

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELLY RIBEIRO CARNEIRO

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE CASCA E POLPA DE *Dioscorea
bulbifera* L.

JANDAIA DO SUL

2021

GABRIELLY RIBEIRO CARNEIRO

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE CASCA E POLPA DE *Dioscorea
bulbifera* L.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos, Campus Avançado em Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Leomara Floriano Ribeiro

JANDAIA DO SUL

2021

C289e Carneiro, Gabrielly Ribeiro
Extração de compostos bioativos de casca e polpa de *Dioscorea bulbifera* L. / Gabrielly Ribeiro Carneiro. – Jandaia do Sul, 2021.
33 f.

Orientadora: Profa. Dra. Leomara Floriano Ribeiro
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia de Alimentos.

1. Cará-moela. 2. Tubérculo. 3. PANC. 4. Capacidade antioxidante. I. Ribeiro, Leomara Floriano. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PARECER Nº 12/2021/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.038658/2021-59
INTERESSADO: UFPR/R/JA/CCEAL - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - JANDAIA

TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIELLY RIBEIRO CARNEIRO

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE CASCA E POLPA DE *Dioscorea bulbifera* L.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná, aprovado pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Profª. Dra. Leomara Floriano Ribeiro
Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Prof. Dr. Osvaldo Guedes Filho
Curso de Engenharia Agrícola, UFPR

Profª. Dra. Luana Carolina Bosmuler Züge
Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Jandaia do Sul, 05 de agosto de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **LUANA CAROLINA BOSMULER ZUGE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/08/2021, às 15:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LEOMARA FLORIANO RIBEIRO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/08/2021, às 15:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **OSVALDO GUEDES FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/08/2021, às 15:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **3701216** e o código CRC **53085514**.

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE CASCA E POLPA DE *Dioscorea bulbifera* L.

Gabrielly Ribeiro Carneiro, Leomara Floriano Ribeiro

RESUMO

O cará-moela (*Dioscorea bulbifera* L.) é um tubérculo aéreo comestível pouco explorado, pertencente ao grupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC), mas que pode apresentar características nutricionais e ter aplicações em produtos nutracêuticos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo extrair compostos bioativos da casca e da polpa de cará-moela por meio da combinação das técnicas de ultrassom e extração sólido-líquido bem como avaliar o potencial bioativo. As extrações foram realizadas conforme delineamento experimental Box-Behnken (3²), com as variáveis independentes temperatura (60, 70 e 80 °C) e tempo (30, 45 e 60 minutos), e o teor de compostos fenólicos totais, expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (mg EAG), como variável dependente. O potencial bioativo foi avaliado por métodos espectrofotométricos UV-Vis através de análise do teor de flavonoides totais (miligramas de equivalente de catequina - mg EC), estimativa de carotenoides totais, atividade sequestrante de radical ABTS^{•+}, a auto-oxidação pelo sistema β -caroteno/ácido linoleico (% AOA), a atividade de remoção de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o método de redução de ferro e a digestibilidade gastrointestinal simulada. A extração a 80 °C por 60 minutos apresentou o maior teor de compostos fenólicos totais, 715,53 \pm 8,00 mg EAG 100 g⁻¹, para a casca, enquanto a extração a 70 °C por 45 minutos apresentou 235,50 \pm 25,30 mg EAG 100 g⁻¹, para a polpa. Os extratos com maior teor de compostos fenólicos totais foram avaliados quanto aos demais compostos bioativos. Os extratos da casca e polpa apresentaram teor de flavonoides de 363,63 \pm 8,92 mg EC 100 g⁻¹ e 102,44 \pm 1,51 mg EC 100 g⁻¹, respectivamente. A estimativa do teor de carotenoides totais permitiu obter para a casca, 2,13 \pm 0,11 μ g 100 g⁻¹ e para a polpa, 1,34 \pm 0,11 μ g 100 g⁻¹. A capacidade antioxidante foi avaliada pelos resultados dos diferentes métodos aplicados, sendo que para o método de redução de ferro (FRAP) obteve-se 125,09 \pm 8,52 μ M sulfato ferroso g⁻¹ para casca e 32,76 \pm 0,65 μ M sulfato ferroso g⁻¹ para polpa, apresentaram remoção de H₂O₂ de 29% para a polpa e 41% para casca, para o método de sequestro do radical ABTS 66,88 \pm 0,93 μ M Trolox g⁻¹ para casca e 14,93 \pm 0,31 μ M Trolox g⁻¹ para polpa, enquanto pelo sistema β -caroteno/ácido linoleico, cerca de 84% e 47%, para casca e polpa, respectivamente. As frações de casca e polpa foram submetidas a digestibilidade gastrointestinal simulada com diminuição do teor de compostos fenólicos totais para ambas as frações. A bioacessibilidade foi determinada em relação ao teor de compostos fenólicos, sendo obtido em torno de 25% (polpa) e 16% (casca) acessíveis para absorção no intestino. A combinação dos métodos de ultrassom e extração sólido-líquido se mostrou eficaz na extração de compostos bioativos do cará-moela, sendo uma potencial fonte para isolamento e purificação de compostos bioativos, com possíveis aplicações na indústria de alimentos.

Palavras-chave: Cará-moela. Tubérculo. PANC. Capacidade antioxidante.

EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM THE PEEL AND PULP OF *Dioscorea bulbifera* L.

Gabrielly Ribeiro Carneiro, Leomara Floriano Ribeiro

ABSTRACT

The cará-moela (*Dioscorea bulbifera* L.) is a little-explored edible aerial tuber, belonging to the group of Non-Conventional Food Plants (PANC), but that may present nutritional characteristics and have applications in nutraceutical products. Thus, the present work aimed to extract bioactive compounds from the peel and pulp of cará-moela by combining ultrasonic and solid-liquid extraction techniques and to evaluate the bioactive potential. The extractions were performed according to Box-Behnken experimental design (3²), with the independent variable's temperature (60, 70, and 80 °C) and time (30, 45, and 60 minutes), and the content of total phenolic compounds, expressed in milligrams of gallic acid equivalent (mg GAE), as the dependent variable. The bioactive potential was evaluated by UV-Vis spectrophotometric methods through analysis of the total flavonoids content (milligrams of catechin equivalent - mg CE), the estimation of total carotenoids, the ABTS^{•+} radical scavenging activity, the auto-oxidation by the β -carotene/linoleic acid system (% AOA), the hydrogen peroxide (H₂O₂) removal activity, the iron reduction method, and the simulated gastrointestinal digestibility. Extraction at 80 °C for 60 minutes showed the highest content of total phenolic compounds, 715.53 \pm 8.00 mg GAE 100 g⁻¹, for the peel, while extraction at 70 °C for 45 minutes showed 235.50 \pm 25.30 mg GAE 100 g⁻¹, for the pulp. The extracts with the highest content of total phenolic compounds were evaluated for other bioactive compounds. The peel and pulp extracts showed flavonoid content of 363.63 \pm 8.92 mg CE 100 g⁻¹ and 102.44 \pm 1.51 mg EC 100 g⁻¹, respectively. The estimated total carotenoid content was 2.13 \pm 0.11 μ g 100 g⁻¹ for the peel and 1.34 \pm 0.11 μ g 100 g⁻¹ for the pulp. The antioxidant capacity was evaluated by the results of the different methods applied, for the ferric reduction antioxidant power (FRAP) method obtained 125.09 \pm 8.52 μ M ferrous sulfate g⁻¹ for peel and 32.76 \pm 0.65 μ M ferrous sulfate g⁻¹ for pulp, presented H₂O₂ removal of 29% for the pulp and 41% for the peel, for the ABTS radical sequestration method 66.88 \pm 0.93 μ M Trolox g⁻¹ for peel and 14.93 \pm 0.31 μ M Trolox g⁻¹ for pulp, while by the β -carotene/linoleic acid system, about 84% and 47%, for peel and pulp, respectively. The peel and pulp fractions were subjected to simulated gastrointestinal digestibility with decreased total phenolic compound content for both fractions. Bioaccessibility was determined in relation to the content of phenolic compounds, and around 25% (pulp) and 16% (peel) were obtained accessible for absorption in the intestine. The combination of ultrasound and solid-liquid extraction methods proved to be effective in extracting bioactive compounds from the cará-moela, being a potential source for isolation and purification of bioactive compounds, with possible applications in the food industry.

Keywords: Cará-moela. Tuber. PANC. Antioxidant capacity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – BULBILHO DE CARÁ-MOELA.....	9
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DAS FASES DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL SIMULADA	15
FIGURA 3 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA E CURVAS DE CONTOURO PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE CASCA DE CARÁ-MOELA.....	18
FIGURA 4 – GRÁFICO DE EFEITOS PRINCIPAIS DO TEMPO E TEMPERATURA NO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE CASCA DE CARÁ-MOELA.....	19
FIGURA 5 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA E CURVAS DE CONTOURO PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE POLPA DE CARÁ-MOELA.....	20
FIGURA 6 – GRÁFICO DE EFEITOS PRINCIPAIS DO TEMPO E TEMPERATURA NO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE POLPA DE CARÁ-MOELA.....	21
FIGURA 7 – PERCENTUAL DE REMOÇÃO DE H ₂ O ₂ DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.....	23
FIGURA 8 – COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DA FRAÇÃO DA CASCA DE CARÁ-MOELA EM CADA FASE DA DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA	25
FIGURA 9 – COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DA FRAÇÃO DE POLPA DE CARÁ-MOELA EM CADA FASE DA DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA	26
FIGURA 10 – BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS NAS FRAÇÕES DE CASCA E POLPA PARA CADA FASE DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL SIMULADA	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – FATORES E NÍVEIS DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 3 ² PARA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.....	10
TABELA 2 – TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS PARA CADA ENSAIO DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.....	16
TABELA 3 – TEOR DE FLAVONOIDES TOTAIS E CAROTENOIDES TOTAIS PARA CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.....	22
TABELA 4 – PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DOS EXTRATOS DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.....	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 AMOSTRAS	9
2.2 DETERMINAÇÃO DE UMIDADE	10
2.3 EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS	10
2.4 ANÁLISES COLORIMÉTRICAS PARA QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS	11
2.4.1 Determinação dos compostos fenólicos totais	11
2.4.2 Determinação dos flavonoides totais	11
2.4.3 Determinação dos carotenoides totais	12
2.5 ENSAIOS DE CAPACIDADE ANTIOXIDANTE	12
2.5.1 Atividade sequestrante de radical ABTS ^{•+}	12
2.5.2 Auto-oxidação pelo sistema β-caroteno/ácido linoleico	12
2.5.3 Atividade de remoção de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	13
2.5.4 Método de redução do ferro (FRAP)	14
2.6 DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA	14
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1 ANÁLISE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS	16
3.2 PERFIL ANTIOXIDANTE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS	23
3.3 ESTUDO DA DIGESTIBILIDADE SIMULADA	25
4 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A *Dioscorea bulbifera* L. é um tubérculo pertencente à família *Dioscoreaceae*, do gênero *Dioscorea*, nativa da África. É considerada um tipo de inhame e popularmente conhecida como cará-moela, cará-do-ar, cará-borboleta. O seu cultivo e utilização são pouco difundidos devido à falta de conhecimento do seu potencial nutricional e de aplicação, sendo estas algumas características que fazem com que esse tubérculo pertença ao grupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) (CASTRO, 2012).

As PANCs tratam das plantas não convencionais bem como das partes não utilizadas convencionalmente das plantas convencionais ou comuns. Desta forma, as PANCs se caracterizam por possuírem uma ou mais partes comestíveis, como raízes, tubérculos, bulbos, rizomas, folhas, frutos, as quais podem ser consumidas tanto *in natura* quanto processadas. De maneira geral, há indícios que as PANCs possuem valores nutricionais e econômicos significativos, porém pouco explorados (KINUPP; LORENZI, 2014).

Estudos científicos sobre o cará-moela ainda são escassos, porém na literatura há trabalhos que o tubérculo mostrou potencial para introdução na alimentação humana. A composição do cará-moela apresenta baixo teor de lipídios, entre 0,85 e 1,83 g 100 g⁻¹, e elevado teor de carboidratos, em torno de 71,25 g 100 g⁻¹ (CARNEIRO et al., 2020; BOLANIRAM; OGIDI; JULIETAKINYELE, 2019), além de possuir compostos bioativos diretamente relacionados a diferentes atividades biológicas, como atividade anticancerígena (GAO et al., 2002; LI; ZHANG; CHI, 2000), anti-inflamatória (MBIANTCHA et al., 2011; CHANIAD, 2020), antibacteriana (HU et al., 2005), antiviral (XU et al., 1988) e antioxidante (SONG et al., 2010; GHOSH et al., 2013; OLATOYE; ARUEYA, 2019; ODEGHE; ADIKWU; OJIEGO, 2021).

Além disso, é importante analisar o comportamento dos compostos bioativos de uma matriz alimentar durante o processo digestivo, obtendo o conhecimento do teor liberado pela matriz bem como o quanto pode realmente ser absorvido. Estudos vêm sendo feitos com o intuito de realizar a simulação da digestibilidade gastrointestinal a fim de auxiliar na compreensão do desempenho dos mais diversos compostos por diferentes metodologias, principalmente através de ensaios *in vitro* ou *in vivo* (BARBA; ORLIENA, 2017).

Para tanto deve-se também estudar a extração dos compostos bioativos com base na aplicação de diferentes processos, tais como a hidrólise ácida em diferentes espécies de *Dioscorea* (SHAH; LELE 2012; RAINA; MISRA, 2019), a hidro-destilação para extração de compostos bioativos em inhame (ELEAZU; KOLAWOLE; AWA, 2013), o ultrassom em variadas culturas vegetais (WEN et al., 2018), a extração sólido-líquido com aplicação de diferentes solventes em *Dioscorea bulbifera* L. (ADEOSUN et al., 2016), em *Dioscorea hirtiflora*, *Dioscorea dumetorum*, e *Dioscorea bulbifera* (ADENIRAN; SONIBARE, 2017). A fim de otimizar os diversos processos de extração e minimizar possíveis degradações dos compostos bioativos, pode-se aplicar a combinação de processos de extração.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo estudar a extração de compostos bioativos pela combinação das técnicas de ultrassom e extração sólido-líquido da casca e polpa de *Dioscorea bulbifera* L.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

As amostras utilizadas no presente estudo foram de *Dioscorea bulbifera* L., cará-moela (FIGURA 1), obtidas diretamente do produtor no município de Mandaguari/PR.

FIGURA 1 – BULBILHO DE CARÁ-MOELA



FONTE: As autoras (2021).

As amostras foram lavadas e higienizadas com solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 15 minutos e separadas as frações de casca e polpa. Para inativação enzimática, as frações foram submetidas à solução de ácido cítrico (2,4 %) a 80 °C por 5 minutos (CARNEIRO et al., 2020). Na sequência, as amostras foram secas em estufa (LUCADEMA 82/150) a 40 °C até massa constante. As amostras secas foram moídas, armazenadas em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD), seladas a vácuo (GSVAC/GS420), ao abrigo da luz e mantidas sob refrigeração (4°C) até início das extrações.

2.2 DETERMINAÇÃO DE UMIDADE

A umidade foi determinada por gravimetria, onde 1 g de amostra foi seca a 105 °C em estufa (LUCADEMA 82/150) até massa constante (IAL, 2008).

2.3 EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

As extrações dos compostos bioativos da casca e da polpa do cará-moela foram realizadas conforme delineamento experimental Box-Behnken 3², considerando as variáveis temperatura e tempo, conforme TABELA 1.

TABELA 1 – FATORES E NÍVEIS DO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 3² PARA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.

Ensaio	Fatores e níveis codificados		Fatores e níveis originais	
	Temperatura [°C]	Tempo [min.]	Temperatura [°C]	Tempo [min.]
1	-1	-1	60	30
2	-1	0	60	45
3	-1	+1	60	60
4	0	-1	70	30
5	0	0	70	45
6	0	+1	70	60
7	+1	-1	80	30
8	+1	0	80	45
9	+1	+1	80	60

FONTE: As autoras (2021).

Os ensaios foram elaborados, separadamente, para casca e polpa do caramoela na proporção de 1:50 (m/v) em água destilada. As amostras foram submetidas a banho ultrassônico (SolidSteel/SSBu) por 10 minutos à temperatura ambiente e posteriormente submetidas a banho metabólico orbital tipo Dubnoff sob agitação (MATOLI/170M013) nas temperaturas e tempos de acordo com delineamento experimental (TABELA 1). Finalizados os tempos das extrações, as amostras foram centrifugadas (SOLAB/SL-700) a 6000 rpm durante 20 minutos, filtradas e nos extratos foram avaliados os teores de compostos fenólicos totais, variável resposta. Na sequência, os extratos foram armazenados em frascos tipo âmbar sob refrigeração a 4 °C até o momento de realização das demais análises.

2.4 ANÁLISES COLORIMÉTRICAS PARA QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

2.4.1 Determinação dos compostos fenólicos totais

O teor dos compostos fenólicos totais dos extratos foi determinado segundo Singleton e Rossi (1965), com modificações. Em tubos foram adicionados 60 µL dos extratos, 3.000 µL de água destilada e 300 µL de reagente Folin-Ciocalteu (Dinâmica), esperou-se 3 minutos e foram adicionados 900 µL de carbonato de sódio (15%) e 1740 µL de água destilada. As absorvâncias dos extratos foram determinadas em espectrofotômetro (Drawell/DU-8800RS) a 765 nm. Ácido gálico - AG (Sigma-Aldrich) foi usado como padrão, e os resultados foram expressos em equivalentes de ácido gálico (mg AG) 100g⁻¹ calculados por meio de ajuste da curva padrão do ácido gálico em concentrações que variaram de 25 a 650 mg L⁻¹.

2.4.2 Determinação dos flavonoides totais

A determinação do teor de flavonoides totais foi feita com base na metodologia de Meyers et al. (2003), onde 500 µL dos extratos foram adicionados em tubos juntamente com 2,5 mL de água destilada, 150 µL de nitrito de sódio (5%), após 6 minutos foram adicionados 300 µL de cloreto de alumínio hexahidratado (10%), e após repouso de 5 minutos adicionou-se 1 mL de NaOH 1 M. As leituras

foram realizadas em espectrofotômetro (KASVI/K37-UVVIS) a 510 nm, utilizando curva padrão de catequina em concentrações que variaram de 24,5 a 350 mg L⁻¹. Os resultados foram expressos em miligramas equivalente de catequina (mg EC) 100 g⁻¹.

2.4.3 Determinação dos carotenoides totais

Os teores de carotenoides totais foram estimados nos extratos de acordo com o método proposto por Lichtenthaler (1987) adaptado. Os extratos foram avaliados nas absorvâncias de 646,8, 663,2 e 470 nm em espectrofotômetro (KASVI/K37-UVVIS). Os resultados foram obtidos com base nas equações (1), (2) e (3) e expressos em µg 100 g⁻¹.

$$\text{Clorofila } a (C_a) = 12,25 \times A_{663,2} - 2,79 \times A_{646,8} \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b (C_b) = 21,50 \times A_{646,8} - 5,10 \times A_{663,2} \quad (2)$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{[1000 \times A_{470} - (1,82 \times C_a - 104,96 \times C_b)]}{198} \quad (3)$$

2.5 ENSAIOS DE CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

2.5.1 Atividade sequestrante de radical ABTS^{•+}

A avaliação da atividade antioxidante pelo método de captura do radical ABTS foi realizada de acordo com Re et al. (1999), com modificações. Alíquotas de 90 µL das amostras (extrato de casca e polpa) foram transferidas para tubos de ensaio com 9.000 µL do radical ABTS^{•+}, previamente preparado, após 6 minutos da reação, as amostras foram analisadas a 734 nm em espectrofotômetro UV-Visível (Drawell/DU-8800RS). O solvente álcool etílico foi usado como branco e a curva de calibração foi realizada com o padrão Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico) (Sigma-Aldrich) na concentração de 100 a 2000 µM e os resultados foram expressos em µM trolox g⁻¹.

2.5.2 Auto-oxidação pelo sistema β-caroteno/ácido linoleico

A atividade antioxidante foi avaliada pelo sistema β -caroteno/ácido linoleico de acordo com a metodologia de Miller (1971). A emulsão β -caroteno/ácido linoleico (Sigma-Aldrich) foi preparada pela mistura de 10 mg de β -caroteno com 10 mL de clorofórmio, em seguida 2 mL dessa solução foram adicionados a 100 mg de ácido linoleico (Sigma-Aldrich) e 400 mg de Tween 20 (Dinâmica). O clorofórmio foi completamente evaporado em evaporador rotativo (MARCONI/442835). Foi adicionada água destilada previamente oxigenada durante 30 minutos, até absorvância permanecer entre 0,6 e 0,7 nm. Uma alíquota de 3,5 mL da emulsão β -caroteno/ácido linoleico foi misturada com 350 μ L de extrato nas concentrações de 40 mg mL⁻¹. As soluções foram incubadas em banho-maria (Nova instruments/NI 1215) a 50 °C. Para o controle utilizou-se Trolox (0,2 mg mL⁻¹).

A absorvância inicial foi determinada imediatamente após a adição das amostras ao sistema para a determinação do tempo zero. A oxidação da emulsão foi determinada por espectrofotometria (Drawell/DU-8800RS) em 470 nm após 120 minutos de incubação. A capacidade antioxidante foi calculada em termos de percentual de inibição da oxidação, conforme a equação 4.

$$AOA \% = 100 \times \left(\frac{DRc - DRs}{DRc} \right) \quad (4)$$

Onde: AOA é o percentual de inibição da oxidação, a DRC é a taxa de degradação do controle = $\ln(a/b)/120$, DRS é a taxa de degradação da amostra = $\ln(a/b)/120$, a é a absorvância inicial no tempo 0 e b é a absorvância a 120 minutos.

2.5.3 Atividade de remoção de peróxido de hidrogênio (H₂O₂)

A atividade de remoção de H₂O₂ foi determinada com base na metodologia descrita por Liu et al. (2010). Em erlenmeyers, foram adicionados 0,5 mL de H₂O₂ (0,1 mmol L⁻¹), 0,5 mL de extrato nas concentrações de 40, 20 e 10 mg mL⁻¹ para a polpa e 40 e 20 mg mL⁻¹ para a casca, 0,05 mL de molibdato de amônio (3% m/v), 5 mL de ácido sulfúrico (2 mol L⁻¹), 3,5 mL de iodeto de potássio (1,8 mol L⁻¹). A titulação das amostras e dos controles negativo (glicose) e positivo (ácido ascórbico) nas mesmas concentrações dos extratos foi realizada com tiosulfato de sódio (5 mmol L⁻¹). A capacidade de remoção foi calculada segundo equação (5).

$$\text{Remoção de } H_2O_2 = \left(\frac{V_0 - V_1}{V_0} \right) \times 100 \% \quad (5)$$

Onde: V_0 = volume utilizado na titulação do controle e V_1 = volume utilizado na titulação das amostras

2.5.4 Método de redução do ferro (FRAP)

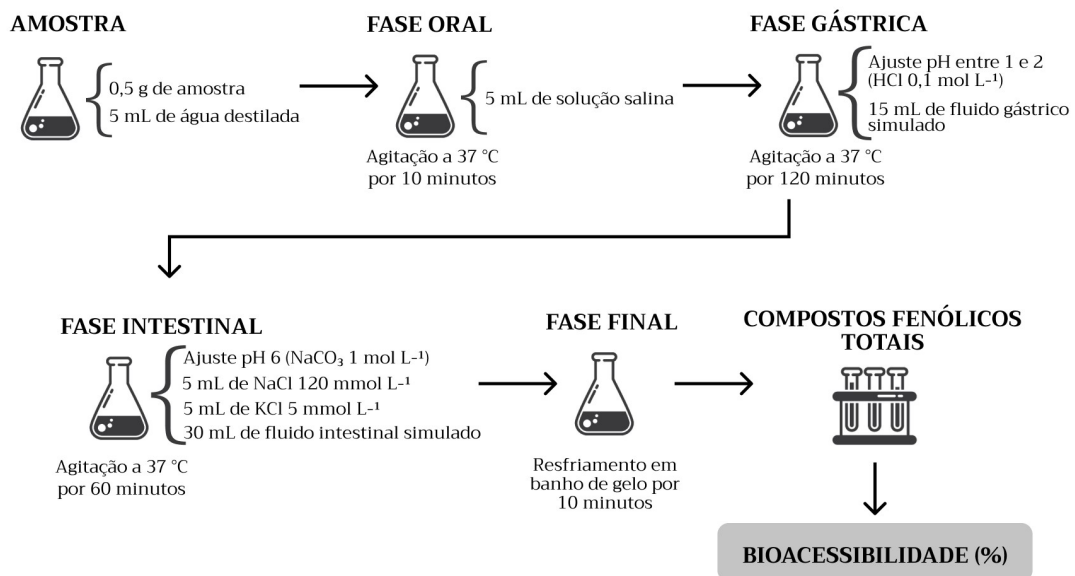
A determinação da atividade de redução de ferro foi realizada segundo Thaipong et al. (2006). Em tubos, foram adicionados 150 μ L de extrato nas concentrações de 2,5 a 40 mg mL^{-1} , 2850 μ L de reagente FRAP e mantidas ao abrigo de luz em banho maria a 37 °C por 30 minutos. As amostras foram avaliadas em espectrofotômetro a 593 nm e conforme a curva padrão de sulfato ferroso em concentrações que variaram entre 100 – 2000 μ M. Os resultados foram expressos em μ M sulfato ferroso g^{-1} .

2.6 DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA

A bioacessibilidade de compostos fenólicos foi feita a partir da simulação da digestibilidade por modelo *in vitro* segundo Dantas et al. (2019) e Bornhorst; Singh (2013), com adaptações, representada pela FIGURA 2.

Onde 0,5 g de amostra juntamente com 5 mL de água destilada foram submetidas a simulação da digestão na fase oral, gástrica e intestinal. Para a fase oral, adicionou-se de 5 mL de solução salina (saliva simulada) e foram mantidos a 37 °C por 10 minutos, para iniciar a fase gástrica o pH foi ajustado entre 1 e 2, e então adicionou-se 15 mL de fluido gástrico simulado e mantidos a 37 °C por 120 minutos, na fase intestinal o pH foi ajustado para 6 e em seguida adicionou-se 5 mL de NaCl 120 mmol L^{-1} , 5 mL de KCl 5 mmol L^{-1} e 30 mL de fluido intestinal simulado, mantidos a 37 °C por 60 minutos. Todas as etapas foram realizadas a 37 °C em banho metabólico orbital tipo Dubnoff sob agitação (MATOLI/170M013). Para interromper o processo de digestão, as amostras foram submetidas a banho de gelo por 10 minutos.

FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DAS FASES DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL SIMULADA



FONTE: As autoras (2021).

Em cada fase foram retiradas alíquotas para determinação de compostos fenólicos totais (CFT). A bioacessibilidade foi calculada através da equação (6), a seguir.

$$\text{Bioacessibilidade (\%)} = \left(\frac{D}{I} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde: D = conteúdo de CFT após digestão intestinal; I = conteúdo de CFT antes da digestão

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Toda as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. Os dados foram analisados pela análise de variância (ANOVA) com $p \leq 0,05$. As diferenças significativas entre as médias foram analisadas pelo teste *Tukey*, no mesmo nível de significância. Os programas estatísticos Origin Pro 8.0 (Northampton, MA 01060, U.S.A.), Statistica e Minitab v. 19 (Minitab, Inc. USA) versão avaliação foram utilizados para a obtenção e análises dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

A umidade da casca e polpa do cará-moela *in natura* apresentaram os valores de $78,81 \pm 0,68 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $74,86 \pm 0,99 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Valores inferiores foram descritos por Rodrigues et al. (2020) com média de 68,42% e valores aproximados foram registrados por Silva et al. (2020) com teor de 70,45% de umidade para o cará-moela.

Os compostos bioativos da casca e polpa do cará-moela foram extraídos e quantificados com base nos teores de compostos fenólicos totais, expressos na TABELA 2, conforme o delineamento Box-Behnken. Verificou-se que os extratos da casca apresentaram teores entre 545,30 a 715,53 mg EAG 100g^{-1} , consideravelmente superiores aos obtidos para a polpa, que variaram de 166,95 a 235,50 mg EAG 100g^{-1} .

TABELA 2 – TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS PARA CADA ENSAIO DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA.

Ensaio [Temperatura (°C)/ tempo (min)]	Casca (mg EAG 100g^{-1})	Polpa (mg EAG 100g^{-1})
1 (60/30)	570,28 ^{cd} ± 1,69	223,56 ^a ± 3,16
2 (60/45)	550,30 ^{cd} ± 14,41	228,36 ^a ± 5,28
3 (60/60)	545,30 ^e ± 8,42	233,19 ^a ± 5,08
4 (70/30)	585,06 ^{cd} ± 4,58	225,43 ^a ± 19,59
5 (70/45)	614,00 ^{bc} ± 22,19	235,50 ^a ± 25,30
6 (70/60)	553,58 ^{cd} ± 7,14	218,03 ^{ab} ± 34,60
7 (80/30)	679,33 ^a ± 56,69	172,50 ^{bc} ± 7,63
8 (80/45)	670,90 ^{ab} ± 20,41	166,95 ^d ± 7,84
9 (80/60)	715,53 ^a ± 8,00	174,05 ^{bc} ± 10,29

*Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística entre os ensaios (Teste Tukey, $p \leq 0,05$).

Além de diferenças de região, clima, forma de cultivo, condições de crescimento, estágio de maturação, condições de armazenamento do tubérculo que podem interferir na composição química da casca e polpa do cará-moela, os teores de compostos fenólicos totais também sofrem influência método de extração e de

parâmetros como temperatura, tempo e, principalmente do solvente empregado (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019; TZIA; LIADAKIS, 2003).

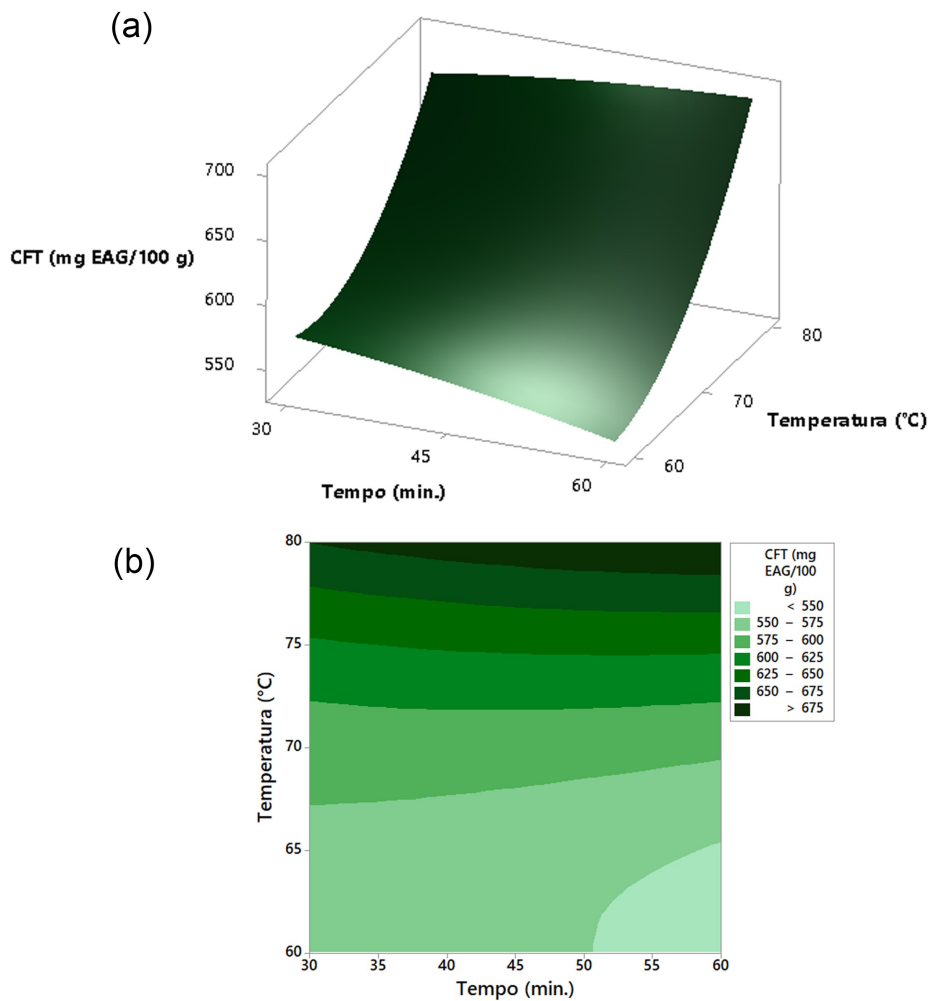
Segundo Tzia; Liadakis (2003), a extração sólido-líquido é um processo que envolve a transferência de soluto de uma matriz sólida para um solvente. É uma operação utilizada com frequência para extrair componentes alimentares importantes.

A eficiência desse método de extração varia com a dimensão das partículas sólidas, devido a superfície de contato do soluto com o solvente, com a temperatura, aumentando permeabilidade das paredes celulares e membranas com a aplicação de calor, com a escolha de solvente, influenciando na solubilidade do composto pela interação com o soluto, tempo de contato entre solvente e partículas sólidas, entre outros fatores como tensão superficial, viscosidade e a agitação, que auxiliam no mecanismo de transferência de massa.

Neste estudo, a extração sólido-líquido foi precedida por ultrassom (UAE) que auxiliou no rompimento das paredes celulares, liberando os compostos intracelulares para o solvente. No caso utilizou-se apenas a água, pois além de auxiliar a transferência de massa não é um solvente agressivo, gerando menos impacto ambiental e facilitando futuras aplicações (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

Na FIGURA 3 apresentam-se (a) os resultados de metodologia de superfície de resposta e (b) as curvas de contorno. Pode-se observar que o extrato da casca de cará-moela submetido a maior temperatura (80 °C) e ao maior tempo (60 min.), resultaram no maior teor de CFT, em torno de 715 mg EAG 100 g⁻¹.

FIGURA 3 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA E CURVAS DE CONTOURO PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE CASCA DE CARÁ-MOELA



FONTE: As autoras (2021).

De acordo com Tzia; Liadakis (2003) existem compostos de origem fenólica que são ligados estruturalmente às fibras e com ação da temperatura se tornam mais maleáveis, sendo liberados diretamente no solvente de extração. Sabendo que a casca do cará-moela possui em torno de $4,90 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de fibra, teores significativos de compostos fenólicos eram esperados quando submetidos a temperaturas mais elevadas, conforme ocorreu no ensaio 9 (CARNEIRO et al., 2020).

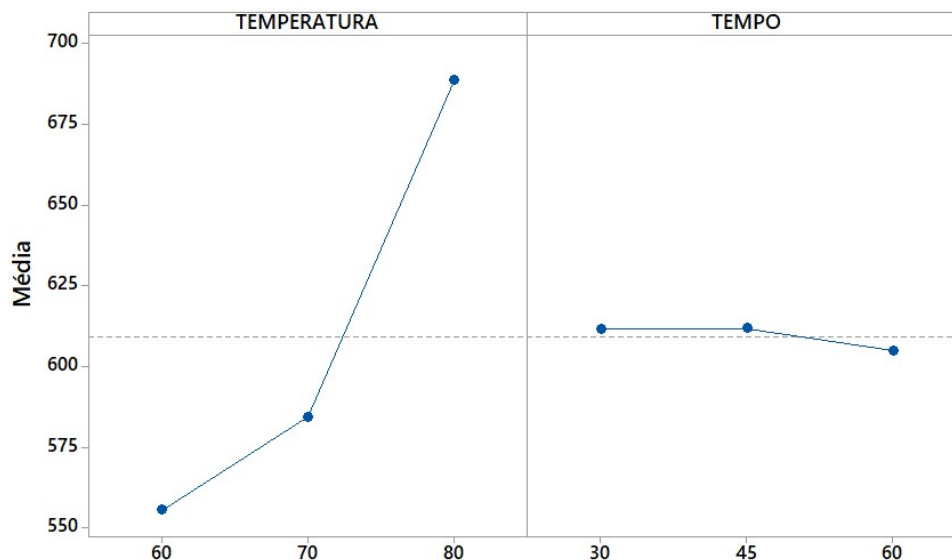
A partir dos dados obtidos para extração da casca, obteve-se um modelo matemático quadrático de segunda ordem completo para determinar o teor de CFT (variável dependente) dos extratos da casca do cará-moela em função da temperatura e do tempo (variáveis independentes) pode ser expresso pela equação (7).

$$CFT = 2268 - 50,7 * Temperatura - 5,94 * tempo + 0,377 * Temperatura^2 - 0,0158 * tempo^2 + 0,1020 * Temperatura * tempo \quad (7)$$

A maximização do modelo matemático permitiu obter, $699,31 \pm 14,30$ mg EAG 100 g^{-1} para o teor de compostos fenólicos totais na condição de $80 \text{ }^\circ\text{C}$ para temperatura e 60 minutos de tempo de extração para o extrato da casca de carámoela, com coeficiente de determinação, $R^2 = 0,931$ e $R^2_{\text{ajustado}} = 0,815$.

O fator tempo não foi significativo enquanto o fator temperatura teve influência nas variações dos teores de compostos fenólicos dos extratos da casca de carámoela como pode-se observar no gráfico de efeitos principais (FIGURA 4).

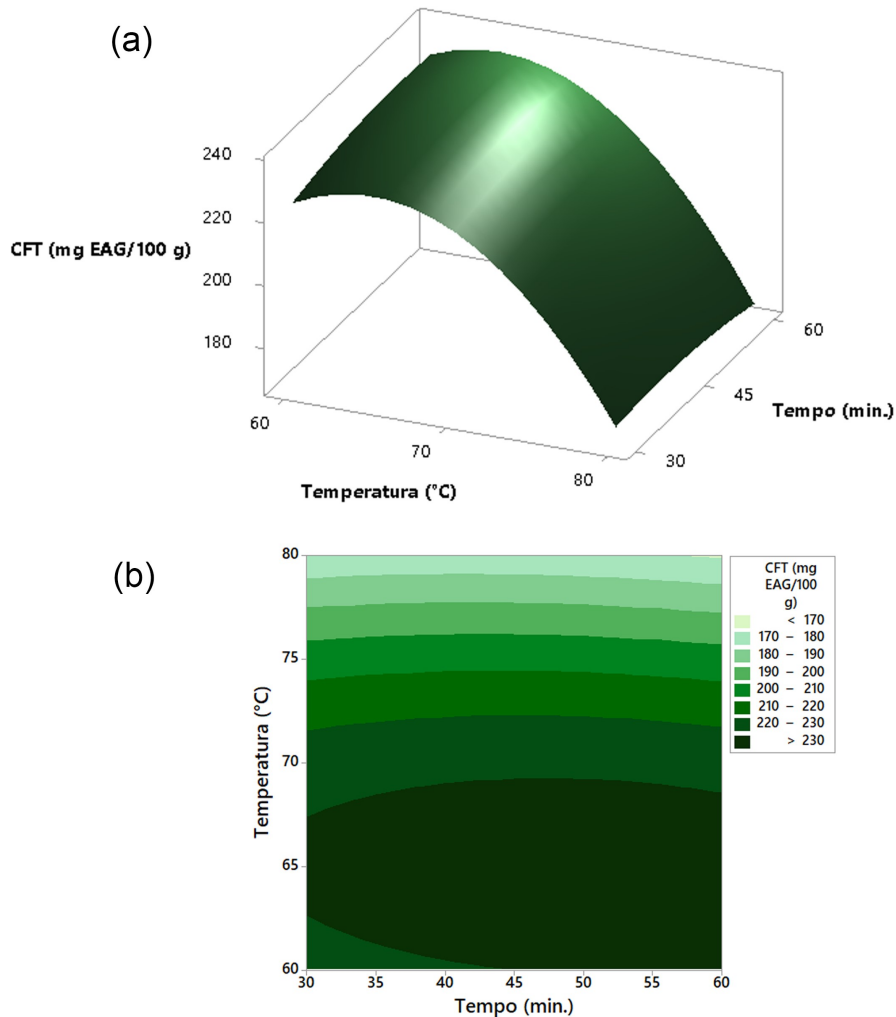
FIGURA 4 – GRÁFICO DE EFEITOS PRINCIPAIS DO TEMPO E TEMPERATURA NO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE CASCA DE CARÁ-MOELA



FONTE: As autoras (2021).

Em relação aos resultados do extrato da polpa de carámoela, na FIGURA 5 apresentam-se (a) os resultados de metodologia de superfície de resposta e (b) as curvas de contorno, em que o extrato submetido a temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$ por 45 minutos resultou no maior teor de CFT, em torno de $235 \text{ mg EAG } 100 \text{ g}^{-1}$.

FIGURA 5 – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA E CURVAS DE CONTOURO PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE POLPA DE CARÁ-MOELA



No extrato da polpa, pode-se observar que o aumento da temperatura resultou em menores teores de CFT. Segundo López et al. (2013) devido ao tratamento térmico aplicado, os compostos bioativos podem ser degradados, assim como pode interferir na capacidade de hidrolisar ligações entre fenólicos associados com proteínas e/ou carboidratos, podendo influenciar negativamente ou positivamente no conteúdo de compostos fenólicos totais.

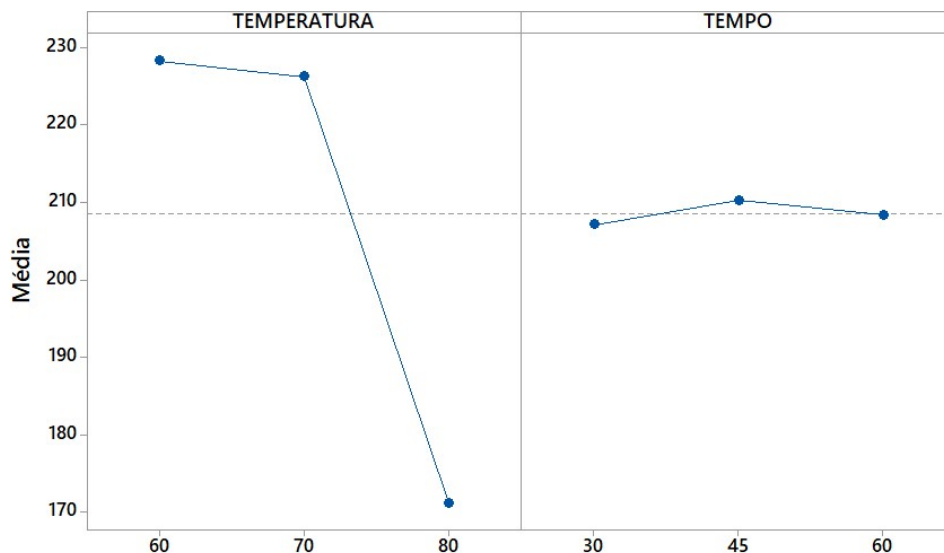
A partir dos dados obtidos para extração da polpa, obteve-se um modelo matemático quadrático de segunda ordem para determinar o teor de CFT (variável dependente) dos extratos da polpa do cará-moela em função da temperatura (variável independente), a variável tempo não teve uma influência significativa, sendo desconsiderado do modelo, expresso pela equação (8).

$$CFT = -874 + 34,31 * Temperatura - 0,2655 * Temperatura^2 \quad (8)$$

A maximização do modelo matemático permitiu obter no ponto ótimo, $235,98 \pm 6,00$ mg EAG 100 g^{-1} para o teor de compostos fenólicos totais na condição de $64,4 \text{ }^\circ\text{C}$, para temperatura, e 50,3 minutos de tempo de extração para o extrato da polpa de cará-moela, com coeficiente de determinação, $R^2 = 0,965$ e $R^2_{\text{ajustado}} = 0,953$.

Os fatores tempo e temperatura mostraram comportamento diferentes, sendo que o tempo não foi significativo enquanto o fator temperatura teve influência nas variações dos teores de compostos fenólicos dos extratos da polpa de cará-moela como pode-se observar no gráfico de efeitos principais (FIGURA 6).

FIGURA 6 – GRÁFICO DE EFEITOS PRINCIPAIS DO TEMPO E TEMPERATURA NO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DOS EXTRATOS DE POLPA DE CARÁ-MOELA



FONTE: As autoras (2021).

Segundo Jakobek (2015) existem interações entre compostos fenólicos e a estrutura porosa dos carboidratos. De acordo com Carneiro et al. (2020), a polpa de cará-moela contém cerca de $75,70 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de carboidratos, deste modo, os resultados dos teores de compostos fenólicos totais para os extratos de polpa podem indicar tais associações. Portanto, as diferenças entre os resultados para os extratos de polpa e de casca justificam-se devido as diferenças estruturais de ambas as frações.

A análise do potencial bioativo ocorreu também em relação aos teores de flavonoides totais e carotenoides totais, conforme TABELA 3, mas apenas com os extratos que apresentaram os melhores resultados segundo o delineamento experimental, para a casca a 80°C por 60 minutos (ensaio 9) e para a polpa a 70°C por 45 minutos (ensaio 5).

TABELA 3 – TEOR DE FLAVONOIDES TOTAIS E CAROTENOIDES TOTAIS PARA CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA

Fração	Flavonoides (mg EC 100 g ⁻¹)	Carotenoides (µg 100 g ⁻¹)
Casca	363,63 ± 8,92	2,13 ± 0,10
Polpa	102,44 ± 1,51	1,34 ± 0,11

*Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Sendo EC = Equivalente de catequina.

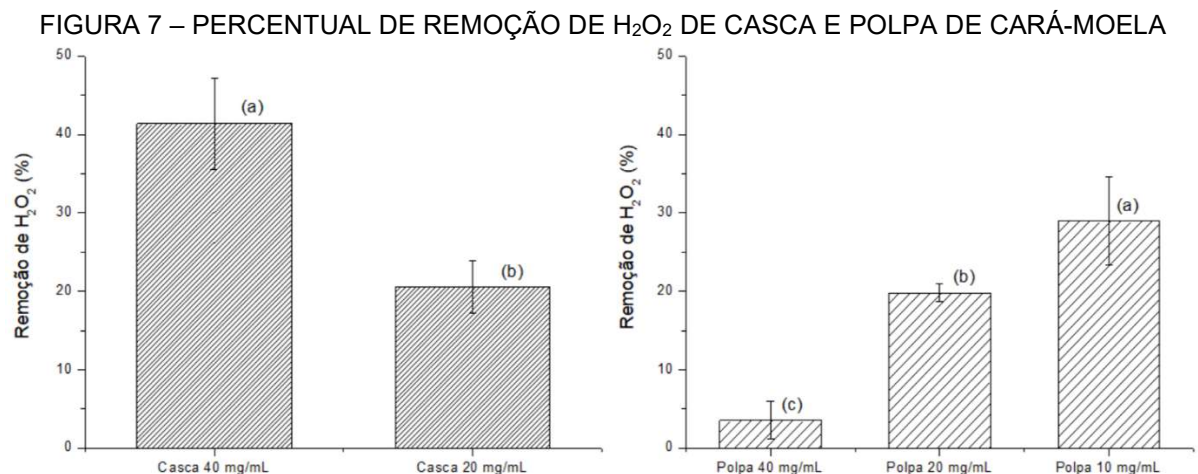
As frações de casca e polpa apresentaram teores consideráveis de flavonoides totais, sendo que a casca teve o maior resultado, 363,63 mg EC 100g⁻¹, quando comparada a polpa. Segundo Guan et al. (2017) os flavonoides são seus principais compostos ativos correspondendo cerca de 39,6%. A determinação de flavonoides totais é importante porque estes compostos bioativos sintetizados por plantas através das vias do ácido chiquímico e do mevalonato atuam como antioxidantes, neutralizando os efeitos das espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, agindo assim como agentes protetores contra doenças (DZOMBA; MUSEKIWA, 2014).

Em relação aos carotenoides totais foi apenas estimado o teor disponível nos extratos, em que o extrato da casca do cará-moela apresentou a maior quantidade, cerca de 2,13 µg 100 g⁻¹, em comparação ao extrato da polpa. Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis com estrutura química polienoica que consiste em ligações duplas conjugadas, possibilitando a estes compostos absorver o excesso de energia de outras moléculas e eliminar espécies reativas de oxigênio (ROS) e radicais livres. Desta forma, pelos resultados das análises de compostos fenólicos totais, flavonoides totais e carotenoides totais há indicativo de bioatividade das frações casca e polpa de cará-moela.

3.2 PERFIL ANTIOXIDANTE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

A capacidade antioxidante de uma matriz alimentícia pode apresentar resultados diversos devido a existência de diferentes mecanismos de ação antioxidante, sendo importante que sua avaliação seja feita por mais de uma metodologia (SORIANO SANCHO; PAVAN; PASTORE, 2015). Neste sentido, realizou-se a avaliação por meio do mecanismo de transferência de um átomo de hidrogênio (HAT) pelo sistema de auto-oxidação β -caroteno/ácido linoleico, e do mecanismo por transferência de um elétron (SET), através dos ensaios FRAP e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), além do ensaio ABTS que contempla os mecanismos HAT e SET simultaneamente (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005).

O peróxido de hidrogênio pertence ao grupo das espécies reativas de oxigênio (EROs), caracterizado por não ser um radical livre. É gerado principalmente pela dismutação do superóxido ($O_2^{\cdot-}$) por enzimas oxidases ou por β -oxidação de ácidos graxos. O H_2O_2 é um metabólito do oxigênio extremamente deletério, porque participa da reação que produz o OH^{\cdot} . Mesmo sendo de pouca reatividade, o H_2O_2 auxilia o envelhecimento celular e pode causar danos às células, sendo assim a sua remoção é importante (BARREIROS; DAVID, 2006; GIESE; GASCON; ANZELMO, 2015). Na FIGURA 7 constam os resultados obtidos para a remoção de H_2O_2 .



FONTE: As autoras (2021).

Analisando o método de remoção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e os resultados obtidos pode-se observar que os extratos de casca e de polpa apresentaram capacidade de remoção de H_2O_2 , mas em diferentes concentrações.

No caso da casca, com o aumento da concentração do extrato houve aumento do percentual de remoção, apresentando uma remoção de até 41 % na concentração de 40 mg mL⁻¹. Enquanto para a polpa, o maior percentual de remoção do extrato foi observado na concentração de 10 mg mL⁻¹ resultando em uma remoção de aproximadamente 29 %. Com a diminuição da concentração do extrato de polpa maiores percentuais de remoção foram obtidos e ao comparar as diferentes concentrações percebeu-se diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Os ensaios ABTS, FRAP e β -caroteno/ácido linoleico também foram avaliados para estimar a capacidade antioxidante dos extratos de casca e de polpa do caramoela e os resultados estão na TABELA 4.

TABELA 4 – PROPRIEDADES ANTIOXIDANTES DOS EXTRATOS DE CASCA E POLPA DE CARÁ-MOELA

Sistema	Fração	
	Casca	Polpa
ABTS ($\mu\text{M Trolox g}^{-1}$)	66,88 \pm 0,93	14,93 \pm 0,31
FRAP ($\mu\text{M sulfato ferroso g}^{-1}$)	125,09 \pm 8,52	32,76 \pm 0,65
β -caroteno/ácido linoleico (%AOA)	84,50 \pm 0,34	46,91 \pm 4,66

FONTE: As autoras (2021).

Pode-se observar que para todos os ensaios, o extrato da casca apresentou os maiores valores quando comparados aos do extrato da polpa. No caso do ensaio ABTS, este avalia a capacidade antioxidante a partir da remoção do radical livre 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico), um composto estável gerado a partir de reação química ou enzimática, que permite estimar a atividade de compostos de natureza hidrofílica, como compostos fenólicos, e lipofílica, como carotenoides (SUCUPIRA et al., 2012; ARNAO, 2000; PÉREZ-JIMÉNEZ; SAURACALIXTO, 2006).

No sistema de oxidação do β -caroteno/ácido linoleico determina-se a atividade antioxidante a partir da inibição do radical peroxil (LOO[•]) formado pelo ácido linoleico em reação com o oxigênio, que ao reagir com o β -caroteno causa perda de coloração. Caso a amostra contenha antioxidantes que reagem com o peroxil a diminuição da absorvância do β -caroteno será retardada (MARCO, 1968; MILLER, 1971). Já o método FRAP avalia a atividade antioxidante pela redução do complexo férrico-tripiridiltriazina (Fe^{3+} -TPZ) ao complexo ferroso (Fe^{2+} -TPZ),

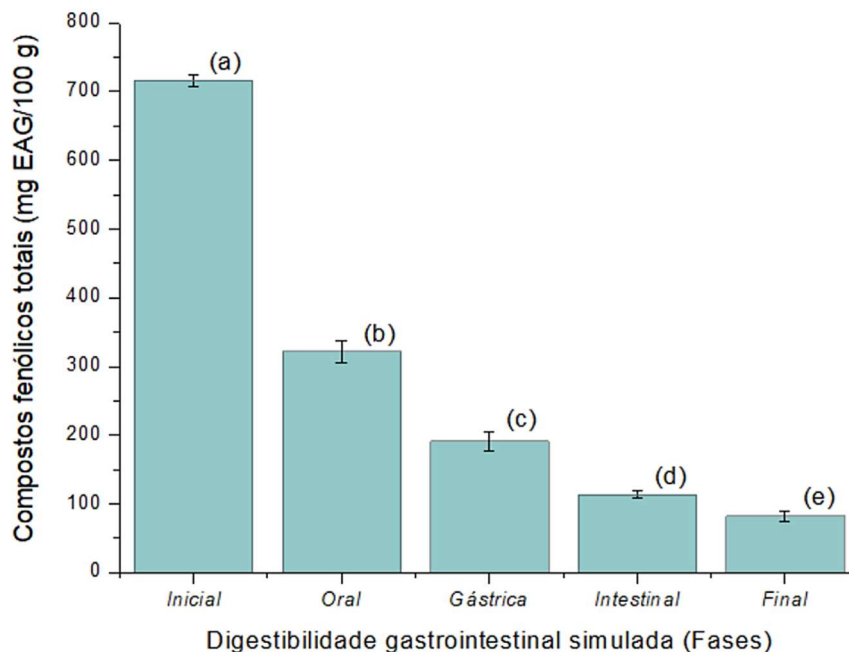
complexo que possui coloração azul-violeta intensa, sendo considerado um ensaio com elevada reprodutibilidade e alta correlação com compostos fenólicos (BENZIE; STRAIN, 1996; APAK et al., 2004).

Diante do exposto, os resultados obtidos para as análises de capacidade antioxidante permitem assumir que ambas as frações, casca e polpa, de cará-moela apresentam perfil antioxidante expressivo.

3.3 ESTUDO DA DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA

A simulação da digestão gastrointestinal auxilia na compreensão de como os compostos presentes em uma matriz alimentar se comportam durante as fases da digestão em relação a sua acessibilidade, fornecendo informações de interesse para pesquisadores e indústria de alimentos, em geral (BARBA; ORLIENA, 2017). Os teores de compostos fenólicos totais (CFT) foram avaliados para a fração casca do cará-moela para cada fase da digestão simulada, conforme FIGURA 8.

FIGURA 8 – COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DA FRAÇÃO DA CASCA DE CARÁ-MOELA EM CADA FASE DA DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA



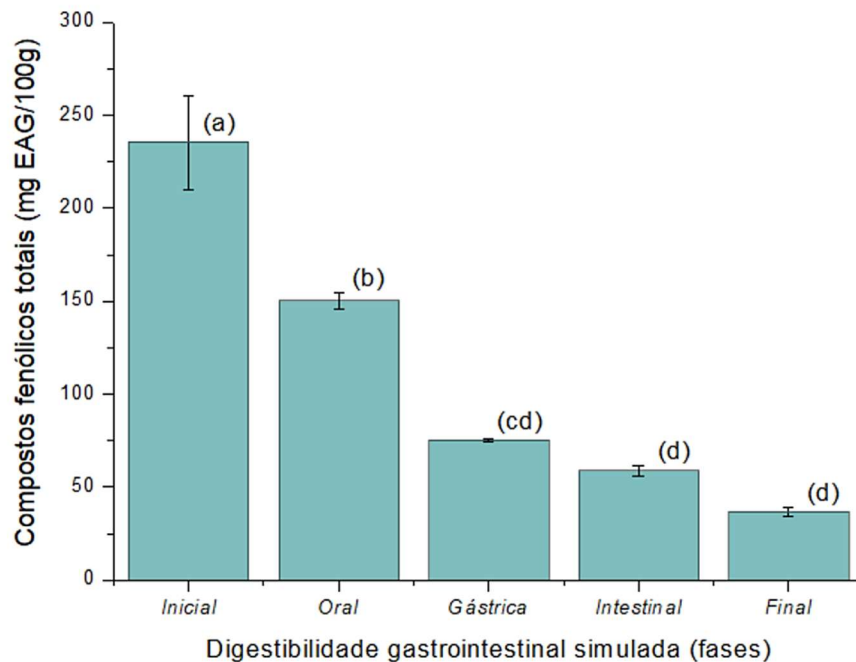
FONTE: As autoras (2021).

A partir da simulação, pode-se observar que o teor de CFT diminuiu consideravelmente ao comparar o resultado antes de iniciar o processo de digestão

e durante o processo de digestão gastrointestinal até a fase final. Os teores de CFT variaram de 715 até 82 mg EAG 100g⁻¹, em que em todas as fases houve diferença estatística entre os valores desses compostos bioativos.

Os teores de CFT da fração de polpa de cará-moela apresentaram comportamento similar ao da fração casca, com a diminuição dos valores de 235 a 37 mg EAG 100g⁻¹, conforme pode ser visualizado na FIGURA 9.

FIGURA 9 – COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DA FRAÇÃO DE POLPA DE CARÁ-MOELA EM CADA FASE DA DIGESTIBILIDADE GASTROINTESTINAL SIMULADA



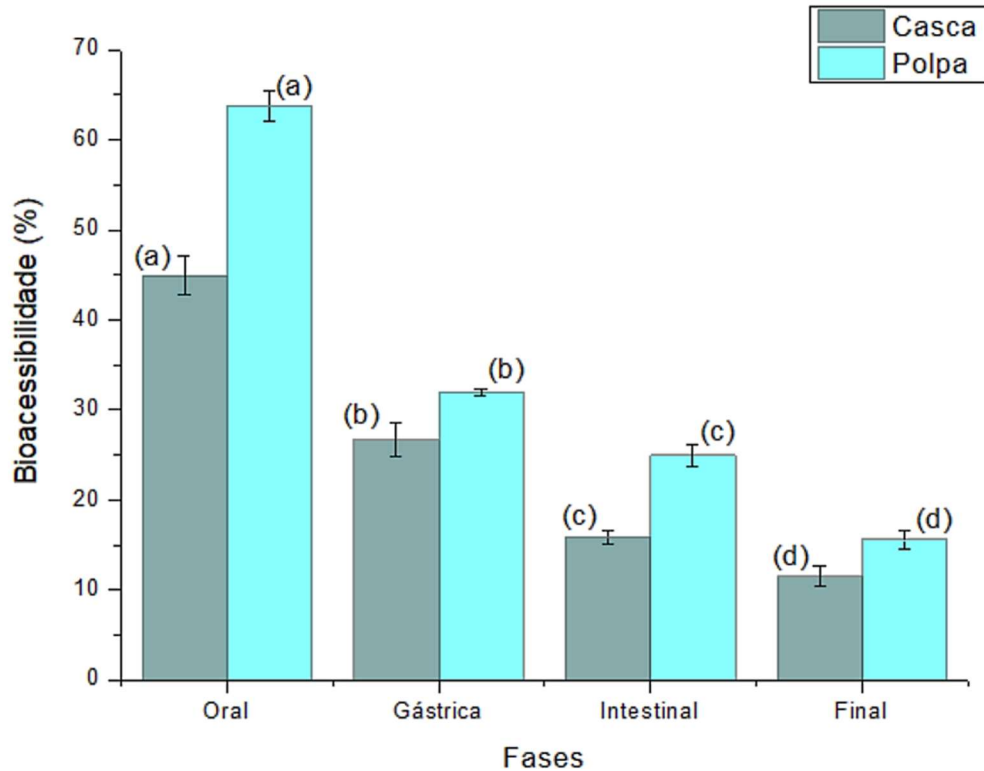
FONTE: As autoras (2021).

Nas frações casca e polpa houve maior perda na digestão oral, não apresentando diferenças no perfil do percentual de biodisponibilidade para casca e polpa, apresentando diminuição a cada fase da digestão simulada. Fator que pode estar relacionado diretamente com a natureza dos compostos fenólicos, no que diz respeito às suas interações com os fluidos simulados, principalmente em relação a sua instabilidade quando submetidos a variações do pH.

Em relação a bioacessibilidade sabe-se que é um parâmetro relacionado à capacidade de um composto extraído da matriz alimentar ser absorvido pelas células intestinais após o processo de digestão gastrointestinal (HEANEY, 2001; BARBA; ORLIENA, 2017). Nesse sentido, a partir dos resultados de CFT pode-se observar que aproximadamente 16% dos compostos fenólicos totais da casca e 25%

da polpa foram considerados bioacessíveis para serem absorvidos no intestino, e que apesar da casca ter um maior teor de CFT, a fração polpa teve uma maior bioacessibilidade (FIGURA 10).

FIGURA 10 – BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS NAS FRAÇÕES DE CASCA E POLPA PARA CADA FASE DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL SIMULADA



FONTE: As autoras (2021).

Os resultados da fração casca e polpa podem ter sido influenciados pela interação dos compostos fenólicos com a estrutura da matriz alimentar. Neste sentido, quanto maior o teor de fibra menor será o teor de CFT, pois a estrutura fibrosa dificulta a liberação de compostos fenólicos que estejam associadas a esta. Além disso, é possível que os compostos fenólicos presentes nas amostras tenham tido interações com outros componentes da amostra tais como as proteínas, os polissacarídeos ou ainda com componentes do sistema digestivo simulado, que podem causar modificações em sua estabilidade (QUAN, 2017).

Segundo Friedman; Jürgens (2000), alguns compostos fenólicos presentes na alimentação humana sofrem influência negativa quando são expostos a pH elevados devido as suas características estruturais e estudos sobre tais características podem auxiliar na previsão da estabilidade de compostos fenólicos específicos quando submetidos a diferentes faixas de pH. Alguns compostos fenólicos podem ter sofrido transformações ao serem submetidos a condições ácidas, sendo dificultada sua

detecção pelo método de Folin-Ciocalteu (CARBONELL-CAPELLA et al., 2014; BARBA; ORLIENA, 2017; SENGUL; SUREK; NILUFER-ERDIL, 2014).

Estudos revelam que a estabilidade dos compostos fenólicos é significativamente influenciada por sua estrutura química. Os ácidos fenólicos são resistentes ao procedimento de digestão, enquanto os flavonóis são degradados principalmente quando são submetidos à digestão e, durante o processo de digestão os CFT podem ser degradados, liberados da matriz alimentar ou anexados a outros compostos ou constituintes do suco digestivo (GOULAS; HADJISOLOMOU, 2018).

Além disso, segundo Clifford (2004), somente de 5 a 10% do teor de compostos fenólicos totais de uma matriz alimentar pode atingir o intestino delgado, dessa forma o conteúdo de CFT presentes em ambas as frações do cará-moela apresentaram bioacessibilidade expressiva para serem absorvidos no intestino.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados ao longo deste estudo, pode-se concluir que a combinação do ultrassom com o método de extração sólido-líquido, empregando água como solvente, proporcionou extração de compostos bioativos do cará-moela, em especial os compostos fenólicos totais, obtendo-se para casca e polpa, 715 e 235 mg EAG 100g⁻¹, respectivamente. Além disso, as frações de cará-moela apresentaram potencial bioativo, segundo os métodos de atividade antioxidante (remoção de peróxido de hidrogênio, ABTS, FRAP e β-caroteno/ácido linoleico), bem como demonstraram bioacessibilidade por meio da digestão gastrointestinal simulada. Portanto, as frações da casca e polpa de *Dioscorea bulbifera* L. são fontes potenciais para isolamento e purificação de compostos bioativos, assim como possíveis aplicações na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

- ADENIRAN, A. A.; SONIBARE, M. A. In vitro antioxidant activity, brine shrimp lethality and assessment of bioactive constituents of three wild Dioscorea species. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 2, p. 685-695, 2017.
- ADEOSUN, O. M.; AROTUPIN, D. J.; TOBA, O. A.; ADEBAYO, A. A. Antibacterial activities and phytochemical properties of extracts of Dioscorea bulbifera Linn (Air Potato) tubers and peels against some pathogenic bacteria. **The Journal of Phytopharmacology**, v. 5, n. 1, p. 20-26, 2016.
- APAK, R.; GÜÇLÜ, K.; ÖZYÜREK, M.; KARADEMİR, S. E. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 26, p. 7970-7981, 2004.
- ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, p. 419-421, 2000.
- BARBA, F. J.; MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N.; MERCADANTE, A. Z.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; ORLIEN, V. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 195–206, 2017.
- BARBA, F. J.; ORLIENA, V. Processing, bioaccessibility and bioavailability of bioactive sulfur compounds: facts and gaps. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 61, p. 1–3, 2017.
- BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre gerações de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, v. 29, p. 113-123, 2006.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.
- BOLANIRAN, T.; OGIDI, C. O.; JULIETAKINYELE, B. Nutritional value and safety of air potato Dioscorea bulbifera L. fermented with Pleurotus ostreatus and Calocybe indica. **Brazilian Journal of Biological Sciences**, v. 6, p. 467-482, 2019.
- BORNHORST, G. M.; SINGH, R. P. Kinetics of in Vitro Bread Bolus Digestion with Varying Oral and Gastric Digestion Parameters. **Food Biophysics**, v. 8, p. 50–59, 2013.
- CARBONELL-CAPELLA, J. M.; BUNIOWSKA, M.; BARBA, F. J.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of

bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 2, p. 155-171, 2014.

CARNEIRO, G. R.; CREMA, N. M.; ZÜGE, L. C. B.; RIBEIRO, L. F. Avaliação física e química de farinhas de casca e polpa de *Dioscorea bulbifera* L. Com possibilidade de aplicação na panificação. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 12, p. 96201-96211, 2020.

CASTRO, A. P. Etnobotânica das variedades locais do cará (*Dioscorea spp.*) cultivados em comunidades no município de Caapiranga, estado do Amazonas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 3, p. 658-667, 2012.

CHANIAD, P.; TEWTRAKUL, S.; SUDSAI, T.; LANGYANAI, S.; KAEWDANA, K. Anti-inflammatory, wound healing and antioxidant potential of compounds from *Dioscorea bulbifera* L. bulbils. **Plos One**, v.15, p.12, 2020.

CLIFFORD, M. N. Diet-derived phenols in plasma and tissues and their implications for health. **Planta Medica**, v. 70, p. 1103–1114, 2004.

DAMODARAN, S.; PARKIN K.; FENNEMA O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed; 2019.

DANTAS, M. A.; MAFALDO, M. I.; OLIVEIRA, L. P. M.; LIMA, S. M.; MAGNANI, M.; BORGESS, S. C. G. Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. **Food Chemistry**. v. 274, p. 202–214, 2019.

DZOMBA, P.; MUSEKIWA, C. Anti-obesity and antioxidant activity of dietary flavonoids from *Dioscorea steriscus* tubers Journal of Coastal Life Medicine. **Journal of Coastal Life Medicine**, v. 2, p. 465-470, 2014.

ELEAZU, C.; KOLAWOLE, S.; AWA, E. Phytochemical composition and antifungal actions of aqueous and ethanolic extracts of the peels of two yam varieties. **Med Aromat Plants**, v. 2, p. 1-4, 2013.

FRIEDMAN, M.; JÜRGENS, H. S. Effect of pH on the Stability of Plant Phenolic Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 2101–2110, 2000.

GAO, H. Y.; KUROYANAGI, M.; WU, L. J.; KAWAHARA, N; YASUNO, T.; NAKAMURA, Y. Antitumor-promoting constituents from *Dioscorea bulbifera* L. in JB6 mouse epidermal cells. **Biol Pharm Bull**, v. 25, p. 1241–1243, 2002.

GHOSH, S.; DERLE, A.; AHIRE, M.; MORE, P.; JAGTAP, S.; PHADATARE, S. D.; PATIL, A. B.; JABGUNDE, A. M.; SHARMA, G. K.; SHINDE, V. S.; PARDESI, K.; DHAVALA, D. D.; CHOPADEV, B. A. Phytochemical analysis and free radical scavenging activity of medicinal plants *Gnidia glauca* and *Dioscorea bulbifera*. **PLOS ONE**, v. 8, p. 1–18, 2013.

GIESE, E. C.; GASCON, J.; ANZELMO, G. Free-radical scavenging properties and antioxidant activities of botryosphaeran and some other β -Dglucans. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 72, p. 125–130, 2015.

GOULAS, V.; HADJISOLOMOU, A. Dynamic changes in targeted phenolic compounds and antioxidant potency of carob fruit (*Ceratonia siliqua* L.) products during in vitro digestion. **LWT**, v. 101, p. 269-275, 2018.

GUAN, X. R.; ZHU, L.; XIAO, Z. G.; ZHANG, Y. L.; CHEN, H. B.; YI, T. Bioactivity, toxicity and detoxification assessment of *Dioscorea bulbifera* L.: a comprehensive review. **Phytochemistry Reviews**, v. 16, n. 3, p. 573-601, 2017.

HEANEY, R. P. Factors influencing the measurement of bioavailability, taking calcium as a model. **Journal of Nutrition**, v. 131, p. 1344-1348, 2001.

HU, Z. Y.; SHI, Y. B.; LUO, Y. J.; LUO, C. Y.; ZHANG, X. G. Experimental study on inhibiting bacteria in vitro and acute toxicity of *Rodgersia aesculifolia* batal. **Prog Vet Med**, v. 26, p. 86-88, 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 5 ed. São Paulo, p. 1020, 2008.

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

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.

LI, J. H.; ZHANG, X. H.; CHI, H. H. Study on the anti-tumor effect of the extraction of *Dioscorea bulbifera* L. **Hebei Medical College for Continuing Education**, v. 17, p. 5–7, 2000.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIU, W.; WANG, H.; PANG, X.; YAO, W.; GAO, X. Characterization and antioxidant activity of two low-molecular-weight polysaccharides purified from the fruiting bodies of *Ganoderma lucidum*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 46, p. 451–457, 2010.

LÓPEZ, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 138, n. 1, p. 547-555, 2013.

MARCO, G. J. A rapid method for evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 45, n. 9, p. 594-598, 1968.

- MBIANTCHA, M.; KAMANYI, A.; TEPONNO, R. B.; TAPONDJOU, A. L.; WATCHO, P.; NGUELEFACK, T. B. Analgesic and anti-inflammatory properties of extracts from the bulbils of *Dioscorea bulbifera* L. var *sativa* (Dioscoreaceae) in mice and rats. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 1-9, 2011.
- MEYERS, K. J.; WATKINS, C. B.; PRITTS, M. P.; LIU, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 6887-6892, 2003.
- MILLER, H. E. A simplified method for the evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v. 48, p. 91, 1971.
- ODEGHE, O. B.; ADIKWU, E.; OJIEGO, C. C. Phytochemical and antioxidant evaluations of *Dioscorea bulbifera* stem tuber. **Biomedical and Biotechnology Research Journal**, v. 4, p. 305-311, 2020.
- OLATOYE, K. K.; ARUEYA, G. L. Nutrient and phytochemical composition of flour made from selected cultivars of Aerial yam (*Dioscorea bulbifera*) in Nigeria. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 79, p. 23-27, 2019.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F. Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. **Food Res Int**, v. 39, p. 791-800, 2006.
- PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4290–4302, 2005.
- QUAN, W.; TAO, Y.; LU, M.; YUAN, B.; CHEN, J.; ZENG, M.; QIN, F.; GUO, F.; HE, Z. Stability of the phenolic compounds and antioxidant capacity of five fruit (apple, orange, grape, pomelo and kiwi) juices during in vitro -simulated gastrointestinal digestion. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, p. 1131–1139, 2017.
- RAINA, A. P.; MISRA, R. Evaluation of diosgenin, a bioactive compound from natural source of *Dioscorea* species: A wild edible tuber plant. **Journal Pharm. Phytochem**, v. 9, p. 1120-1124, 2020.
- RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, 26, 1231–1237, 1999.
- RODRIGUES, L. L.; SOUSA, M. M. D.; SILVA, J. N.; MARQUES, M. J.; SOUSA, P. B. Cará-Moela (*Dioscorea bulbifera*): physical-chemical study and phytochemical evaluation. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, p. 89233-89241, 2020.
- SENGUL, H.; SUREK, E.; NILUFER-ERDIL, D. Investigating the effects of food matrix and food components on bioaccessibility of pomegranate (*Punica granatum*) phenolics and anthocyanins using an in-vitro gastrointestinal digestion model. **Food Research International**, v. 62, p. 1069-1079, 2014.

- SHAH, H. L.; LELE, S. S. Extraction of diosgenin, a bioactive compound from natural source *Dioscorea alata* var *purpurea*. **Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques**, v. 3, p. 141, 2012.
- SILVA, E. N. L.; ARAÚJO, J. F. S.; PEREIRA, A. S.; SANTOS, V. F.; COSTA, D. M.; PIRES, C. R. F. Caracterização nutricional das espécies cará-moela (*dioscorea bulbífera* L.) e cará (*dioscorea* spp.). **Revista Desafios**, v. 7, p. 3, 2020.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with hosphomolybdc-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology Viticulture**, v. 16, p. 144-158, 1965.
- SONG, F. L.; GAN, R. Y.; ZHANG, Y.; XIAO, Q.; KUANG, L.; LI, H. B. Total phenolic contents and antioxidant capacities of selected chinese medicinal plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, p. 2362–2372, 2010.
- SORIANO SANCHO, R. A.; PAVAN, V.; PASTORE, G. M. Effect of in vitro digestion on bioactive compounds and antioxidant activity of common bean seed coats. **Food Research International**, v. 76, p. 74–78, 2015.
- SUCUPIRA, N. R.; SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; COSTA, J. N. Methods for measuring antioxidant activity of fruits. **UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde**, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012.
- 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, p. 669-675, 2006.
- TZIA, C.; LIADAKIS, G. **Extraction optimization in food engineering**. CRC Press, 2003.
- WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DZAH, C. S.; ZANDILE, M.; DUAN, Y.; MA, H.; LUO, X. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 538-549, 2018.
- XU, Y. Z.; BAI, C. X.; ZHOU, Q.; SHEN, X. W.; ZHENG, S. Z.; FU, Z. S.; CHEN, H. Study on the ethanol extract of *Dioscorea bulbifera* in inhibiting inactivated-virus. **Chinese Pharmacological Bulletin**, v. 23, p. 535–537, 1988.