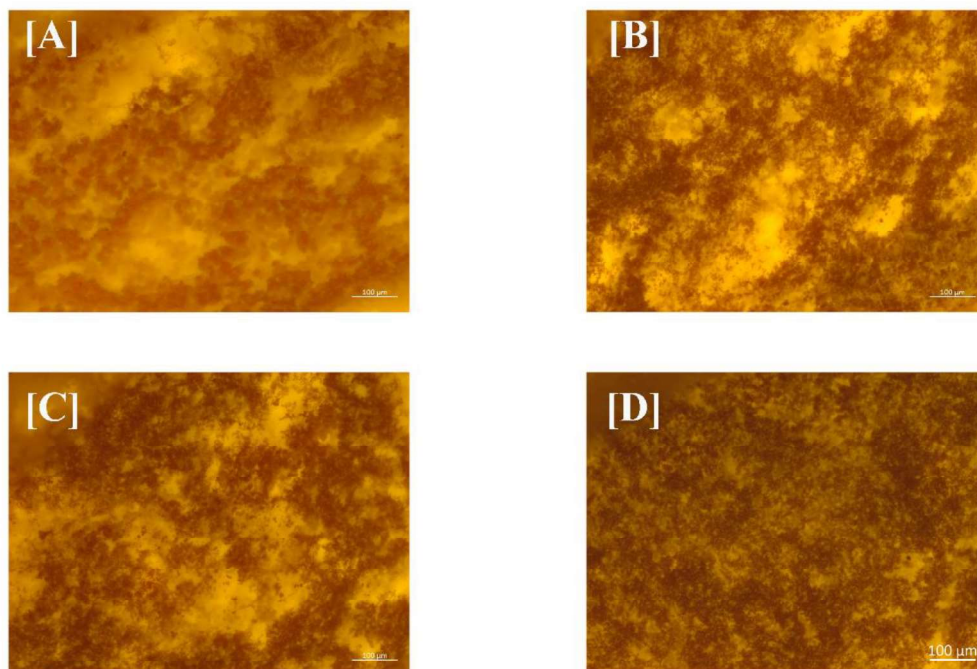
A atividade de água (Aa) das amostras de iogurte apresentou valores entre 0,885 e 0,927. Todas as amostras diferiram estatisticamente entre si ( $P < 0.05$ ). Conforme esperado, as leituras de atividade de água foram inversamente proporcionais aos níveis de enriquecimento (Tabela 3). Ao adicionar PL ao iogurte, ocorreu o aumento no teor de sólidos totais, reduzindo a Aa devido às novas interações entre os componentes presentes no PL e a água presente no iogurte, em especial, pela ação do amido que, conforme descrito anteriormente, é um polímero com capacidade de expansão e retenção de água (HE et al., 2019; JIA et al., 2022).

Tais resultados são de grande importância no que se refere à estabilidade microbiológica, uma vez que, com a redução da Aa observada com a adição de LP,

associada às demais características do iogurte, como armazenamento sob refrigeração, pH e acidez, pode promover o aumento da vida útil desse produto. Segundo Jay (1998), a redução da Aa para valores inferiores ao valor ótimo para o metabolismo microbiano pode propiciar um aumento da fase lag de crescimento, além de possibilitar a redução da taxa de crescimento, bem como da densidade da população final. O autor ainda afirma que a redução da Aa também pode trazer outras influências adversas no metabolismo de micro-organismos patogênicos e deteriorantes, uma vez que, a nível celular, todas as reações químicas requerem um ambiente aquoso.

### ***3.5. Microscopia Confocal de Varredura a Laser***

Fotomicrografias indicam que todas as amostras de iogurte apresentaram uma estrutura de rede relativamente uniforme e porosa (Figura 2). É possível observar que há diferenças visuais entre as estruturas dos diferentes tratamentos. A adição de PL reduziu, de forma evidente, os espaços porosos presentes no iogurte, promovendo um iogurte mais denso, com microestrutura mais uniforme e organizada, além de promover maior agregação proteica (zonas amareladas), e esse comportamento se tornou cada vez mais evidente com o aumento no nível de enriquecimento.



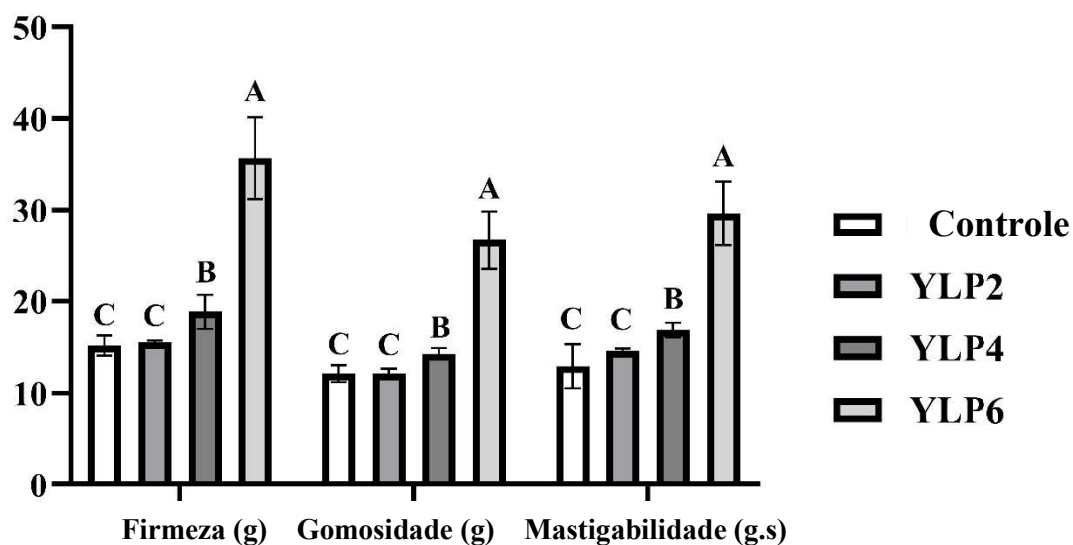
**Figura 2** – Fotomicrografias confocais de varredura a laser de iogurte batido enriquecido com pó de batata-doce (LP) liofilizado de polpa roxa: [A] Controle, [B] YLP2, [C] YLP4 e [D] YLP6 em 0 dias de armazenamento

As fotomicrografias confocais de varredura a laser de iogurte batido enriquecido com pó de batata-doce liofilizado de polpa roxa corroboraram com os resultados de outras propriedades avaliadas no presente estudo (capacidade de retenção de água, textura e atividade de água). A partir das fotomicrografias obtidas foi possível visualizar a melhoria na rede proteica, com aumento da reticulação proporcional ao nível de PL, onde, quanto maior o nível de LP, maior a reticulação da rede de gel das proteínas, o que evidenciou no aumento da capacidade de retenção de água, iogurtes mais firmes e cremosos, além de reduzir a água disponível (que promoveu diminuições na atividade de água).

Outros autores também observaram melhorias na microestrutura de iogurte mediante à adição de pós de diferentes vegetais. Du et al. (2021) relataram estruturas mais reticuladas e redes mais uniformes ao estudarem iogurte adicionado de bagaço de amora a níveis de 1, 2 e 3%. Os autores também correlacionaram as modificações na microestrutura do iogurte a melhorias na capacidade de retenção de água. Wu et al. (2023) também observaram que o iogurte sem nenhum tipo de enriquecimento é composto com agregados proteicos com zonas vazias/livres e observaram que, ao suplementar o iogurte com farelo de arroz acarretou uma rede mais compacta, com redução das zonas livres. Segundo os autores, tais mudanças na microestrutura podem acarretar um menor rearranjo durante o armazenamento, reduzindo a sinérese. O mesmo foi observado no presente estudo, uma vez que as amostras enriquecidas com PL apresentaram maior capacidade de água quando comparadas à amostra controle (Tabela 3), evidenciando o importante papel tecnológico do amido no processamento de iogurtes, uma vez que o farelo de arroz, assim como a BDPR, apresentam amido em sua composição. Assim, verificou-se que PL aumenta a estabilidade e uniformidade do iogurte, minimizando possíveis falhas tecnológicas do produto.

### **3.6. *Análise de Textura***

Quando comparadas à amostra padrão, a adição de PL ao iogurte promoveu alterações significativas ( $P < 0,05$ ) em relação ao perfil de textura apenas para os níveis 4 e 6% (YPL4 e YLP6), onde foram observados aumentos nos três parâmetros analisados – firmeza, gomosidade e mastigabilidade (Figura 3).



**Figura 3** – Perfil de textura [Firmeza, Gomosidade e Mastigabilidade] de iogurte batido enriquecido com pó de batata-doce (LP) liofilizado de polpa roxa nas concentrações de 0%, 2% e 4% em 0 dias de armazenamento

Segundo ANUYAHONG et al. (2020), a textura é um importante parâmetro de qualidade para iogurte. Os resultados obtidos indicam que YLP4 e YLP6 são iogurtes mais firmes e apresentam maior viscosidade e maior cremosidade. Tais alterações são decorrentes do aumento do sólidos totais e surgimento de novas interações propiciadas pela adição de PL, em especial, pela atuação do amido. HE et al. (2019) citam que o amido pode promover melhorias na textura de iogurte, em especial, pelo incremento na viscosidade. De acordo com JIA et al. (2022), a produção de iogurtes mais firmes pela adição de fontes amiláceas são decorrentes na propriedade de expansão do amido, que podem desempenhar um importante aspecto tecnológico na textura do iogurte.

De forma geral, o enriquecimento com matrizes contendo polissacarídeos promove alterações positivas no perfil de textura do iogurte. Wang et al. (2019) obtiveram iogurte mais firmes e mais consistentes após a adição de bagaço de maçã. Cota-López et al. (2023) avaliaram o efeito da adição de amidos retrógrados com diferentes teores de amilose em iogurte grego e relataram a obtenção de iogurtes mais consistentes e mais firmes. Enquanto Meena et al. (2022) descreveram aumento da firmeza e da consistência de iogurtes adicionado de bagaço de abacaxi em níveis mínimos (0,1, 0,25 e 0,5%). Portanto, a melhoria no perfil de textura do iogurte pelo enriquecimento como PL é altamente promissor, uma vez que foi possível obter iogurtes mais firmes e cremosos sem o uso de aditivos alimentares sintéticos, como espessantes e emulsificantes, seguindo as

tendências de mercado e consumo, como o movimento *clean label*, que propõe a não-utilização ou utilização mínima de ingredientes sintéticos (ROOBAB et al., 2021).

#### 4. CONCLUSÃO

PL conseguiu desempenhar melhorias nas propriedades tecnológicas do iogurte batido. A adição de PL permitiu a promoção de colorações rosadas de diferentes tonalidades, com baixa variação ao longo do armazenamento, além de apresentarem maior capacidade de retenção de água e menor atividade de água.

Ademais, aos níveis de 4% e 6%, os iogurtes apresentaram maior firmeza e cremosidade, e não foi observada pós-acidificação ao longo do armazenamento em nenhum dos tratamentos, aspectos de grande interesse para a manutenção da qualidade do iogurte. Houve o aumento da capacidade bioativa pela presença de antocianinas e PL promoveu iogurtes com redes mais reticuladas, estruturadas, compactas e com menos zonas vazias, promovendo um iogurte estável.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) e Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado. AUIP pela concessão da bolsa de estudos, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Brasil (FAPERJ) pelo apoio financeiro (processo n. E-26/ 210.112/2021 –259048), Sacco Brasil® pela doação de cultura para produção de iogurte, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Brasil (PPGCTA – UFRRJ), Pró-Reitoria de Pós-Graduação –Brasil (PROPPG –UFRRJ), FCT/MEC pelo apoio financeiro à Unidade de investigação LAQV-REQUIMTE (FCT UIDB/50006/2021), através de fundos nacionais e quando aplicável cofinanciado pelo FEDER, no âmbito do Acordo de Parceria PT2020 , Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Brasil (UFRRJ), e Universidade de Aveiro (UA). Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) –Código de Financiamento 001.

#### 6. REFERÊNCIAS

AHMAD, I.; XIONG, Z.; XIONG, H.; AADIL, R. M.; KHALID, N.; LAKHOO, A. B. J.; ZIA-UD-DIN; NAWAZ, A.; WALAYAT, N.; KHAN, R. S. Physicochemical, rheological and antioxidant profiling of yogurt prepared from non-enzymatically and enzymatically hydrolyzed potato powder under refrigeration. **Food Science and Human**

**Wellness**, v. 12, n. 1, p. 69–78, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.024>

ALAM, M. K. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. **Trends in Food Science and Technology**, v. 115, n. April, p. 512–529, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.001>

ALAPPAT, B.; ALAPPAT, J. Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. **Molecules**, v. 25, n. 23, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>

ALMUSALLAM, I. A.; MOHAMED AHMED, I. A.; BABIKER, E. E.; AL-JUHAIMI, F. Y.; SALEH, A.; QASEM, A. A.; AL MAIMAN, S.; OSMAN, M. A.; GHAFOR, K.; HAJJI, H. A.; AL-SHAWAKER, A. S. Effect of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) spikelets extract on the physicochemical and microbial properties of set-type yogurt during cold storage. **Lwt**, v. 148, n. April, p. 111762, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111762>

ANUYAHONG, T.; CHUSAK, C.; ADISAKWATTANA, S. Incorporation of anthocyanin-rich riceberry rice in yogurts: Effect on physicochemical properties, antioxidant activity and in vitro gastrointestinal digestion. **Lwt**, v. 129, n. May, p. 109571, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109571>

AZEVEDO, P. O. de SOUZA de; ALIAKBARIAN, B.; CASAZZA, A. A.; LEBLANC, J. G.; PEREGO, P.; OLIVEIRA, R. P. de Souza. Production of fermented skim milk supplemented with different grape pomace extracts: Effect on viability and acidification performance of probiotic cultures. **PharmaNutrition**, v. 6, n. 2, p. 64–68, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2018.03.001>

AZZINI, E.; GIACOMETTI, J.; RUSSO, G. L. Antiobesity Effects of Anthocyanins in Preclinical and Clinical Studies. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2017, n. ii, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2740364>

BAGLIO, E. **The Industry of Yoghurt: Formulations and Food Additives**. In: Chemistry and Technology of Yoghurt Fermentation. SpringerBriefs in Molecular Science (). Springer, Cham, p. 33–57, 2014. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07377-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07377-4_3)

BANGAR, S. P.; WHITESIDE, W. S.; SINGH, A.; ÖZOGUL, F.; GUPTA, A.; GAHLAWAT, S. K. Properties, preparation methods, and application of sour starches in the food. **Trends in Food Science and Technology**, v. 121, n. December 2021, p. 44–58, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.029>

CASAROTTI, S. N.; CARNEIRO, B. M.; PENNA, A. L. B. Evaluation of the effect of supplementing fermented milk with quinoa flour on probiotic activity. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 10, p. 6027–6035, 2014. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8197>

CHEN, B.; ZHAO, X.; CAI, Y.; JING, X.; ZHAO, M.; ZHAO, Q.; VAN DER MEEREN, P. Incorporation of modified okara-derived insoluble soybean fiber into set-type yogurt: Structural architecture, rheological properties and moisture stability. **Food Hydrocolloids**, v. 137, n. December 2022, p. 108413, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108413>

COTA-LÓPEZ, R.; VELAZQUEZ, G.; MÉNDEZ-MONTEALVO, G.; PÉREZ-RAMÍREZ, I. F.; MURÚA-PAGOLA, B.; ESPINOZA-MELLADO, R.; HERNÁNDEZ-GAMA, R. Effect of adding high concentrations of retrograded starch with different



amylose content on the physicochemical properties and sensory attributes of Greek-style yogurt. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 241, n. October 2022, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124501>

CUNHA JÚNIOR, P. C. da; OLIVEIRA, L. de S. de; GOUVÊA, L. de P.; ALCANTARA, M. de; ROSENTHAL, A.; FERREIRA, E. H. da R. Symbiotic drink based on brazil nuts (*Bertholletia excelsa* h.b.k): Production, characterization, probiotic viability and sensory acceptance. **Ciencia Rural**, v. 51, n. 2, p. 1–14, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200361>

DANTAS, D. L. da S. *et al.* *Pilosocereus gounellei* (xique-xique) flour: Improving the nutritional, bioactive, and technological properties of probiotic goat-milk yogurt. **Lwt**, v. 158, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113165>

DIEZ-GUTIÉRREZ, L.; SAN VICENTE, L.; LUIS, L. J.; VILLARÁN, M. del C.; CHÁVARRI, M. Gamma-aminobutyric acid and probiotics: Multiple health benefits and their future in the global functional food and nutraceuticals market. **Journal of Functional Foods**, v. 64, n. August 2019, p. 103669, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103669>

DU, H.; YANG, H.; WANG, X.; ZHU, F.; TANG, D.; CHENG, J.; LIU, X. Effects of mulberry pomace on physicochemical and textural properties of stirred-type flavored yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 12, p. 12403–12414, 2021. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20037>

ESPITIA, P. J. P.; BATISTA, R. A.; AZEREDO, H. M. C.; OTONI, C. G. Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. **Food Research International**, v. 90, p. 42–52, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.026>

GHASEMPOUR, Z.; JAVANMARD, N.; MOJADDAR LANGROODI, A.; ALIZADEH-SANI, M.; EHSANI, A.; MOGHADDAS KIA, E. Development of probiotic yogurt containing red beet extract and basil seed gum; techno-functional, microbial and sensorial characterization. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 29, n. April, p. 101785, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101785>

HE, J.; HAN, Y.; LIU, M.; WANG, Y.; YANG, Y.; YANG, X. Effect of 2 types of resistant starches on the quality of yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 5, p. 3956–3964, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15562>

INDIRA, M.; VENKATESWARULU, T. C.; ABRAHAM PEELE, K.; NAZNEEN BOBBY, M.; KRUPANIDHI, S. Bioactive molecules of probiotic bacteria and their mechanism of action: a review. **3 Biotech**, v. 9, n. 8, p. 1–11, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1841-2>

JAY, J. M. Intrinsic and Extrinsic Parameters of Foods That Affect Microbial Growth. **Modern Food Microbiology**, p. 38–62, 1998. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-6480-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-011-6480-1_3)

JASTER, H.; AREND, G. D.; REZZADORI, K.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; PETRUS, J. C. C. Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. **Food Research International**, v. 104, n. July 2017, p. 119–125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.006>

- JIA, S.; ZHAO, H.; TAO, H.; YU, B.; LIU, P.; CUI, B. Influence of corn resistant starches type III on the rheology, structure, and viable counts of set yogurt. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 203, n. 3501, p. 10–18, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.027>
- KERDUDO, A.; BURGER, P.; MERCK, F.; DINGAS, A.; ROLLAND, Y.; MICHEL, T.; FERNANDEZ, X. Développement d'un ingrédient naturel: Étude de cas d'un conservateur naturel. **Comptes Rendus Chimie**, v. 19, n. 9, p. 1077–1089, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.06.004>
- KOBAYASHI, M.; OKI, T.; MASUDA, M.; NAGAI, S.; FUKUI, K.; MATSUGANO, K.; SUDA, I. Hypotensive Effect of Anthocyanin-rich Extract from Purple-fleshed Sweet Potato Cultivar "Ayamurasaki" in Spontaneously Hypertensive Rats. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 52, p. 41–44, 2005. <https://doi.org/10.3136/nskkk.52.41>
- KÖRZENDÖRFER, A.; SCHÄFER, J.; HINRICHS, J.; NÖBEL, S. Power ultrasound as a tool to improve the processability of protein-enriched fermented milk gels for Greek yogurt manufacture. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 9, p. 7826–7837, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16541>
- LEE, J.; DURST, R. W.; WROLSTAD, R. E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 5, p. 1269–1278, 2005. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- MANTZOURANI, C.; BATSIKA, C. S.; KOKOTOU, M. G.; KOKOTOS, G. Free fatty acid profiling of Greek yogurt by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry (LC-HRMS) analysis. **Food Research International**, v. 160, n. July, p. 111751, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111751>
- MATSUI, T.; EBUCHI, S.; KOBAYASHI, M.; FUKUI, K.; SUGITA, K.; TERAHARA, N.; MATSUMOTO, K. Anti-hyperglycemic effect of diacylated anthocyanin derived from Ipomoea batatas cultivar ayamurasaki can be achieved through the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory action. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 25, p. 7244–7248, 2002. <https://doi.org/10.1021/jf025913m>
- MEENA, L.; NEOG, R.; YASHINI, M.; SUNIL, C. K. Pineapple pomace powder (freeze-dried): Effect on the texture and rheological properties of set-type yogurt. **Food Chemistry Advances**, v. 1, n. May, p. 100101, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100101>
- MIYAZAKI, K.; MAKINO, K.; IWADATE, E.; DEGUCHI, Y.; ISHIKAWA, F. Anthocyanins from purple sweet potato Ipomoea batatas cultivar Ayamurasaki suppress the development of atherosclerotic lesions and both enhancements of oxidative stress and soluble vascular cell adhesion molecule<sup>-1</sup> in apolipoprotein E-deficient mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11485–11492, 2008. <https://doi.org/10.1021/jf801876n>
- MOTA, M. J.; LOPES, R. P.; DELGADILLO, I.; SARAIVA, J. A. Probiotic yogurt production under high pressure and the possible use of pressure as an on/off switch to stop/start fermentation. **Process Biochemistry**, v. 50, n. 6, p. 906–911, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.03.016>

- OLIVEIRA, H.; PEREZ-GREGÓRIO, R.; FREITAS, V. DE; MATEUS, N.; FERNANDES, I. Comparison of the in vitro gastrointestinal bioavailability of acylated and non-acylated anthocyanins: Purple-fleshed sweet potato vs red wine. **Food Chemistry**, v. 276, p. 410–418, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.159>
- OSORIO-ARIAS, J.; PÉREZ-MARTÍNEZ, A.; VEGA-CASTRO, O.; MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S. I. Rheological, texture, structural, and functional properties of Greek-style yogurt fortified with cheese whey-spent coffee ground powder. **Lwt**, v. 129, n. February, p. 109523, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109523>
- PINTO, K. R. D.; TULINI, F. L.; GUIMARÃES, J. das G. L.; MORAES, I. C. F.; DITCHFIELD, C.; LIMA, C. G. de; SILVA, V. L. dos S.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Production and Evaluation of Yogurt Colored with Anthocyanin-Rich Pigment Prepared from Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) Skin. **Processes**, v. 11, n. 2, 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11020526>
- POPOV-RALJIĆ, J. V.; LAKIĆ, N. S.; LALIČIĆ-PETRONIJEVIĆ, J. G.; BARAC, M. B.; SIKIMIĆ, V. M. Color changes of UHT milk during storage. **Sensors**, v. 8, n. 9, p. 5961–5974, 2008. <https://doi.org/10.3390/s8095961>
- ROOBAB, U.; KHAN, A. W.; LORENZO, J. M.; ARSHAD, R. N.; CHEN, B. R.; ZENG, X. A.; BEKHIT, A. E. D.; SULEMAN, R.; AADIL, R. M. A systematic review of clean-label alternatives to synthetic additives in raw and processed meat with a special emphasis on high-pressure processing (2018–2021). **Food Research International**, v. 150, n. PA, p. 110792, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110792>
- SILVA, F. A.; QUEIROGA, R. de C. R. do E.; DE SOUZA, E. L.; VOSS, G. B.; BORGES, G. da S. C.; LIMA, M. dos S.; PINTADO, M. M. E.; VASCONCELOS, M. A. da S. Incorporation of phenolic-rich ingredients from integral valorization of Isabel grape improves the nutritional, functional and sensory characteristics of probiotic goat milk yogurt. **Food Chemistry**, v. 369, n. August 2021, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130957>
- SUGATA, M.; LIN, C. Y.; SHIH, Y. C. Anti-Inflammatory and Anticancer Activities of Taiwanese Purple-Fleshed Sweet Potatoes (*Ipomoea batatas* L. Lam) Extracts. **BioMed Research International**, v. 2015, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/768093>
- TANAKA, M.; ISHIGURO, K.; OKI, T.; OKUNO, S. Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. **Breeding Science**, v. 67, n. 1, p. 52–61, 2017. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.16125>
- TERPOU, A.; PAPADAKI, A.; LAPPA, I. K.; KACHRIMANIDOU, V.; BOSNEA, L. A.; KOPSAHELIS, N. Probiotics in food systems: significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. **Nutrients**, v. 11, n. 7, 2019. <https://doi.org/10.3390/nu11071591>
- TSUKUI, A.; SUZUKI, A.; KOMAMAKI, K.; TERAHARA, N.; YAMAKAWA, O.; HAYASHI, K. Stability and Composition Ratio of Anthocyanin Pigments from *Ipomoea batatas* Poir. **The Japanese Society for Food Science and Technology**, v. 46, n. 3, p. 148–154, 1999. <https://doi.org/10.3136/nskkk.46.148>
- WANG, L.; ZHAO, Y.; ZHOU, Q.; LUO, C. L.; DENG, A. P.; ZHANG, Z. C.; ZHANG, J. L. Characterization and hepatoprotective activity of anthocyanins from purple sweet

potato (Ipomoea batatas L. cultivar Eshu No. 8). **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 25, n. 3, p. 607–618, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.009>

WANG, X.; KRISTO, E.; LAPOINTE, G. The effect of apple pomace on the texture, rheology and microstructure of set type yogurt. **Food Hydrocolloids**, v. 91, p. 83–91, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.01.004>

WANG, X.; KRISTO, E.; LAPOINTE, G. Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. **Food Hydrocolloids**, v. 100, n. July 2019, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>

WU, T.; DENG, C.; LUO, S.; LIU, C.; HU, X. Effect of rice bran on properties of yogurt: Comparison between addition of bran before fermentation and after fermentation. **Food Hydrocolloids**, v. 135, n. August 2022, p. 108122, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108122>

ZENDEBOODI, F.; KHORSHIDIAN, N.; MORTAZAVIAN, A. M.; DA CRUZ, A. G. Probiotic: conceptualization from a new approach. **Current Opinion in Food Science**, v. 32, p. 103–123, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.009>

## 9. CONCLUSÃO GERAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

O tratamento com ácido ascórbico se mostrou favorável para alteração da cor das antocianinas da batata-doce de polpa roxa. Todavia, ainda que a exploração da capacidade de interconversão de cores das antocianinas tenha sido possível antes da aplicação em um produto, o tratamento com ácido ascórbico ocasionou alterações indesejáveis no iogurte, indicando que os pós com modulação das antocianinas tem aplicação limitadas para esse produto. Frente aos resultados positivos das propriedades tecnológicas dos pós, acredita-se que sua aplicação deva ser estudada futuramente, utilizando alimentos com outras características físico-químicas.

Ainda que sejam necessários estudos para avaliar a aceitação sensorial do produto pelo consumidor, os achados dos estudos realizados são promissores. A batata-doce de polpa roxa pode ser considerada uma matéria-prima para a obtenção de ingredientes alimentícios. Pó de batata-doce de polpa roxa pode ser utilizado como ingrediente multifuncional a fim de promover melhorias tecnológicas sem a utilização de aditivos sintéticos, podendo desempenhar funções como corante natural, estabilizante, emulsificante e espessante para iogurte tipo Grego e iogurte batido, atendendo as premissas do movimento *clean label* e outras demandas de mercado. Redução da sinérese, aumento da capacidade de retenção de água, conferência de cor, aumento da

,firmeza e aumento da ,viscosidade foram algumas das vantagens elucidadas nos capítulos desta tese.

A utilização de uma matéria-prima oriunda de uma unidade de produção familiar do município de Seropédica evidencia uma alternativa futura para o desenvolvimento local e econômico, podendo vir a estimular a economia circular e escoamento de produção.

Como perspectivas futuras, pretende-se avaliar sensorialmente os produtos enriquecidos e propor o enriquecimento de outros produtos utilizando o pó liofilizado de batata-doce de polpa roxa (produtos lácteos e não-lácteos).