



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS**

EFEITO DA GERMINAÇÃO SOBRE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM

EUGÊNIA TELIS DE VILELA SILVA

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
FEVEREIRO, 2020.**

EFEITO DA GERMINAÇÃO SOBRE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM

EUGÊNIA TELIS DE VILELA SILVA

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola
da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos
requisitos para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

Orientadores: Prof. Dr. Alexandre José Melo de Queiroz

Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO, 2020.

S586e

Silva, Eugênia Telis de Vilela.

Efeito da germinação sobre três cultivares de amendoim / Eugênia Telis de Vilela Silva. – Campina Grande, 2020.

157 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Alexandre José Melo de Queiroz; Orientação: Profª. Drª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo."

Referências.

1. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.). 2. Brotos. 3. Secagem. 4. Farinha. 5. Compostos Bioativos. 6. Resveratrol. I. Queiroz, Alexandre José Melo de. II. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. III. Título.

CDU 633.368(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



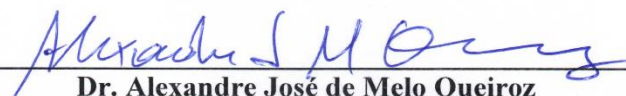
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO


EUGÊNIA TELIS DE VILELA SILVA

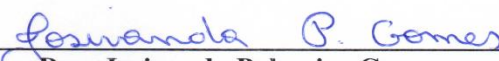
“ EFEITOS DA GERMINAÇÃO SOBRE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM ”

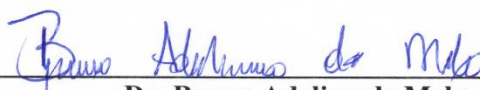
APROVADO (A): 19 de fevereiro de 2020

BANCA EXAMINADORA


Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Orientador – UAEA/CTRN/UFPG


Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Orientadora – UAEA/CTRN/UFPG


Dra. Josivanda Palmeira Gomes
Examinadora – UAEA/CTRN/UFPG


Dr. Bruno Adelino de Melo
Examinador – CNPQ/UFPG

Dedicatória

A Deus e a Nossa Senhora.

*A meu pai Antônio (in
memoriam), a minha mãe
Rozângela e a minha irmã Letícia.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora, por serem minha força todas as vezes que fraquejei.

Aos meus pais, Antônio (in memoriam) e Rozângela, por todo amor e apoio fundamentais na construção do meu caráter. A minha mãe, que não mediu esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos. A minha irmã por sempre me apoiar e ser meu exemplo de garra e dedicação e ao meu namorado Breno por sempre me apoiar, ajudar e me incentivar a ser melhor.

Aos meus queridos orientadores, Prof. Dr. Alexandre José e a Prof^ª. Dr^ª. Rossana Maria, por todos os ensinamentos passados, pela paciência e pela confiança em mim depositada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelos conhecimentos transmitidos, especialmente à professora Josivanda.

Aos professores participantes da banca que se dispuseram a ceder seu tempo e seu conhecimento.

Ao pesquisador Francisco Pereira de Andrade e a Embrapa Algodão por doar as sementes de amendoim para que eu pudesse desenvolver a pesquisa.

Ao todos os meus amigos, especialmente a Karol, que me ajudaram, incentivaram e me apoiaram.

Aos meus amigos de pesquisa Henrique, Jemima, Bruno, Inácia, Yvana e Thaís que com toda ajuda e companheirismo deixaram essa caminhada mais leve.

Obrigada pela amizade e carinho.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

A todos que deixei de mencionar, mas de alguma forma contribuíram com a minha caminhada, minha eterna gratidão!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo geral.....	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Amendoim.....	4
2.2. Compostos bioativos.....	6
2.3. Germinação	8
2.4. Farinhas.....	7
2.5. Secagem	13
2.5.1. Modelagem matemática	14
2.6. Isotermas de sorção de água	16
2.7. Cinética de degradação	18
3. MATERIAL E METÓDOS	21
3.1. Matérias-primas	21
3.2. Caracterização química, física e físico-química das sementes de amendoim in natura	21
3.3. Germinação das sementes de amendoim	23
3.4. Caracterização das sementes de amendoim germinadas.....	24
3.5. Secagem das sementes de amendoim germinadas	24
3.6. Obtenção das farinhas das sementes de amendoim germinadas.....	27
3.7. Caracterização química, física, físico-química e tecnológica das farinhas das sementes de amendoim germinadas.....	27
3.7.1. Massa específica aparente	27
3.7.2. Massa específica compactada.....	28
3.7.3. Massa específica absoluta	28
3.7.4. Porosidade	29
3.7.5. Fator de Hausner (FH).....	29

3.7.6.	Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC).....	29
3.7.7.	Solubilidade.....	30
3.7.8.	Higroscopicidade.....	30
3.7.9.	Molhabilidade.....	30
3.7.10.	Ângulo de repouso	31
3.8.	Seleção das melhores farinhas	31
3.8.1.	Atividade antioxidante	31
3.8.2.	Isotermas de adsorção de água.....	31
3.8.3.	Citotoxicidade	32
3.8.4.	Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais.....	32
3.8.4.1.	Efeito da temperatura.....	34
3.9.	Análise dos dados	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1.	ARTIGO I: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM EM DIFERENTES TEMPOS DE GERMINAÇÃO	35
4.2.	ARTIGO II - CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE BROTO DE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM.....	58
4.3.	ARTIGO III - PROPRIEDADES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSTOS BIOATIVOS DE AMENDOIM: EFEITO DA GERMINAÇÃO E DO PROCESSO DE SECAGEM.....	80
4.4.	ARTIGO IV - CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E ARMAZENAMENTO DE FARINHAS DE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOINS GERMINADOS	112
5.	CONCLUSÕES GERAIS	142
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição nutricional das sementes de amendoim de três diferentes cultivares	5
Tabela 2.2 - Modelos matemáticos aplicados aos dados de secagem em camada delgada	16
Tabela 2.3 - Modelos matemáticos para descrever isotermas de sorção de água.....	18
Tabela 3.1 - Modelos cinéticos.....	33
 Artigo I	
Tabela 1 – Teor de minerais de sementes não germinadas e brotos das três cultivares de amendoim	50
Tabela 2 – Teor de fibra bruta de sementes não germinadas e brotos das três cultivares de amendoim	511
 Artigo II	
Tabela 1 – Modelos de predição da cinética de secagem de produtos agrícolas em camada delgada.....	62
Tabela 2 - Tempos de secagem e teores de água dos brotos de amendoim das cultivares L7 Vermelho, BRS Havana e BR1, em diferentes temperaturas.....	64
Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de cinética de secagem dos brotos de amendoim cultivar L7 Vermelho com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados (χ^2)	65
Tabela 4 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem em camada fina dos brotos de amendoim cultivar Havana com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)	677
Tabela 5 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem em camada fina dos brotos de amendoim cultivar BR1 processados, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)	68
Tabela 6 - Coeficientes de difusão efetivo das secagens em camada delgada dos brotos de amendoim nas diferentes temperaturas.....	72
Tabela 7 – Valores dos parâmetros da equação de Arrhenius, fator pré-exponencial (D_0), energia de ativação (E_a) e coeficientes de determinação (R^2), para os brotos de amendoim secos nas diferentes temperaturas.....	73

Tabela 8 - Valores de entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) para as três temperaturas de secagem em camada delgada dos brotos de amendoim	74
---	----

Artigo III

Tabela 1 – Caracterização físico-química das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BR1.....	87
---	----

Tabela 2 – Caracterização físico-química das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BRS havana.....	88
--	----

Tabela 3 – Caracterização físico-química das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar L7 vermelho	89
--	----

Tabela 4 – Compostos bioativos das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 C da cultivar BR1	93
---	----

Tabela 5 – Compostos bioativos das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BRS havana.....	94
--	----

Tabela 6 – Compostos bioativos das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar L7 vermelho.....	944
---	-----

Tabela 7 – Propriedades físicas das farinhas de broto de amendoim obtidas a partir das temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BR1	97
--	----

Tabela 8 – Propriedades físicas das farinhas de broto de amendoim obtidas a partir das temperaturas de 70, 60 e 50 °C da cultivar BRS havana.....	98
--	----

Tabela 9 – Propriedades físicas das farinhas de broto de amendoim obtidas a partir das temperaturas de 70, 60 e 50 °C da cultivar L7 vermelho	99
--	----

Artigo IV

Tabela 1 - Modelos cinéticos.....	118
--	-----

Tabela 2 - Modelos matemáticos para descrever isotermas de adsorção de água	117
--	-----

Tabela 3 - Perfil de fenólicos de brotos e farinhas de brotos de três cultivares de amendoim	120
---	-----

Tabela 4 – Atividade antioxidante da farinha de brotos de três cultivares de amendoim	123
Tabela 5 - Teor de fibra bruta das farinhas de broto brotos de três cultivares de amendoim	1254
Tabela 6 – Perfil de minerais das farinhas de brotos de três cultivares de amendoim	124
Tabela 7 – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da farinha de brotos de amendoim da cultivar BR1	127
Tabela 8 – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da farinha de brotos de amendoim da cultivar BRS havana	1277
Tabela 9 – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da farinha de brotos de amendoim da cultivar L7 vermelho	128
Tabela 10 - Energia de ativação (E_a) da reação, coeficiente de determinação (R^2) e quociente de temperatura (Q_{10}) das farinhas de brotos de amendoim cultivares BR1, BRS havana e L7 vermelho	12929
Tabela 11 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C da farinha de broto de amendoim da cultivar BR1	131
Tabela 12 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C da farinha de broto de amendoim da cultivar BRS havana	131
Tabela 13 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C da farinha de broto de amendoim da cultivar L7 vermelho	132

LISTA DE FIGURAS

Artigo I

Figura 1 - Teores de água de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação	39
Figura 2 - Níveis de lipídios de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	41
Figura 3 - Níveis de proteínas de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	42
Figura 4 - Níveis de amido de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	43
Figura 5 - Níveis de açúcares totais de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	44
Figura 6 - Níveis de açúcares redutores de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	45
Figura 7 - Níveis de fenólicos totais de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	46
Figura 8 - Níveis de taninos totais de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	47
Figura 9 - Níveis de flavonoides de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	48
Figura 10 - Níveis de antocianinas de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação.....	49

Artigo II

Figura 1 - Cinéticas de secagem dos brotos de amendoim processados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com representação dos ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão: (a) Cultivar L7 Vermelho; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar BR1	69
Figura 2 - Relação entre os valores das razões dos teores de água experimentais e razões dos teores de água preditos pelo modelo de Aproximação da Difusão para a cinética de secagem dos brotos de amendoim: (a) Cultivar L7 Vermelho; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar BR1	71

Figura 3 – Ajuste da equação do tipo Arrhenius aos dados experimentais do coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem dos brotos de amendoim: (a) Cultivar L7 Vermelho; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar BR1 73

Artigo IV

Figura 1 – Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais de amostras de farinha de broto de amendoim: (a) Cultivar BR1; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar L7 Vermelho 126

Figura 2 - Isotermas de sorção de água da farinha do broto de amendoim a 25 °C com representação dos ajustes pelo modelo de Peleg: (a) Cultivar BR1; (b) Cultivar BRS Havana; (c) Cultivar L7 Vermelho 133

RESUMO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é um alimento fonte de proteínas, ácidos graxos e de compostos bioativos, incluindo compostos fenólicos, flavonoides e resveratrol, que contribuem ainda para sua atividade antioxidante. O processo de germinação de sementes induz mudanças bioquímicas e nutricionais nas sementes e tem sido amplamente utilizado para produzir grãos e brotos com alta atividade antioxidante. Diante disto, objetivou-se com este estudo germinar, secar e obter farinhas a partir dos brotos de amendoim de três cultivares brasileiras (L7 Vermelho, BRS Havana e BR1). As sementes de amendoim foram germinadas: os brotos de 48 h de germinação foram caracterizados, secos em camada delgada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e triturados, dando origem as farinhas de broto de amendoim. O processo de germinação reduziu os teores de amido e em quase 50%, os teores de lipídios das cultivares. Os maiores teores dos compostos fenólicos totais foram observados nas amostras do broto da cultivar BRS Havana no tempo de 48 h (1096 mg/100 g), do cotilédone da cultivar L7 Vermelho em 24 h (1041 mg/100 g) e do broto da L7 Vermelho em 48 h (1027 mg/100 g). O modelo de Aproximação da Difusão apresentou os melhores parâmetros de ajuste aos dados da cinética de secagem dos brotos. Os coeficientes de difusão efetivos foram na ordem de 10^{-10} m²/s, aumentando proporcionalmente com o com a progressão da temperatura da temperatura de secagem, com a relação descrita pela Equação de Arrhenius, com valores entre 18,54 kJ/mol e 42,33 kJ/mol. Os valores da variação de entalpia e da entropia foram reduzidos com a elevação da temperatura de secagem, enquanto a energia livre de Gibbs aumentou na faixa de temperatura avaliada. A secagem elevou os teores de lipídio, proteína, ácido ascórbico e amido em relação ao material germinado; reduziu o teor de carotenoides, dos compostos fenólicos totais e de taninos e afetou os teores de antocianinas e flavonoides de forma diferente, conforme a cultivar; as temperaturas de secagem dos brotos de amendoim afetaram as propriedades físicas das farinhas obtidas, diminuindo a massa específica real e a molhabilidade e aumentando a solubilidade, a higroscopicidade e o ângulo de repouso. As farinhas se apresentaram higroscópicas e com baixa fluidez. As farinhas de broto de amendoim secas a 70 °C apresentaram alto teor de compostos fenólicos totais, inclusive resveratrol, alta atividade antioxidante, alto teor de fibras e minerais e não apresentaram citotoxicidade. A cinética de degradação indicou que a degradação dos compostos fenólicos totais pode seguir os modelos de ordem zero e de primeira ordem; os valores de k mostraram que a estabilidade dos compostos fenólicos totais diminui com o aumento da temperatura de armazenamento, culminando a 35 °C; as cultivares BR1 e BRS Havana são mais susceptíveis às reações de degradação. As isotermas de adsorção de água das farinhas dos brotos de todas as cultivares amendoim de foram classificadas como Tipo II, com formato sigmoidal; os modelos de Peleg e GAB apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais.

Palavras-chaves: *Arachis hypogaea* L., brotos, secagem, farinha, compostos bioativos, resveratrol.

ABSTRACT

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is a food source of proteins, fatty acids and bioactive compounds, including phenolic compounds, flavonoids and resveratrol, which also contribute to its antioxidant activity. The seed germination process induces biochemical and nutritional changes in seeds and has been widely used to produce grains and sprouts with high antioxidant activity. Therefore, the objective of this study was to germinate, dry and obtain flour from peanut sprouts of three Brazilian cultivars (L7 Vermelho, BRS Havana and BR1). Peanut seeds were germinated: the 48 h germination sprouts were characterized, dried in a thin layer at temperatures of 50, 60 and 70 °C and crushed, giving rise to peanut sprout flours. The germination process reduced the starch content and, by almost 50%, the lipid content of the cultivars. The highest levels of total phenolic compounds were observed in the samples of the sprout of cultivar BRS Havana in 48 h (1096 mg/100 g), of the cotyledon of the cultivar L7 Vermelho in 24 h (1041 mg/100 g) and of the sprout of L7 Red in 48 h (1027 mg/100 g). The Diffusion Approximation model presented the best adjustment parameters to the shoot drying kinetics data. The effective diffusion coefficients were in the order of 10^{-10} m²/s, increasing proportionally with the progression of the drying temperature, with the relationship described by the Arrhenius Equation, with values between 18.54 kJ/mol and 42.33 kJ/mol. The values of enthalpy and entropy variation were reduced with increasing drying temperature, while Gibbs free energy increased in the evaluated temperature range. Drying increased the levels of lipid, protein, ascorbic acid and starch in relation to the germinated material; reduced the content of carotenoids, total phenolic compounds and tannins and affected the levels of anthocyanins and flavonoids differently, depending on the cultivar; the drying temperatures of the peanut sprouts affected the physical properties of the flours obtained, decreasing the real specific mass and wettability and increasing the solubility, hygroscopicity and angle of repose. The flours were hygroscopic and with low fluidity. Peanut bud flours dried at 70 °C had a high content of total phenolic compounds, including resveratrol, high antioxidant activity, high fiber and mineral content and no cytotoxicity. The degradation kinetics indicated that the degradation of total phenolic compounds can follow the zero-order and first-order models; k values showed that the stability of total phenolic compounds decreases with increasing storage temperature, culminating at 35 °C; cultivars BR1 and BRS Havana are more susceptible to degradation reactions. The water adsorption isotherms of the bud flours of all peanut cultivars were classified as Type II, with sigmoidal shape; the Peleg and GAB models showed the best fit to the experimental data.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., sprout, drying, flour, bioactive compounds, resveratrol.

1. INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é considerado um alimento altamente nutritivo devido ao seu elevado conteúdo proteico e de ácidos graxos insaturados. É rico em bioativos como compostos fenólicos, incluindo flavonoides e estilbenos, como o resveratrol: sua atividade antioxidante se deve principalmente à presença desses compostos, da vitamina E e diferentes ácidos hidroxicinâmicos, incluindo os ácidos caféico, clorogênico, cumárico e ferúlico (LIMMONGKON et al., 2017; AKRAM et al., 2018).

A composição média da semente é de 20 a 50% de proteínas, 40 a 50% de gordura, onde 43 a 55% é de óleo comestível (SAHDEV et al., 2018). O amendoim contém também carboidratos, sais minerais e vitaminas A e B. De acordo com Barros e Jardine (2017), além de apresentar uma alta qualidade nutricional, a semente de amendoim é considerada uma rica fonte de energia e aminoácidos.

O processo de germinação tem sido amplamente utilizado no processamento de alimentos devido as transformações bioquímicas que esse induz nas sementes, originando brotos fontes de nutrientes e com alta atividade antioxidante. As mudanças nas sementes ocorrem durante a hidratação e após a germinação, a qual tem início com a embebição da semente e termina com o alongamento do eixo embrionário, quando as reservas começam a ser mobilizadas para fornecer energia ao embrião em desenvolvimento (LIMMONGKON et al., 2017; LOZANO-ISLA et al., 2018). Estudos recentes indicam que a maioria dos grãos germinados tem fenólicos aumentados, em comparação com seus equivalentes de grãos crus (GAN et al., 2019; NEMZER et al., 2019).

Os compostos fenólicos são um grupo de pequenas moléculas caracterizadas pelo fato de suas estruturas possuírem, pelo menos, uma unidade de fenol. Podem ser divididos em diferentes subgrupos com base em suas estruturas químicas, são eles: ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, cumarinas, lignanas, quinonas, estilbenos (resveratrol) e curcuminoides (GAN et al., 2019). Estudos desenvolvidos com o amendoim germinado demonstram que o processo aumenta a quantidade de polifenóis, flavonoides e resveratrol (ADHIKARI et al., 2018; LIMMONGKON et al., 2017), podendo apresentar até seis vezes mais resveratrol que o amendoim não germinado (WANG et al., 2005).

O uso de grãos germinados como alimento fresco é limitado devido ao alto teor de água e curta vida útil. O teor de água em grãos germinados é geralmente entre 35 e 60%, e deve ser reduzido por secagem a um nível seguro (DZIKI, GAWLIK-DZIKI, 2019).

A secagem por ar quente (convecção) possibilita a diminuição do teor de água, condição essencial para evitar a deterioração física, química e microbiológica. Trata-se de um complexo fenômeno, no qual a água do material é removida, envolvendo um processo simultâneo de transferência de calor e massa (HORUZ et al., 2018; SAAVEDRA et al., 2017; TAHERI-GARAVAND et al., 2018). Os produtos originados do processo de secagem têm sua atividade de água reduzida a tal ponto que são inibidas a deterioração microbiana e as reações químicas, levando a um produto, levando a um produto seco, com peso reduzido, prazo de validade prolongado e com menores custos de transporte (SURIYA et al., 2016).

Os grãos germinados podem ser consumidos frescos, cozidos ou como ingrediente, após o grão seco ser convertido em farinha. As farinhas de grãos germinados podem ser usadas como matéria-prima para produtos de panificação, massas, salgadinhos extrusados e outros, com ganhos de valor agregado (DZIKI; GAWLIK-DZIKI, 2019).

1.1. Objetivo geral

Germinar, secar e obter a farinha de três cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.).

1.1.1. Objetivos específicos

- Caracterizar quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos as sementes de amendoim das cultivares L7 Vermelho, BRS Havana e BR1;
- Realizar a cinética de germinação das sementes de amendoim durante 96 h para determinar o efeito do tempo de germinação sobre a síntese de compostos de interesse;
- Germinar as sementes de amendoim e caracterizá-las quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos;
- Secar os brotos de amendoim em secador convectivo, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C com velocidade do ar de secagem de 1,0 m/s e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais;
- Elaborar farinhas dos brotos de amendoim e determinar as propriedades químicas, físicas, físico-químicas e tecnológicas das farinhas;
- Selecionar a melhor farinha de cada cultivar com base nas características químicas, físicas, físico-químicas e tecnológicas e determinar nestas a atividade

antioxidante, o perfil dos compostos fenólicos, o perfil de minerais, o teor de fibra bruta e a citotoxicidade;

- Realizar nas melhores farinhas a cinética de degradação dos compostos fenólicos totais;

- Determinar as isotermas de adsorção de água das melhores farinhas na temperatura de 25 °C.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é originário da América do Sul, onde se tem registros do seu cultivo desde a época dos Incas. É uma das principais plantas oleaginosas cultivadas no Brasil e é considerada uma das mais importantes culturas do mundo, ao lado da soja e do feijão. É uma dicotiledônea pertencente à família Fabaceae, gênero *Arachis*, no qual está inserida a espécie cultivada, *Arachis hypogaea* L. e 80 espécies silvestres já descritas (BARROS; JARDINE, 2017; KRAPOVICKAS; GREGORY, 1994).

É um alimento de sabor agradável, cultivado em mais de 100 países, sendo a quarta oleaginosa mais produzida mundialmente, com mais de 46 milhões de toneladas na safra de 2018 até agosto de 2019. No ranking dos maiores países produtores de amendoim estão em ordem decrescente, quanto ao volume de produção, a China, Índia, Estados Unidos e Nigéria, contribuindo com mais de 60% da produção mundial. Na América do Sul, Argentina e Brasil são os principais produtores, contribuindo com 1,42 e 0,44% da produção mundial, respectivamente, na produção de 2017/2018 (FAOSTAT, 2019; USDA, 2019a).

Segundo as estatísticas do IBGE (2019), a produção de amendoim no Brasil no ano de 2019 até o mês de agosto foi de cerca de 576 mil toneladas, com o estado de São Paulo responsável por cerca de 90% da produção anual da oleaginosa no país. A Paraíba apresentou uma produção de 1148 toneladas até o mês de agosto de 2019, com um aumento maior que 100%, quando comparada à produção de 2018 que foi de 570 toneladas.

O amendoim apresenta um alto valor de utilização, usos diversificados e elevado potencial de valor agregado. De acordo com Wang (2016), seus principais meios de utilização e processamento incluem a produção de óleo comestível, a alimentação, o processamento profundo (manteiga de amendoim, bebida de amendoim, doces e bolos, etc.), o processamento da proteína de amendoim (proteína em pó, concentrado de proteína, proteína isolada e peptídeos de amendoim, etc.) e a utilização abrangente de subprodutos do amendoim (cascas de amendoim utilizadas no cultivo de cogumelos, produção de ração e combustível, bem como a extração de substâncias ativas, como o resveratrol e proantocianidinas, entre outros).

Uma gama variada de produtos foi desenvolvida a partir do amendoim, como: amendoim torrado, manteiga de amendoim, óleo de amendoim, pasta de amendoim, molho de amendoim, farinha de amendoim, leite de amendoim, bebida de amendoim, salgadinhos de amendoim e queijo de amendoim análogo (ARYA et al., 2016).

O amendoim é uma importante fonte de óleo e contém uma grande variedade de nutrientes, como proteínas, carboidratos, fibras, gorduras, niacina, folato, tiamina, ácido araquídico, flavonoides, magnésio e fósforo, bem como substâncias ativas funcionais, como vitaminas e resveratrol, além do fato de possuir menos fatores antinutricionais do que a soja (QINZHU et al., 2018; WANG, 2016).

Os dois principais constituintes do amendoim são as proteínas e os lipídios. Tasso Junior et al. (2004) encontraram em amendoins valores de 25 a 30% para proteínas e entre 27 e 52% para os lipídios. Já Knauft e Ozias-Akins (1995) estudaram amendoins compostos por 16 a 36% de proteínas e 36 a 54% de lipídeos. Davis et al. (2016) afirmam que as sementes de amendoim contêm carboidratos (15 a 20%), proteína (16 a 36%) e óleo (36 a 54%) como constituintes principais. As variedades comerciais brasileiras usualmente apresentam teor de óleo que oscila de 45 a 50% (TASSO JUNIOR et al., 2004).

De acordo com o Conselho Americano de Amendoim, o perfil de gordura do amendoim contém cerca de 50% de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs), 33% de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) e 14% de ácidos graxos saturados, o que é considerado uma combinação benéfica de ácidos graxos. Depois que o óleo é extraído do amendoim, o conteúdo de proteína na torta pode chegar a 50%, onde se encontram 20 aminoácidos em proporções variáveis, sendo ainda uma fonte de arginina (FELDMAN, 1999; ZHAO et al., 2011; USDA, 2019b).

Na Tabela 2.1 estão os valores nutricionais de sementes de amendoim, relativos a três principais cultivares de amendoim no mundo, Valência, Spanish e Virgínia, segundo dados disponibilizados pela Nutrient Database for Standart Reference (USDA, 2019c).

Tabela 2.1 - Composição nutricional das sementes de amendoim de três diferentes cultivares

Composição nutricional	Cultivares de amendoins		
	Valência	Spanish	Virgínia
Água (g/100 g)	4,26	6,39	6,91
Energia (kcal/100 g)	570	570	563
Proteínas (g/100 g)	25,09	26,15	25,19
Lipídios (g/100 g)	47,58	49,6	48,75
Cinzas (g/100 g)	2,17	2,03	2,61
Carboidratos (g/100 g)	20,91	15,83	16,54
Fibras (g/100 g)	8,7	9,5	8,5

Cálcio (mg/100 g)	62	106	89
Ferro (mg/100 g)	2,09	3,91	2,55
Magnésio (mg/100 g)	184	188	171
Fósforo (mg/100 g)	336	388	380
Potássio (mg/100 g)	332	744	690
Sódio (mg/100 g)	10	22	10
Zinco (mg/100 g)	3,34	2,12	4,43
Manganês (mg/100 g)	1,98	2,64	1,69
Ácidos graxos saturados (g/100 g)	7,32	7,09	6,43
Ácidos graxos monoinsaturados (g/100 g)	21,41	22,32	25,58
Ácidos graxos poli-insaturados (g/100 g)	16,5	17,23	14,87

Fonte: Adaptado de USDA Nutrient Database for Standart Reference (2019c)

O amendoim possui compostos bioativos que apresentam benefícios à saúde. Sua atividade antioxidante é devido ao total de bioativos presentes nas sementes, como os estilbenos, flavonoides, ácidos fenólicos (ácidos clorogênico, cafeico, cumárico e ferúlico), além da vitamina E no óleo.

Estudos têm relatado que o amendoim possui diversas atividades farmacológicas, associando essas propriedades à presença do resveratrol. Nutakul et al. (2011), analisando os efeitos inibitórios do resveratrol nas células cancerígenas do cólon, afirmam que esse é considerado um bom agente anti-carcinogênico devido à sua baixa toxicidade e capacidade de modular múltiplas vias moleculares, envolvidas na progressão do câncer; Petrovski et al. (2011) analisaram a influência do resveratrol na saúde cardiovascular, concluindo que esse mostrou efeitos benéficos contra a maioria das doenças degenerativas e cardiovasculares. Wang et al. (2013) obteve resultados satisfatórios ao analisarem a capacidade neuroprotetiva do resveratrol em pacientes com AVC recorrentes.

O α -tocoferol, os esteróis e os compostos fenólicos, como as isoflavonas e os flavonoides, são exemplos de compostos presentes no amendoim e que contribuem para a atividade de sequestro de radicais livres. Esses compostos promovem uma proteção contra a oxidação e auxiliam na estabilidade dos ácidos graxos presentes no amendoim e, conseqüentemente, atuam na proteção do óleo, retardando a oxidação lipídica (NEPOTE et al., 2004; SHIN et al., 2009; MARTÍN et al., 2016).

2.2. Compostos bioativos

Antioxidantes são definidos como “qualquer substância que, quando presente em baixas concentrações em um substrato oxidável, atrasa ou inibe significativamente a oxidação desse substrato” (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1995).

Os antioxidantes podem ser divididos em três grupos, de acordo com o seu mecanismo: (1) primários, que funcionam essencialmente como inibidores de radicais livres (captadores); (2) secundários, que são importantes antioxidantes preventivos que funcionam retardando as reações oxidativas; e (3) terciários, que estão relacionados com a reparação de biomoléculas danificadas (DARAMOLA; ADEGOKE, 2011). Antioxidantes multifuncionais são aqueles que podem apresentar propriedades antioxidantes primárias e secundárias (HERMUND, 2018).

Muitos dos antioxidantes naturais de interesse são de origem vegetal e pertencem à classe de compostos fenólicos e polifenólicos, bem como aos carotenoides e vitaminas antioxidantes, entre outros. A atividade dos antioxidantes e seu mecanismo de ação são ditados pelas características estruturais das moléculas envolvidas, o sistema no qual elas estão presentes, bem como as condições de processamento e armazenamento, entre outras (SHAHIDI, 2015).

Os compostos fenólicos são geralmente metabólitos secundários produzidos em plantas e podem, portanto, exercer atividade antioxidante, o que confere vários benefícios biológicos. Os que possuem mais de um grupo hidroxila (OH) são antioxidantes primários eficientes devido à sua capacidade de doar átomos de hidrogênio aos radicais livres, criando radicais fenoxila relativamente não reativos, devido à estabilização da ressonância, que consiste na deslocalização do elétron de forma a estabilizá-lo (LIMMONGKON et al., 2017; HERMUND, 2018).

Bate-Smith (1968) classificou os compostos fenólicos em três grupos, de acordo com sua disponibilidade na natureza. O grupo um (1) engloba os pouco distribuídos na natureza, são eles: os fenóis simples, pirocatecol, hidroquinona e resorcinol, entre outros. O grupo dois, os polímeros, englobam os taninos e ligninas, que não estão presentes em sua forma livre na natureza. E o grupo três envolve os compostos largamente distribuídos na natureza, que são os flavonoides, ácidos fenólicos e cumarinas, incluindo o resveratrol, dentro do grupo dos estilbenos, e alguns ácidos fenólicos como: ácido p-cumárico, ácido ferúlico, ácido cafeico e ácido clorogênico (LOPES et al., 2011; OTTO et al., 1999).

O resveratrol (3,4,5-tri-hidroxiestilbeno) é um polifenol natural encontrado em mais de 70 espécies de plantas, como uvas (*Vitis vinifera*), arando (*Vaccinium macrocarpon*) e amendoim (*Arachis hypogaea*). É um composto polifenol não-flavonoide presente em

vegetais e frutas fortemente pigmentados e um dos principais compostos polifenólicos naturais encontrados nos amendoins e brotos de amendoim. Essa substância possui diversas atividades biológicas, incluindo antitumoral, antioxidante, antiviral e fitoestrogênica (RISULEO, 2016; LIMMONGKON et al., 2017; MACHADO et al., 2017).

O resveratrol pertence ao grupo dos estilbenos e é sintetizado pela enzima resveratrol-sintase. A planta produz resveratrol como um mecanismo de defesa contra a infecção por patógenos, radiação UV e outros danos causados por estresse mecânico. Estudos mostram o resveratrol como um potente antioxidante, que pode agir como um agente quimiopreventivo do câncer, um agente cardioprotetor, protetor contra doenças metabólicas, cardiovasculares e do mal de Alzheimer, apresentando ação antioxidante, atuando no retardo ao envelhecimento, com propriedades anti-inflamatórias, neuroprotetoras e antivirais (LAGOUGE et al., 2006; GRESELE et al., 2011; SALES; RESURRECCION, 2014; MARTÍNEZ-MÁRQUEZ et al., 2016; LIMMONGKON et al., 2017; TELLONE et al., 2019).

As principais fontes do resveratrol em alimentos e bebidas são amendoim, manteiga de amendoim, uvas e vinhos tintos. Apenas algumas poucas plantas comestíveis, incluindo amendoim, são conhecidas por conter o trans-resveratrol. Recentemente, os alimentos que contêm resveratrol estão conquistando grande interesse público devido a seus benefícios para a saúde contra os riscos de doenças cardiovasculares, câncer, doença de Alzheimer, diabetes, obesidade e inflamação (KING et al., 2006; CHANG et al., 2016; ADHIKARI et al., 2018).

2.3. Germinação

A germinação é um processo biológico natural em que as sementes saem de seu estágio de latência, uma vez que as condições necessárias para o crescimento e desenvolvimento, tais como umidade, temperatura e nutrientes, dentre outros fatores, são ofertados. Tem sido identificada como uma tecnologia barata e eficaz para melhorar a qualidade das leguminosas, aumentando sua digestibilidade e a disponibilidade de aminoácidos (CHANG; HARROLD, 1988; SANGRONIS; MACHADO, 2007).

Rajjou et al. (2012) afirmaram que esse processo incorpora eventos que começam com a absorção de água pela semente seca e madura, terminando com a protrusão da radícula (ou, mais geralmente, uma parte do embrião) através dos revestimentos externos das sementes; depois disso, o crescimento das plântulas estará em andamento. Nonogaki et al. (2010) define a germinação como um processo complexo durante o qual, a semente madura

embebida deve mudar rapidamente do status de desenvolvimento de maturação para o status de germinação e se preparar para o crescimento de plântulas.

A germinação é considerada uma fase crítica, juntamente com os fatores físicos, bioquímicos e fisiológicos da semente, que são dependentes de fatores endógenos e exógenos, como temperatura e pH (BEWLEY et al., 2014; KULKARNI et al., 2014; ZUCARELI et al., 2015). Além destes, uma ampla gama de sinais externos afetam a germinação das sementes, como umidade, luz e disponibilidade de nutrientes (GILBERTSON et al., 2014; WANG, 2016).

A temperatura é um dos fatores que mais influencia a germinação, sendo a apropriada entre 20 e 30 °C para a maioria das espécies, podendo afetar a absorção e o teor de água, e também regular as reações bioquímicas e enzimáticas que fazem parte do metabolismo, ou seja, reações que são envolvidas no processo germinativo (MARCOS FILHO, 2005; BEWLEY et al., 2014; FLORES et al., 2014).

O processo germinativo é fortemente apoiado por vários tipos de compostos de reserva sintetizados e armazenados durante o desenvolvimento de sementes, como carboidratos e proteínas (PRITCHARD et al., 2002; GALILI et al., 2014). A germinação é dividida em três fases - embebição (Fase 1), indução de crescimento (Fase 2) e protrusão da radícula (Fase 3) (NONOGAKI et al., 2010; RAJJOU et al., 2012). O processo respiratório do grão é responsável pela transformação dos compostos orgânicos que serão utilizados como fontes de energia pelo embrião durante a germinação (CHIDANANDA et al., 2014).

Durante a germinação, determinadas mudanças podem ocorrer, as quais podem variar dependendo do tipo do vegetal, da variedade da semente e das condições da germinação (SANGRONIS; MACHADO, 2007).

A germinação provoca reações bioquímicas no interior das sementes que ajudam na redução dos antinutrientes e disponibilizam nutrientes essenciais, desde que estejam latentes, acarretando melhor digestão, maior concentração e maior possibilidade de absorção de substâncias, em comparação com as sementes não germinadas. Dentre os nutrientes importantes estão os ácidos graxos essenciais, as proteínas, as fibras, as vitaminas e os minerais (SILVA et al., 1998).

A germinação aumenta o valor nutritivo das leguminosas, induzindo a formação de enzimas que eliminam ou reduzem os fatores antinutricionais e indigestíveis comuns nessa família (BAU et al., 1987). Entre os fatores antinutricionais, se destacam os taninos, flavonoides, inibidores de tripsina, lectinas, ácido fítico e cumarinas (RANILLA et al., 2007). Conforme relatado por Kim et al. (2011), os brotos são ricos em fitoquímicos,

proteínas, vitaminas e minerais; Hao et al. (2016) afirmaram que durante a germinação, muitas mudanças significativas foram observadas nos processos bioquímicos e aspectos físicos que resultaram na redução de substâncias indesejáveis e na melhora dos valores nutricionais do trigo sarraceno (*Fagopyrum spp.*).

A germinação tem sido usada há muito tempo como um modo de alterar o sabor, a aparência e as propriedades tecnológicas dos grãos. O processo de germinação resulta na formação de estrutura de núcleo mole, melhorando o valor nutricional e reduzindo fatores antinutricionais, levando os cereais e pseudocereais germinados ou brotos a terem um maior valor nutritivo e fisiológico do que os não germinados e seus produtos (JAN et al., 2017; ROZAN et al., 2000). Esses nutrientes são essenciais para a saúde humana e têm sido utilizados na promoção da saúde alimentar (LIMMONGKON et al., 2017).

Nos últimos anos, houve um aumento no consumo de grãos germinados como uma consciência geral dos benefícios para a saúde, devido ao alto teor de proteína 20-30 g/100 g (MALOMO, 2013). A germinação de grãos é uma prática comum para produzir alimentos de desmame, cervejas opacas e outros pratos tradicionais (SADHU et al., 2017).

A germinação fornece farinhas de leguminosas não convencionais com maior qualidade nutricional e melhores propriedades físico-químicas que as farinhas cruas (BENÍTEZ et al., 2013). Embora haja muita informação sobre as mudanças na expressão gênica durante a germinação, nenhum evento-chave foi identificado que resulte na sua conclusão (LIU, 2016).

Os efeitos que a germinação de grãos e leguminosas causam nos nutrientes e nos fatores antinutricionais têm sido amplamente estudados. Contudo, há ainda pouca informação na literatura a respeito dos efeitos da germinação na composição e nas propriedades físico-químicas das leguminosas.

Nos últimos anos, os cientistas mostraram interesse na germinação como uma valiosa técnica de processamento para acumular componentes nutritivos e funcionais das sementes de amendoim. Como as concentrações de minerais, aminoácidos fenólicos e alguns aminoácidos essenciais aparentemente se acumulam, enquanto o conteúdo de gordura diminui significativamente durante a germinação, os brotos de amendoim têm sido recomendados como alimento saudável (YU et al., 2016).

A germinação do amendoim vem sendo bastante estudada: no entanto, quando se trata da influência desta na composição fitoquímica dos grãos, há poucas pesquisas na literatura, sendo as existentes mais voltadas para o broto do amendoim.

Wang et al. (2005) realizaram a germinação de grãos de amendoim para melhorar a biossíntese do resveratrol e preparar brotos como um vegetal funcional, e descobriram que há aproximadamente seis vezes mais resveratrol em amendoim germinado após 9 dias de germinação do que em sementes cruas; Li et al. (2014) estudaram as mudanças da composição química em sementes de amendoim durante a germinação de curto prazo e revelaram que os teores de água, minerais, ácido aspártico, metionina, prolina, ácido fólico, tiamina e fenólicos totais aumentaram dramaticamente nos cotilédones e brotos de amendoim após a germinação, enquanto os teores de gordura, riboflavina e ácido ascórbico diminuíram acentuadamente; e Yu et al. (2016) realizaram a otimização para o acúmulo de resveratrol durante a germinação do amendoim.

Khang et al. (2016) revelaram que o amendoim germinado e a soja alcançaram o máximo de compostos fenólicos e atividade antioxidante; Limmongkon et al. (2017) pesquisaram a atividade antioxidante e o conteúdo total de fenólicos e resveratrol em cinco cultivares de brotos de amendoim e concluíram que o broto de amendoim apresenta maior conteúdo de resveratrol do que o amendoim não germinado, dependendo da cultivar de amendoim; Adhikari et al. (2018) encontraram que compostos funcionais como polifenol, flavonoides e resveratrol foram significativamente altos nos brotos em comparação com aqueles nas sementes não germinadas; e os dados de Dziki e Gawlik-Dziki (2019) mostraram que a germinação dos cereais reduz a dureza dos grãos.

2.4. Farinhas

A farinha faz parte da dieta em muitos países devido ao seu preço relativamente baixo, sendo fonte de carboidratos, nutrientes essenciais e fibras, promovendo benefícios para a saúde humana: é um ingrediente predominante em vários produtos alimentícios, incluindo pão, bolos, biscoitos e macarrão. Tem-se verificado uma inserção gradativa no mercado consumidor de diversas farinhas com parâmetros específicos de qualidade nutricional e tecnológico para a produção de alimentos (CHAUHAN et al., 2015). Por ter uma baixa atividade de água e uma longa vida de prateleira, a farinha é uma das melhores formas de processamento utilizadas na indústria alimentícia.

A Anvisa (BRASIL, 2005) define farinhas como os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados considerados seguros para a produção de alimentos. O produto pode ser designado “farinha”, seguida do nome do vegetal de origem e são classificadas em farinha simples (definida como um

produto obtido da moagem ou raladura de uma só espécie vegetal) e farinha mista (como um produto obtido pela mistura de farinhas de diferentes espécies vegetais). A princípio, todo grão inteiro pode ser transformado em farinha através do processo de moagem (GRAÇA et al., 2017).

Farinha composta vem sendo muito usada nos últimos anos a fim de melhorar o valor nutricional da dieta, propiciando o equilíbrio de aminoácidos essenciais e conteúdo de carboidratos. A suplementação de farinha de trigo com farinhas de leguminosas tem grande potencial nos países em desenvolvimento para melhorar o valor nutricional de diferentes produtos de panificação. A farinha obtida a partir de outros cereais, leguminosas e alguns vegetais está sendo atualmente valorizada por sua respectiva contribuição para a qualidade dos produtos de panificação (OGHBAEI; PRAKASH, 2016; GADALLAH et al., 2017).

Farinhas de amendoim são ingredientes comercialmente disponíveis com alto teor de proteína (50%) e baixo teor de gordura: preparadas a partir de sementes de amendoim torradas, possuem sabor suave e cor bronzeada clara, que facilita sua incorporação em uma ampla gama de produtos alimentícios (DAVIS et al., 2010; PRINYAWIWATKUL et al., 1995). Apesar de seu sabor suave, boa cor e digestibilidade, a farinha de amendoim desengordurada é raramente utilizada em alimentos humanos (SIBT-E-ABBAS et al., 2015).

Ayres et al. (1974) estudaram o processamento de flocos e farinha de amendoim comestíveis, produzidos por um método de extração por solvente comercial. A composição centesimal mostrou que a farinha de amendoim e os flocos são ricos em magnésio, tiamina e niacina, com alta concentração de proteína (57%), indicando serem excelentes fortificadores para as farinhas de cereais. Seus estudos também mostraram que a farinha de amendoim contém baixos níveis de lisina e leucina, e o perfil de carboidratos solúveis indica que a farinha de amendoim tem menores teores de rafinose e estaquiose quando comparada a farinha de soja. A farinha exibe excelentes características de extrusão-expansão para uso em alimentos e cereais e, além disso, seu sabor suave e cor castanha clara facilitam a incorporação de farinha de amendoim e dos flocos em uma ampla gama de produtos alimentícios.

Em suas pesquisas sobre farinhas de amendoim Davis et al. (2007), Ferreyra et al. (2007) e Gharst et al. (2007) concentraram-se na caracterização das propriedades funcionais desses ingredientes, incluindo capacidade reológica, espumante, emulsificante, retenção de água, etc. No entanto, as capacidades antioxidantes não foram relatadas.

Davis et al. (2007) afirmaram que o conteúdo de gordura das farinhas secas influenciou diretamente nas propriedades reológicas, uma vez que as dispersões de farinhas

com maior teor de gordura foram menos viscosas do que as farinhas de baixo teor de gordura, com base no mesmo peso; Ferreyra et al. (2007) concluíram que as propriedades emulsificantes das proteínas da farinha de amendoim estão diretamente correlacionadas com a solubilidade e o pH e as propriedades emulsificantes foram menores na região isoeletrica, assim como a estabilidade da emulsão; e Gharst et al. (2007) sugeriram que dispersões de farinha de amendoim polimerizadas possuem potenciais aplicações em produtos alimentícios à base de amendoim, incluindo barras de proteína, shakes e produtos assados de valor agregado.

Adeboye et al. (2018) analisaram a adição da farinha de amendoim na composição de pães e relataram que a substituição da farinha de trigo por farinha de amendoim não apresentou uma tendência uniforme nas propriedades físicas e que o nível mais alto de inclusão de farinha de amendoim com baixo teor de gordura compromete a massa específica, cor, textura e porosidade do miolo. Todavia, a percepção do consumidor demonstrou que é perfeitamente possível produzir um pão aceitável a partir da farinha composta de amendoim e trigo com baixo teor de gordura que se compara favoravelmente com 100% da formulação de trigo integral.

2.5. Secagem

A presença de umidade durante o armazenamento resulta no crescimento de microorganismos nos alimentos. Todos os produtos agrícolas frescos contêm uma alta porcentagem de água ligada e não ligada. Caso estes sejam submetidos a um processo de secagem criterioso, sem prejuízo sobre os nutrientes ativos e com a umidade reduzida, podem ser preservados com segurança por tempo mais ou menos longo. A remoção de água líquida durante o processo de desidratação deve garantir que não ocorram reações bioquímicas indesejadas (BABU et al., 2018).

A secagem é conhecida como o método mais bem estabelecido para manter a qualidade pós-colheita dos produtos agrícolas, basicamente definida como o processo de remoção da água ou da umidade até níveis seguros com reduções de teores de água de 80 a 90% para 10 a 20%, prolongando o tempo de vida dos produtos, reduzindo assim a ação microbiológica e as taxas de reações de degradação (SILVA et al., 2015; GULCIMEN et al., 2016; TAHERI-GARAVAND et al., 2018). Gulcimen et al. (2016) afirmaram que a secagem é o melhor exemplo dentre os métodos de preservação de alimentos permanente ou de longa duração.

O processo de secagem de alimentos consiste na remoção de água, na forma de vapor, de um material sólido, para uma fase gasosa insaturada, através de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior a de ebulição da água. Em consequência da secagem, a redução do peso e do volume tem como vantagens minimizar gastos com transporte e armazenamento e possibilitar o consumo durante todo o ano de uma maior variedade de alimentos de forma prática, reduzindo, assim, as perdas ocasionadas pelo desperdício (FELLOWS, 1994; AGUIRRE; GASPARINO, 1999; SAHIN; DOYMAZ, 2017).

De acordo com Petry e Weber (2015), o processo de secagem artificial ocorre devido a um fluxo de ar quente que é forçado a passar pelo meio através de um sistema de ventilação, absorvendo a água contida na superfície do produto e criando, assim, um gradiente de umidade no interior deste. Os fatores que normalmente influenciam a taxa de secagem são: velocidade do ar de secagem, temperatura do ar de secagem e as propriedades físicas do material (ALVES FILHO; MASSARANI, 1987).

A secagem por convecção é aplicada como um processo geral para a secagem de alimentos agrícolas (MOTEBALI et al., 2013). Na secagem convectiva, a água é transferida por difusão do interior do material para sua superfície e desta para a corrente de ar por convecção, consistindo num processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem. A simultaneidade entre a transferência de calor e a massa é possibilitada pelo equilíbrio termodinâmico na temperatura local das fases dentro do material. Quando ocorre o fluxo de ar quente por entre a massa de grãos contidos no interior da câmara de secagem, há a transferência de energia do ar para os grãos: essa energia é rapidamente distribuída para o interior do grão, aquecendo toda a matéria e vaporizando parte da água contida no grão, aumentando a pressão parcial de vapor no interior deste e provocando, conseqüentemente, um gradiente de pressão entre o grão e o ar (WHITAKER, 1977; ALVES FILHO; MASSARANI, 1987; PETRY; WEBER, 2015).

2.5.1. Modelagem matemática

A modelagem matemática de simulação pode ser usada para prever o desempenho do sistema de secagem como um método significativo. Modelos eficientes são usados para projetar, aperfeiçoar, integrar a energia e controlar o secador (TAHERI-GARAVAND et al., 2018).

A modelagem matemática dos processos de secagem e a configuração experimental são aspectos importantes da tecnologia de secagem, que pode ajudar a entender a

transferência de calor e massa envolvida no processo (KUMAR et al., 2014; KARA; DOYMAZ, 2015).

A cinética de secagem de produtos agrícolas é amplamente determinada pelo método de secagem em camada delgada: a modelagem matemática do processo de secagem e a seleção das condições de operação mais adequadas para o projeto do equipamento são as maiores vantagens da tecnologia de secagem em camada fina (ONWUDE et al., 2016).

Dhanushkodi et al. (2017) verificaram que o modelo de secagem em camada fina é o mais adequado para caracterizar os parâmetros de secagem de produtos agrícolas. No estudo do processo de secagem são realizadas simulações matemáticas baseadas na secagem de camadas finas do produto. Modelos teóricos, semiteóricos e empíricos são modelos matemáticos recomendados para definir o comportamento de secagem em camada fina de produtos agrícolas (TORKI-HERCHAGANI et al., 2016).

Os modelos teóricos consideram as condições externas e os mecanismos internos de transferência de energia e massa entre o ar de secagem e o produto. O modelo teórico mais estudado é o da difusão, que se baseia na segunda lei de Fick (GONELI et al., 2017). Equações semiteóricas são derivadas principalmente da solução direta da segunda lei de Fick. Modelos empíricos demonstram altas taxas de adaptação de processos de secagem na maioria dos casos e são importantes não apenas para descrever a remoção de água em camada fina, mas também para descrever a penetração de calor durante essa remoção quando o ar quente é usado (HIZAJI et al., 2010; SILVA et al., 2014; BEIGE, 2016).

A descrição precisa do processo de secagem de alimentos e produtos agrícolas é fundamental na previsão da perda de qualidade, juntamente com o consumo de energia, otimização das condições de secagem e aumento da capacidade de secagem (MALEKJANI et al., 2013; BELGHITI et al., 2016).

Secagem em camadas finas significa que o processo acontece em um fino leito de camada de partículas do produto de secagem (SAMPAIO et al., 2017). Diversos estudos têm sido realizados sobre a difusão da água e modelagem das características de secagem de vários produtos no processo de secagem em camada fina. Aral e Bese (2016) analisaram a cinética de secagem convectiva em camada fina dos frutos do espinheiro (*Crataegus spp*); Doymaz (2017) analisou a secagem de fatias de cenoura; Sampaio et al. (2017) realizaram estudos sobre a cinética de secagem do Caqui; Goneli et al. (2017) analisaram a cinética de secagem de amendoins em camadas finas; Dhanushkodi et al. (2017) realizaram a modelagem matemática da secagem do caju em camadas finas; Araújo et al. (2017) realizaram a modelagem matemática da cinética de secagem do amendoim em camada delgada; Babu et

al. (2018) estudaram a cinética de secagem de folhas; e Sahdev et al. (2018) estudaram o desenvolvimento de expressão empírica para secagem de amendoim em camada delgada.

Diversos modelos são usados comumente para modelar empiricamente a secagem de vários tipos de produtos em camada delgada, como podem ser vistos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Modelos matemáticos aplicados aos dados de secagem em camada delgada

Modelo	Expressão matemática	
Newton	$RX = \exp(-kt)$	(2.1)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(2.2)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-kt)$	(2.3)
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-kt) + b$	(2.4)
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(2.5)
Silva et al.	$RX = \exp(-a \cdot t - b \cdot (\sqrt{t}))$	(2.6)
Thompson	$RX = \exp(-a - (\sqrt{a^2 + 4 \cdot b \cdot t}))/2 \cdot b$	(2.7)
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(2.8)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kat)$	(2.9)
Aproximação da difusão	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	(2.10)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-k_0 t) + c \cdot \exp(-k_1 t)$	(2.11)

Onde: RX - razão do teor de água, adimensional; a, b, k, k₀, k₁, n – parâmetros dos modelos; t - tempo de secagem, min.

2.6. Isotermas de sorção de água

O teor de água de qualquer produto, quando em equilíbrio com o ambiente de armazenamento ou teor de água de equilíbrio, indica a perda ou ganho de água sob condições de temperatura e umidade relativa, e está diretamente relacionado aos processos de secagem e armazenamento de produtos agrícolas (SOUSA et al., 2014).

Um dos fatores que mais influencia a qualidade de produtos agrícolas é a atividade de água, a qual é de fundamental importância para a conservação e armazenamento, em razão de influenciar diretamente na sua estabilidade. Por meio da atividade de água pode-se estudar

o comportamento higroscópico de novos produtos, mediante o conhecimento e entendimento das isotermas de adsorção de água (SILVA et al., 2015).

A disponibilidade de água para microrganismos e processos químicos em materiais higroscópicos é bem indicada pela atividade de água (a_w). A relação entre o teor de água de equilíbrio e a_w para um determinado produto a uma determinada temperatura (isotermas de sorção) pode ser expressa por modelos matemáticos (GONELI et al., 2016).

Os modelos matemáticos permitem determinar a relação entre o teor de água e a umidade relativa, que são expressos por curvas de equilíbrio higroscópico e/ou isotermas. As isotermas de sorção são essenciais para definir limites de desidratação, estimar mudanças no teor de água do produto quando armazenado a determinada temperatura e umidade relativa do ar ambiente (CHAVES et al., 2015).

As isotermas são curvas que descrevem a relação de equilíbrio entre a quantidade de água absorvida pelos componentes constituintes dos frutos e o teor de água de equilíbrio. Os modelos matemáticos utilizados para essa representação devem ter um bom ajuste para prever, com precisão, o teor de água de equilíbrio para determinada faixa de temperatura e umidade relativa do ar (CHAVES et al., 2015; SIQUEIRA et al., 2018).

As informações provenientes das isotermas de sorção são úteis para diversas aplicações, como: controlar processos de concentração e desidratação, pois a facilidade ou dificuldade para remoção de água está relacionada à atividade de água; formular misturas de alimentos de modo a evitar a transferência de teor de água entre os componentes; determinar as propriedades de barreira do material de embalagem; determinar o conteúdo de água que reduzirá o crescimento de microrganismos de interesse e prever a estabilidade física e química dos alimentos em relação à variação do seu conteúdo de água (FENNEMA et al., 2018).

Os modelos mostrados na Tabela 2.3 são amplamente utilizados para descrever as isotermas de sorção de produtos alimentícios (YOGENDRARAJAH et al., 2015). A equação de GAB leva em conta o efeito da temperatura e é considerada uma das mais úteis para determinar as condições ótimas de teor de água para uma boa estabilidade de armazenamento, especialmente para alimentos desidratados, e adotada como equação padrão pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas para descrever as isotermas de sorção (ASAE, 1995; ARSLAN; TOGRUL, 2006).

Tabela 2.3 - Modelos matemáticos para descrever isotermas de sorção de água

Modelos matemáticos	Equações
Adan e Shove	$X_e = a + (b \cdot a_w) + (c \cdot a_w^2) + (d \cdot a_w^3)$ (2.12)
GAB	$X_e = \left(\frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \right)$ (2.13)
Henderson	$X_e = a \cdot \exp(-k \cdot T)$ (2.14)
Lang-Sthinberg-Smith	$X_e = c_1 - b_1 \cdot \log(1 - a_w)$ (2.15)
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$ (2.16)
Peleg	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$ (2.17)
Smith	$X_e = a + b \cdot \log(1 - a_w)$ (2.18)

Onde: X_e – teor de água de equilíbrio, kg/kg; X_m – teor de água na monocamada molecular, kg/kg; a_w – atividade de água, adimensional; T – temperatura (°C); $a, b, b_1, c, c_1, k, k_1, k_2, n_1, n_2$ – constantes das equações.

2.7. Cinética de degradação

A degradação ou a perda de qualidade de um alimento é, na prática, representada pela perda de atributos de qualidade, como por exemplo, nutrientes e sabores característicos, ou pela formação de atributos indesejáveis, como toxinas e sabores estranhos (AZEREDO, 2004).

Segundo ALVES (2004) a equação geral da cinética da degradação tem a forma da Equação 2.19.

$$-\frac{d[A]}{d\theta} = k[A]^n \quad (2.19)$$

Onde:

A – concentração do atributo a ser avaliado;

θ – tempo;
 k – constante da velocidade da reação;
 n – ordem da reação.

A maioria das alterações que ocorrem em alimentos segue um padrão de ordem zero ou de primeira ordem. Numa reação de ordem zero a redução de um atributo desejável A , com o tempo, ocorre a uma taxa constante (TAOUKIS; LABUZA, 1996). A reação ordem zero segue a Equação 2.20.

$$A = A_0 - k\theta \quad (2.20)$$

Onde:

A – concentração do atributo a ser avaliado após um tempo “ θ ”;
 A_0 - concentração inicial do atributo a ser avaliado;
 k – constante da velocidade da reação;
 θ – tempo.

Exemplos de algumas alterações que podem ser aplicadas à cinética de ordem zero incluem degradações enzimáticas e reação de Maillard (LABUZA, 1982).

Para reações de primeira ordem, a taxa de perda de qualidade é diretamente relacionada à qualidade remanescente, ou seja, com o tempo, a qualidade se reduz gradativamente e a taxa de perda de qualidade cai (AZEREDO, 2004). A reação de primeira ordem é descrita na Equação 2.21.

$$\ln \frac{A}{A_0} = k\theta \quad (2.21)$$

Onde:

A – concentração do atributo a ser avaliado após um tempo “ θ ”;
 A_0 - concentração inicial do atributo a ser avaliado;
 k – constante da velocidade da reação;
 θ – tempo.

Perda de vitaminas e compostos bioativos, oxidação de pigmentos e crescimento microbiano são alguns dos exemplos de alterações que podem ser aplicados a um modelo de primeira ordem (TAOUKIS; LABUZA, 1996).

O tempo de meia-vida, ou seja, o tempo necessário para que a concentração de um reagente diminua pela metade de seu valor inicial, deriva das equações de ordem zero e das de primeira ordem. Para uma reação de ordem zero é expresso pela Equação 2.22, e para as de primeira ordem é expresso pelas Equações 2.23 e 2.24.

$$\theta_{1/2} = \frac{A_0}{(2 \cdot |k|)} \quad (2.22)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (2.23)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{1}{(k \cdot A_0)} \quad (2.24)$$

Onde:

k – constante da velocidade da reação;

$\theta_{1/2}$ – tempo de meia vida.

3. MATERIAL E METÓDOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas - LAPP, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) na cidade de Campina Grande.

3.1. Matérias-primas

Foram utilizadas como matérias-primas sementes de três cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.), BR1, BRS Havana e L7 Vermelho, desenvolvidas e cultivadas na Embrapa Algodão - Campina Grande, PB.

3.2. Caracterização química, física e físico-química das sementes de amendoim in natura

As sementes de amendoim in natura com pele, foram processadas em um almofariz de porcelana. O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa a 105 °C; o teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla a 550 °C com resultados expressos em porcentagem; a acidez total titulável foi determinada por titulometria com NaOH a 0,1 M, até viragem para coloração rósea e o potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado em potenciômetro digital; a proteína bruta foi calculada a partir do teor de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl com um fator de conversão de nitrogênio para proteína no amendoim de 5,46 e o teor de ácido ascórbico foi determinado através da titulação com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio (DCFI) até a obtenção da coloração rosa claro, persistente usando-se, como solução extratora, o ácido oxálico (AOAC, 2009).

O teor de lipídios foi determinado de acordo com a metodologia de Bligh e Dyer (1959) que se baseia na extração com clorofórmio, metanol e água, com posterior evaporação em estufa. A quantificação do amido foi realizada através de adaptações da metodologia citada por Carvalho et al. (2002), que se baseia na hidrólise ácida do amido e na titulação da solução de Fehling até coloração alaranjada. A medida de atividade de água foi realizada por meio do equipamento Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.) a 25 °C.

O teor de fibra bruta foi determinado em triplicata, segundo a metodologia Ba6a-05 da AOAC (2009) que consiste na digestão ácida (H₂SO₄ – 1,25%) com refluxo por 30 min a partir da ebulição, seguida de lavagem com água quente para neutralização, da digestão

alcalina (NaOH – 1,25%) com refluxo por 30 min a partir da ebulição e novamente da lavagem para neutralização. Posteriormente a amostra foi lavada com 5 mL de acetona e 5 mL de álcool etílico. Após drenagem, as amostras foram colocadas em estufa a 105 °C por 4 h, pesadas e colocadas em mufla a 550 °C por 2 h, pesadas novamente e então o teor de fibra bruta foi calculado de acordo com a Equação 3.1.

$$FB (\%) = \frac{(A-B)}{C} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Onde:

A - massa do cadinho + resíduo (g);

B - massa do cadinho + cinza (g);

C - massa da amostra (g).

Para a determinação do teor de fenólicos totais foi utilizado o método descrito por Waterhouse (2006) com reagente de Folin-Ciocalteu. Os extratos foram obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 50 mL de água destilada; após 30 minutos de repouso, os extratos foram filtrados e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido gálico; as concentrações fenólicas nas amostras foram expressas em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g de amostra.

Os taninos foram quantificados através da metodologia de Folin-Ciocalteu (LIN; TAN, 2007; MAISONT; NARKRUGSA, 2010) usando o mesmo extrato preparado para a análise de fenólicos. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido tânico e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada, as concentrações de taninos nas amostras foram expressas em mg de equivalentes de ácido tânico.

A determinação dos açúcares totais foi realizada de acordo com a metodologia de Yemm e Wilis (1954), através o método da antrona, com extratos obtidos pela diluição de 0,5 g de amostra em 50 mL de água destilada, seguida por filtração, a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm. Os açúcares redutores em glicose foram determinados pela metodologia proposta por Miller (1959) do método do ácido dinitrosalicílico (DNS), com extratos obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 25 mL de água destilada, seguida por filtração; a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 540 nm.

As antocianinas e flavonoides totais foram determinados por espectrofotometria segundo a metodologia descrita por Francis (1982). A extração foi realizada com solução de etanol-HCl 85:15 (v/v), o extrato foi preparado a partir da maceração de 1 g da amostra com 10 mL da solução, em seguida foi deixado a 5 °C em um refrigerador por 24 h, protegida da luz, após esse período, o extrato foi filtrado em algodão e o volume completado para 10 mL, a absorbância foi lida a 374 nm para flavonoides e 535 nm para antocianinas.

Os carotenoides totais foram determinados por espectrofotometria de acordo com a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987), que se baseia na extração com acetona os resultados foram expressos em mg/100 g.

Os minerais foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, EDX-7000 da marca Shimadzu. As amostras na forma de cinzas foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno de 5 µm de espessura e posteriormente submetidas ao vácuo. Foram utilizadas as seguintes condições de operação do equipamento, tensão do tubo de 15 keV (Na a Sc) e 50 keV (Ti a U) e com um colimador de 10 mm, com um detector de estado sólido Si (Li). Os resultados foram expressos em mg/100 g.

3.3. Germinação das sementes de amendoim

Foram utilizadas sementes dos cultivares de amendoim, BRS Havana, L7 Vermelho e BR1, do programa de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), safra 2018/2019.

Amostras de 100 g de cada variedade de amendoim com pele foram sanitizadas, seguindo a metodologia descrita por Setia et al. (2019): as sementes foram imersas em água destilada (1:10), contendo 7% (p/v) de hipoclorito de sódio à temperatura ambiente (28 ± 1 °C) por 5 min; depois de sanitizadas, as sementes foram drenadas em peneira por 5 min.

Para a germinação, areia previamente esterilizada (170 °C/24 h) foi usada como substrato. O processo foi realizado em bandejas (20 x 30 cm) contendo 2 kg de areia, as quais foi adicionada água destilada numa proporção de 30% (m/m). Em cada bandeja foram distribuídas 75 sementes de cada variedade de amendoim, mantendo-as em temperatura ambiente, abrigadas e com iluminação natural, realizando-se pulverizações com água destilada duas vezes por dia, em intervalos de 12 h, para manter a umidade da areia.

Após cada tempo de germinação, as sementes eram retiradas do substrato e divididas em duas amostras: uma composta apenas pelos cotilédones e outra correspondente

ao broto completo (cotilédones e radícula), submetendo-as a maceração em almofariz de porcelana, para posterior caracterização.

Após a cinética de germinação o tempo de germinação adotado para desenvolvimentos dos brotos foi determinado com base nos compostos fenólicos dos brotos colhidos em cada tempo da cinética, após determinação, as sementes foram germinadas no tempo especificado seguindo a mesma metodologia de germinação.

3.4. Caracterização das sementes de amendoim germinadas

As sementes de amendoim germinadas foram caracterizadas quanto aos parâmetros descritos no item 3.2.

Em adição foi determinado o perfil de fenólicos das sementes germinadas por HPLC de acordo com metodologia proposta por Padilha et al. (2017) e adaptado por Dutra et al. (2018). Foi utilizado um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodo (DAD) (modelo G1315D). Os dados foram processados no software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA). A coluna utilizada foi Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm) e a pré-coluna foi Zorbax C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm) (Zorbax, EUA). A temperatura do forno foi de 35 ° C e o volume de injeção foi de 20 µL da amostra, previamente diluída na fase A, e filtrada através de membrana de 0,45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil). O fluxo de solvente foi de 0,8 mL/min. O novo gradiente usado na separação foi de 0 a 5 min: 5% de B; 5–14 min: 23% B; 14-30 min: 50% de B; 30–33 min: 80% de B, em que o solvente A era uma solução de ácido fosfórico (0,1 M, pH = 2,0) e o solvente B era metanol acidificado com 0,5% de H₃PO₄. A detecção dos compostos foi realizada em 220, 280, 320, 360 e 520 nm, e a identificação e quantificação por comparação com padrões externos.

3.5. Secagem das sementes de amendoim germinadas

Os brotos triturados foram submetidos a três tratamentos de secagem em um secador com circulação de ar forçada, utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de 1 m/s, acondicionados em bandejas (8 x 8 cm) de tela de aço inoxidável (Tyler 14), em camada delgada de 0,5 cm. Após secos, os brotos foram triturados novamente por 1 minuto dando origem as farinhas de broto de amendoim.

As cinéticas de secagem foram determinadas monitorando-se a redução da massa das amostras durante a secagem por pesagem em uma balança com precisão de 0,001 g. As

bandejas com as amostras eram pesadas em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Após o término das secagens foram determinados os teores de água final pelo método gravimétrico em estufa, a 105 ± 1 °C, durante 24 horas (AOAC, 2009) e as razões do teor de água (Equação 3.2), permitindo traçar as curvas de razão do teor de água em função do tempo de secagem.

As razões do teor de água das sementes germinadas de amendoim durante as secagens nas diferentes condições de temperatura foram determinadas pela Equação 3.2.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (3.2)$$

Onde:

- RX - razão do teor de água do produto, adimensional;
- X - teor de água do produto (bs);
- X_e - teor de água de equilíbrio do produto (bs);
- X_i - teor de água inicial do produto (bs).

Para avaliar qual modelo que melhor se ajustou foram utilizados como parâmetros, o coeficiente de determinação (R²), o desvio quadrático médio (Equação 3.3) e o qui-quadrado (Equação 3.4).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{N}} \quad (3.1)$$

Onde:

- DQM - desvio quadrático médio;
- RX_{pred} - razão do teor de água predita pelo modelo;
- RX_{exp} - razão do teor de água experimental;
- N - número de observações realizadas durante o experimento.

$$\chi^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3.2)$$

Onde:

- χ² - qui-quadrado;

RX_{pred} - razão de teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} - razão de teor de água experimental;

N - número de observações;

n - número de constantes do modelo.

O coeficiente de difusão efetivo dos brotos de amendoim foi calculado utilizando a Equação 3.5 baseada na teoria da difusão. Essa equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica do produto como placa plana com espessura de 5 mm e com aproximação de sete termos.

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \right) \quad (3.3)$$

Onde:

RX – razão de teor de água;

n – número de termos;

D_{ef} – difusividade efetiva (m^2/s);

L – espessura (m);

t – tempo (s).

A influência exercida pela temperatura no coeficiente de difusão efetivo foi avaliada através da equação de Arrhenius (Equação 3.6), que representa a relação entre a energia de ativação e a velocidade em que a reação ocorre.

$$D_{ef} = A_0 \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad (3.4)$$

Onde:

D_{ef} - difusividade efetiva (m^2/s);

A_0 - fator pré-exponencial (m^2/s);

E_a - energia de ativação (J/mol);

R - constante universal dos gases (8,314 J/mol K);

T - temperatura absoluta (K).

As propriedades termodinâmicas entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, relacionadas ao processo de secagem dos brotos de amendoim processados, foram calculados através do método descrito por Corrêa et al. (2012), de acordo com as Equações 3.7, 3.8 e 3.9, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - RT \quad (3.5)$$

$$\Delta S = R \left(\ln A_0 - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln T \right) \quad (3.6)$$

Onde:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3.7)$$

ΔH - variação de entalpia (J/mol);

ΔS - variação de entropia (J/mol K);

ΔG - variação de energia livre de Gibbs (J/mol);

k_B - constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ (J/K);

h_P - constante de Planck, $6,626 \times 10^{-34}$ (J s);

T- temperatura (K).

3.6. Obtenção das farinhas das sementes de amendoim germinadas

Após determinado do tempo de secagem necessário para reduzir o teor de água dos brotos de amendoim até cerca de 3%, através da cinética de secagem, os brotos secos foram processados por 2 min em um processador do tipo mixer (marca Philco, modelo PMX600, 600 W dando origem a farinha de broto de amendoim.

3.7. Caracterização química, física, físico-química e tecnológica das farinhas das sementes de amendoim germinadas

As farinhas de broto de amendoim foram caracterizadas quanto aos parâmetros químicos, e físico-químicos, de acordo com as análises descritas nos itens 3.2 e 3.4 e quanto aos parâmetros físicos e tecnológicos, de acordo com as metodologias citadas a seguir.

3.7.1. Massa específica aparente

Seguindo a metodologia de Politi (2011), a amostra foi pesada em uma proveta, foram consideradas as massas da proveta vazia e da mesma com a amostra e em seguida foi

observado o volume ocupado pela massa pesada na proveta e esse valor foi utilizado para cálculo da massa específica aparente de acordo com a Equação 3.10:

$$\rho_a = \frac{M_{p,vazia} - M_{p,cheia}}{V_{ocupado}} \quad (3.8)$$

Onde:

ρ_a - massa específica aparente (g/cm³);

$M_{p,vazia}$ - massa da proveta vazia (g);

$M_{p,cheia}$ - massa da proveta com amostra(g);

$V_{ocupado}$ - volume ocupado pela amostra na proveta (cm³).

3.7.2. Massa específica compactada

Foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Tonon (2009), onde foram colocadas aproximadamente 2 g de farinha numa proveta graduada de 10 mL, a proveta foi submetida a batimentos (50 vezes) com uma altura de 5 cm sobre a bancada, o volume ocupado pela amostra na proveta foi anotado e a massa específica calculada de acordo com Equação 3.11:

$$\rho_c = \frac{m}{V} \quad (3.9)$$

Onde:

ρ_c - massa específica compactada (g/cm³);

m - massa da amostra (g);

V - volume ocupado pela amostra na proveta (cm³).

3.7.3. Massa específica absoluta

A massa específica absoluta das farinhas foi determinada em triplicata, pelo método picnométrico, utilizando tolueno, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, utilizando um picnômetro. A massa específica absoluta foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras.

3.7.4. Porosidade

A porosidade intragranular das amostras foi calculada pela Equação 3.12 a partir da relação entre a massa específica aparente e a massa específica absoluta (BANKER; ANDERSON, 1987).

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (3.10)$$

Onde:

ε - porosidade intragranular (adimensional);

ρ_{ap} - massa específica aparente (g/cm³);

ρ_{abs} - massa específica absoluta (g/cm³).

3.7.5. Fator de Hausner (FH)

O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a massa específica compactada e a massa específica aparente (Equação 3.13) (HAUSNER, 1967). Este fator está correlacionado com a fluidez do material granulado.

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (3.11)$$

Onde:

FH - fator de Hausner (adimensional);

ρ_c - massa específica compactada (g/cm³);

ρ_a - massa específica aparente (g/cm³).

3.7.6. Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC)

O índice de Carr ou índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de empacotamento da farinha, esse foi calculado conforme Bhusari et al. (2014), através da Equação 3.14.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (3.12)$$

Onde:

IC - índice de Carr (%);

ρ_c - massa específica compactada (g/cm³);

ρ_a - massa específica aparente (g/cm³).

3.7.7. Solubilidade

A solubilidade (Equação 3.15) foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005). No método, um grama de farinha foi adicionado a 100 mL de água destilada sob velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. A farinha dispersa em água foi então centrifugada a 2.600 rpm por 5 min e uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri, previamente tarada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

$$\text{Solubilidade} = \frac{\text{massa da farinha no sobrenadante}}{\text{massa da farinha total}} \times 100 \quad (3.13)$$

3.7.8. Higroscopicidade

Foi determinada de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. As amostras em pó (cerca de 1 g) foram colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C por sete dias, com posterior pesagem dos pós e após esse período as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 h, e pesadas.

3.7.9. Molhabilidade

Foi utilizado o método de molhabilidade estático proposto por Freudig et al. (1999), com algumas modificações, 500 mg de amostra foram depositadas suavemente sobre 100 mL de água destilada a 25 °C, foi determinado visualmente o tempo necessário para que todas as partículas se molhassem. A molhabilidade foi calculada de acordo com a Equação 3.16:

$$M = \frac{N}{t} \quad (3.14)$$

Onde:

M - molhabilidade;

N - massa da amostra (mg);

t - tempo (s).

3.7.10. Ângulo de repouso

O ângulo de repouso foi obtido da geometria do cone para uma massa de amostra de 30 g: a massa da amostra foi colocada no cone para escoamento, formando uma pilha sobre uma superfície reta, foi medido o diâmetro e a altura da pilha e o ângulo de repouso foi calculado de acordo com a Equação (17).

$$\theta = \text{Arctang}\left(\frac{2h}{D}\right) \quad (3.15)$$

Onde:

θ - ângulo de repouso;

h - altura da pilha; e

D - diâmetro da pilha.

3.8. Seleção das melhores farinhas

A melhor farinha de cada cultivar foi selecionada com base na temperatura de secagem que deu origem a farinha com maior teor de fenólicos totais.

Nas melhores farinhas foram determinados os parâmetros a seguir:

3.8.1. Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi realizada de acordo a metodologia baseada na atividade antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) utilizando os radicais ABTS (RUFINO et al., 2010) e DPPH (MORALES e JIMÉNEZ-PÉREZ et al., 2001), onde esses métodos detectam transferências de elétrons e transferência de átomos de hidrogênio. Os resultados foram expressos em percentual de atividade antioxidante de cada amostra comparando-se a uma curva-padrão de trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico).

3.8.2. Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas utilizando o higrômetro Aqualab modelo 3TE, na temperatura de 25 °C, de acordo com o método especial indireto estático proposto por Crapiste e Rotstein (1982). Os dados obtidos foram ajustados utilizando os modelos de Adan e Shove, Gab, Henderson, Lang, Oswin, Peleg e Smith (Tabela 2.3) utilizando-se regressão não linear, pelo método Quasi-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados

experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 3.18.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{\text{exp}} - X_{\text{pred}})|}{X_{\text{exp}}} \quad (3.16)$$

Onde:

P - desvio percentual médio (%);

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente;

X_{pre} - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

3.8.3. Citotoxicidade

A análise de citotoxicidade foi determinada com base no método descrito por Meyer et al. (1982) com adaptações, que utiliza a *Artemia salina*. Inicialmente, foi preparada uma solução salina a base de NaCl, KCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 e $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Em um recipiente de vidro foi adicionado 0,1 g de cistos de *Artemia salina* a 500 mL da solução salina preparada, o recipiente foi mantido por 48 h a temperatura ambiente sob iluminação constante e a solução foi mantida em agitação constante, com o auxílio de uma bomba de aquário para a aeração.

Foi preparada uma solução aquosa da farinha de broto de amendoim na proporção de 0,1 g de amostra para 10 mL de água. Após o período de incubação os náuplios de *Artemia* foram expostos às soluções das farinhas em tubos de ensaio nas concentrações de 2500, 1250, 250, 125, 62,5 e 31,25 μL de solução aquosa de farinha para 5 mL de água destilada e 5 mL de solução salina, a cada tubo de ensaio foram adicionados 10 náuplios de *Artemia salina*. Após 24 h de exposição foi realizada a contagem dos náuplios vivos e mortos, sendo considerados vivos todos aqueles que apresentavam qualquer tipo de movimento, quando observados próximos a uma fonte luminosa.

Os resultados foram submetidos ao tratamento estatístico utilizando-se o programa estatístico Bio Stat 2009®, efetuando-se a análise PROBIT, que fornece os valores de DL50.

3.8.4. Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais

Amostras de 1 g de farinha foram dispostas em recipientes de vidro e acondicionadas em potes herméticos com solução saturada de NaCl com umidade relativa de aproximadamente 75% nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C. Foram realizadas análises a

cada dois dias do teor de fenólicos totais e antocianinas durante o período de 16 dias, totalizando 8 pontos de coleta de dados durante o experimento mais o ponto zero. As constantes cinéticas de ordem zero (AZEREDO et al., 2004) e de primeira ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Modelos cinéticos

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - k$ (3.17)
Primeira	$A = \frac{1}{kt + \frac{1}{A_0}}$ (3.18)
	$\ln \frac{A}{A_0} = -k$ (3.19)

Em que: A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo θ ; A_0 - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação e θ – tempo

Para avaliar o modelo que melhor se ajustou a cinética de degradação do teor dos compostos fenólicos totais, foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação (R^2).

O tempo de meia vida ($\theta_{1/2}$) foi calculado através das Equação 3.22, 3.23 e 3.24, derivadas a partir das equações de ordem zero e primeira ordem; o valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação.

$$\theta_{1/2} = \frac{A_0}{(2x|k|)} \quad (3.20)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (3.21)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{1}{(kxA_0)} \quad (3.22)$$

3.8.4.1. Efeito da temperatura

Foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 3.25) para verificar o efeito da temperatura na constante cinética (k), o valor de k utilizado foi o do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos fenólicos totais.

$$k = Ae^{\left(\frac{-E_A}{RT}\right)} \quad (3.23)$$

Onde:

k – constante da reação;

A – fator pré-exponencial;

E_A – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie);

R – constante universal dos gases ($0,8314 \text{ KJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$);

T- temperatura absoluta (K).

O fator Q_{10} que indica o aumento ou a redução da taxa de uma reação, quando o produto é armazenado a uma temperatura $10 \text{ }^\circ\text{C}$ maior, foi determinado pelo Equação 3.26.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (3.24)$$

Onde:

k – constante da reação;

T – temperatura absoluta (K).

3.9. Análise dos dados

Os dados gerados a partir das análises e experimentos realizados nesse estudo foram submetidos à análise de variância com delineamento inteiramente casualizado e à comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do programa Statistica versão 7.7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ARTIGO I: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM EM DIFERENTES TEMPOS DE GERMINAÇÃO

Resumo

O processo de germinação tem sido amplamente utilizado para produzir grãos e brotos com características nutricionais e sensoriais desejáveis. O amendoim germinado tem ganhado popularidade crescente como uma fonte de princípios funcionais. Assim, objetivou-se examinar os efeitos da germinação sobre as propriedades nutricionais de sementes de três cultivares de amendoim desenvolvidas no Brasil: L7 Vermelho, BRS Havana e BR1. As sementes de amendoim foram germinadas durante quatro dias: os brotos e cotilédones foram avaliados quanto ao teor de água, lipídios, proteínas, amido total, açúcares totais e redutores, compostos fenólicos totais, taninos, antocianinas e flavonoides. O processo de germinação reduziu em quase 50% os teores de lipídios das cultivares e os teores de amido, bem como causou variações na quantidade de compostos funcionais mediante o controle do tempo transcorrido do início da germinação. Os maiores teores de compostos fenólicos totais foram observados nas amostras do broto da cultivar BRS Havana no tempo de germinação de 48 h (1096 mg/100 g); do cotilédone da cultivar L7 Vermelho em 24 h (1041 mg/100 g); e do broto da L7 Vermelho em 48 h (1027 mg/100 g).

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L., grãos germinados, compostos fenólicos; bioativos; alimentos funcionais.

Abstract

The germination process has been widely used to produce grains and sprouts with desirable nutritional and sensory characteristics. Sprouted peanuts have gained increasing popularity as a source of functional principles. Thus, the objective was to examine the effects of germination on the nutritional properties of seeds of three peanut cultivars developed in Brazil: L7 Vermelho, BRS Havana and BR1. Peanut seeds were germinated for four days: shoots and cotyledons were evaluated for water content, lipids, proteins, total starch, total and reducing sugars, total phenolic compounds, tannins, anthocyanins and flavonoids. The germination process reduced the lipid content of cultivars and starch content by almost 50%, as well as caused variations in the number of functional compounds by controlling the time

elapsed from the beginning of germination. The highest levels of total phenolic compounds were observed in the bud samples of cultivar BRS Havana at germination time of 48 h (1096 mg/100 g); the cotyledon of the cultivar L7 Vermelho in 24 h (1041 mg/100 g); and from the shoot of the Red L7 in 48 h (1027 mg/100 g).

Keywords: *Arachis hypogaea* L., germinated grains, phenolic compounds; bioactives; functional foods.

INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é um dos alimentos mais populares do mundo, devido às suas características sensoriais positivas e sua ampla gama de usos, como alimento e como ingrediente em outros produtos (RAO et al., 2018).

Além das qualidades sensoriais, o amendoim é importante fonte de óleo e contém grande variedade de nutrientes, como proteínas, carboidratos, fibras, gorduras, niacina, folato, tiamina, ácido araquídico, magnésio e fósforo. Também é rico em compostos bioativos, incluindo os compostos fenólicos, flavonoides e resveratrol. Sua atividade antioxidante se deve, principalmente, à presença desses compostos, da vitamina E e de diferentes ácidos hidroxicinâmicos, incluindo os ácidos cafeico, clorogênico, cumárico e ferúlico (QINZHU et al., 2018; AKRAM et al., 2018).

O processo de germinação melhora o valor nutritivo do grão devido as mudanças complexas que ocorrem na sua bioquímica. Essas mudanças acontecem durante a hidratação e após a germinação; o processo tem início com a embebição da semente e termina com o alongamento do eixo embrionário, quando as reservas começam a ser mobilizadas para fornecer energia ao embrião em desenvolvimento (LIMMONGKON et al., 2017; CANTELLI et al., 2017; LOZANO-ISLA et al., 2018).

Durante o processo, enzimas intrínsecas, como amilases, proteases, lipases, e enzimas de degradação de fibras e fitases, hidrolisam as proteínas, os carboidratos e os lipídios em moléculas mais simples, melhorando assim a digestibilidade desses componentes e aumentando sua biodisponibilidade e bioacessibilidade quando consumidas por humanos ou animais. Em adição, essas transformações bioquímicas causam um grande impacto nos teores de antioxidantes nas sementes germinadas, aos quais são atribuídos benefícios à saúde. O processo germinativo também diminui os níveis de fatores antinutricionais, como taninos, ácidos fítico e oxálico (ZHU et al., 2017; GAN et al., 2019; NEMZER et al., 2019).

A qualidade do grão germinado pode ser influenciada por muitos fatores, incluindo tempo de imersão, tempo de germinação e temperatura. Além disso, outros fatores como a variedade e a genética das sementes têm sido estudados, no sentido de melhorar as características nutricionais e bioquímicas de sementes germinadas (OYEDEJI et al., 2018a; OYEDEJI et al., 2018b).

O estágio de germinação do amendoim é importante, uma vez que o conteúdo fenólico e a atividade antioxidante em cada estágio variam (LIMMONGKON et al., 2017). Wang et al. (2016) afirmaram que sementes de amendoim e de amendoim germinado são nutritivas, possuem propriedades medicinais e potencial econômico. Akram et al. (2018) relataram que o amendoim germinado contém níveis mais elevados de flavonoides e outros compostos fenólicos, assim como atividade antioxidante aumentada em relação às sementes in natura.

Vários estudos têm retratado o broto de amendoim como um vegetal funcional e fonte abundante de substâncias fenólicas, como o resveratrol, a araquidina-1 e opiceatanol (LI et al., 2014; WANG et al., 2016; LIMMONGKON et al., 2017; YANG et al., 2019).

O objetivo deste estudo foi examinar os efeitos da germinação sobre as propriedades nutricionais de sementes de três cultivares geneticamente melhoradas de amendoim.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes dos cultivares de amendoim, BRS Havana, L7 Vermelho e BR1, do programa de melhoramento genético da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), safra 2018/2019.

Amostras de 100 g de cada variedade de amendoim com pele foram sanitizadas, seguindo a metodologia descrita por Setia et al. (2019): as sementes foram imersas em água destilada (1:10), contendo 7% (p/v) de hipoclorito de sódio à temperatura ambiente (28 ± 1 °C) por 5 min; depois de sanitizadas, as sementes foram drenadas em peneira por 5 min.

Para a germinação, areia previamente esterilizada (170 °C/24 h) foi usada como substrato. O processo foi realizado em bandejas (20 x 30 cm) contendo 2 kg de areia, as quais foi adicionada água destilada numa proporção de 30% (m/m). Em cada bandeja foram distribuídas 75 sementes de cada variedade de amendoim, mantendo-as em temperatura ambiente, abrigadas e com iluminação natural, realizando-se pulverizações com água destilada duas vezes por dia, em intervalos de 12 h, para manter a umidade da areia.

Após cada tempo de germinação, as sementes eram retiradas do substrato e divididas em duas amostras: uma composta apenas pelos cotilédones e outra correspondente ao broto

completo (cotilédones e radícula), submetendo-as a maceração em almofariz de porcelana, para posterior caracterização.

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa a 105 °C/24 h (AOAC, 2009). A proteína bruta foi calculada a partir do teor de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando-se de um fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,46 (AOAC, 2009). O teor de lipídios foi determinado de acordo com a metodologia de Bligh e Dyer (1959), que se baseia na extração com clorofórmio, metanol e água. A quantificação do amido foi realizada conforme metodologia citada por Carvalho et al. (2002), que se fundamenta na hidrólise ácida do amido e na titulação da solução de Fehling.

Para a determinação do teor dos compostos fenólicos totais foi utilizado o método descrito por Waterhouse (2006), com o reagente de Folin-Ciocalteu. Os extratos foram obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 50 mL de água destilada; após 30 min de repouso, os extratos foram filtrados e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido gálico; as concentrações fenólicas nas amostras foram expressas em mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100 g de massa seca (ms).

Os taninos foram quantificados através da metodologia de Folin-Ciocalteu (LIN; TANG, 2007; MAISON; NARKRUGSA, 2010), usando o mesmo extrato empregado na análise dos compostos fenólicos totais. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido tânico, e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada; as concentrações de taninos nas amostras foram expressas em mg de equivalente de ácido tânico (EAT)/100 g de massa seca (ms).

A determinação dos açúcares totais foi realizada de acordo com a metodologia de Yemm e Willis (1954), pelo método da antrona, com extratos obtidos pela diluição de 0,5 g de amostra em 50 mL de água destilada, seguida por filtração; a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm. Os açúcares redutores foram determinados utilizando a metodologia proposta por Miller (1959), pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS), com extratos obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 25 mL de água destilada, seguida por filtração; a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 540 nm.

As antocianinas e os flavonoides totais foram determinados por espectrofotometria,

segundo a metodologia descrita por Francis (1982). A extração foi realizada com solução de etanol-HCl 85:15 (v/v), com o extrato preparado a partir da maceração de 1 g da amostra em 10 mL da solução, deixada a 5 °C/24 h, protegida da luz; após esse período, o extrato foi filtrado em algodão e o volume completado para 10 mL, fazendo-se a leitura da absorbância a 374 nm para flavonoides e 535 para antocianinas.

A determinação do perfil dos minerais foi realizada em espectrômetro de fluorescência de raios-X por energia dispersiva da marca Shimadzu, modelo EDX-720.

Os dados gerados a partir das análises e experimentos realizados nesse estudo foram submetidos à análise de variância e à comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do programa Statistica versão 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 está representada a evolução do teor de água das amostras dos cotilédones e dos brotos de amendoim durante a germinação, do tempo zero até 96 h, com início às 24 h para os brotos.

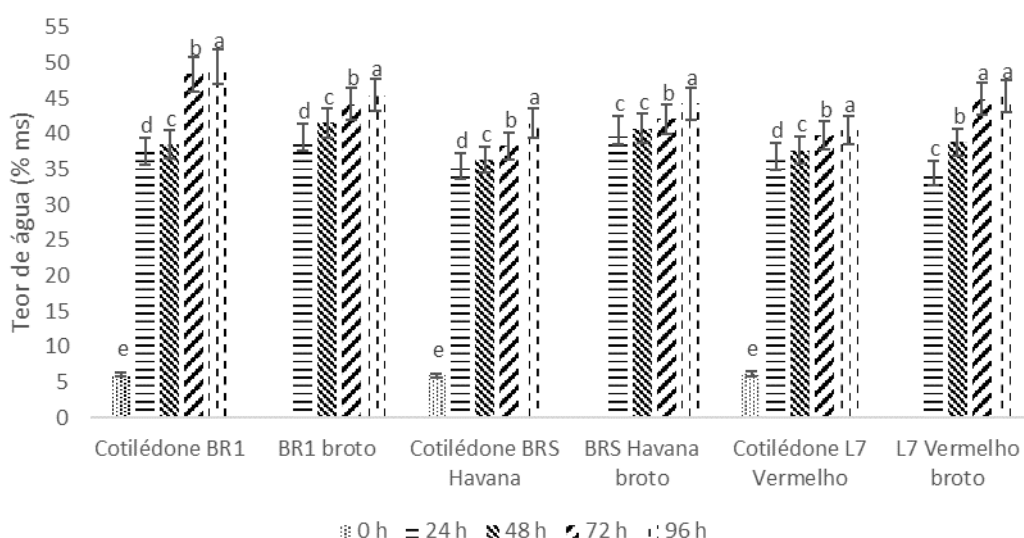


Figura 1 – Teores de água de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação. Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão.

O teor de água das sementes de amendoim aumentou rapidamente durante as primeiras 24 h de germinação, período que inclui o tempo de imersão, com acréscimo próximo a um fator de 7. A partir de 24 h, os acréscimos são gradativos e com menor

variação. Esse comportamento também foi observado por Li et al. (2014) analisando a influência do tempo de germinação na composição química do amendoim. Lechowska et al. (2019) estudando o teor de água na germinação de sementes de colza (*Brassica napus*) e Yildirim (2018) analisando a taxa de absorção de água em sementes de trigo germinadas, também obtiveram resultados semelhantes.

Após a embebição, as sementes secas passam por uma rápida fase de captação de água, definida como a fase I da germinação. A rápida absorção de água inicial é necessária para a retomada da atividade metabólica, como o reparo de mitocôndrias e DNA e síntese de proteínas. O reparo de membranas e organelas, as atividades metabólicas e o alongamento dos eixos embrionários poderiam ser responsáveis pelos aumentos graduais do conteúdo de água nos cotilédones e brotos após transcorrido o período inicial (HAN; YANG, 2015; BEWLEY, 1997). A cultivar BRS Havana apresentou o menor teor de água inicial com 5,88%, em comparação numérica a BR1 (6,05%) e a L7 Vermelho (6,17%). Embora a cultivar BR1 não tenha o maior teor de água inicial, foi a que apresentou os maiores teores de água, demonstrando uma capacidade diferenciada de absorção de água em relação às outras cultivares.

Na Figura 2 mostra-se o teor de lipídios totais dos cotilédones e dos brotos de amendoim durante a germinação. De forma geral, observa-se reduções do teor de lipídios ao fim do período de germinação, resultando em menores teores nos tempos 72 e 96 h. As maiores reduções, no entanto, são vistas entre as amostras germinadas em relação às não germinadas (0 h), comportamento verificado nas três cultivares. Yu et al. (2016) igualmente reportaram decréscimos no conteúdo de lipídios de amendoins acarretados pela germinação. De acordo com Skupien et al. (2017), os triacilgliceróis são degradados durante a embebição e germinação do grão para fornecer carbono e energia para o crescimento pós-germinativo.

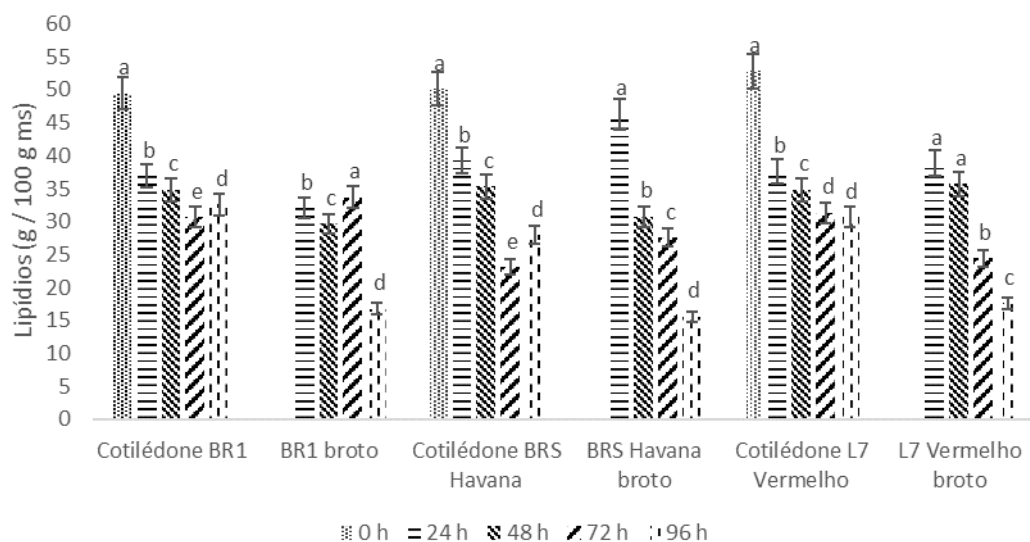


Figura 2 - Níveis de lipídios de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão.

Nas amostras compostas pelos brotos, ao contrário do que se observa nos cotilédones, constata-se uma redução acentuada no teor de lipídios no tempo de 96 h, tempo em que os brotos já se encontravam desenvolvidos, ressaltando-se, conforme Adhikari et al. (2018), os brotos de amendoim têm uma quantidade de gordura consideravelmente menor que as sementes não germinadas. Os comportamentos verificados são consistentes com os resultados encontrados por Rao et al. (2018) e por Li et al. (2014) analisando os efeitos da germinação no amendoim durante 5 dias.

Na Figura 3 mostra-se o comportamento do teor de proteínas nos cotilédones e brotos nos diferentes tempos de germinação. Constata-se uma redução estatisticamente significativa no teor de proteínas, ao final das 96 h, para as amostras em todas as cultivares. Nos cotilédones têm-se igualmente reduções entre as amostras não germinadas (tempo zero) e as amostras com 24 h de germinação em todas as cultivares; nos brotos a decréscimos entre as amostras com 24 h e as com 48 h, seguidos por valores estatisticamente iguais nos tempos de 48 e 72 h no broto BRS havana, e de 24, 48 e 72 h no caso do broto L7 vermelho.

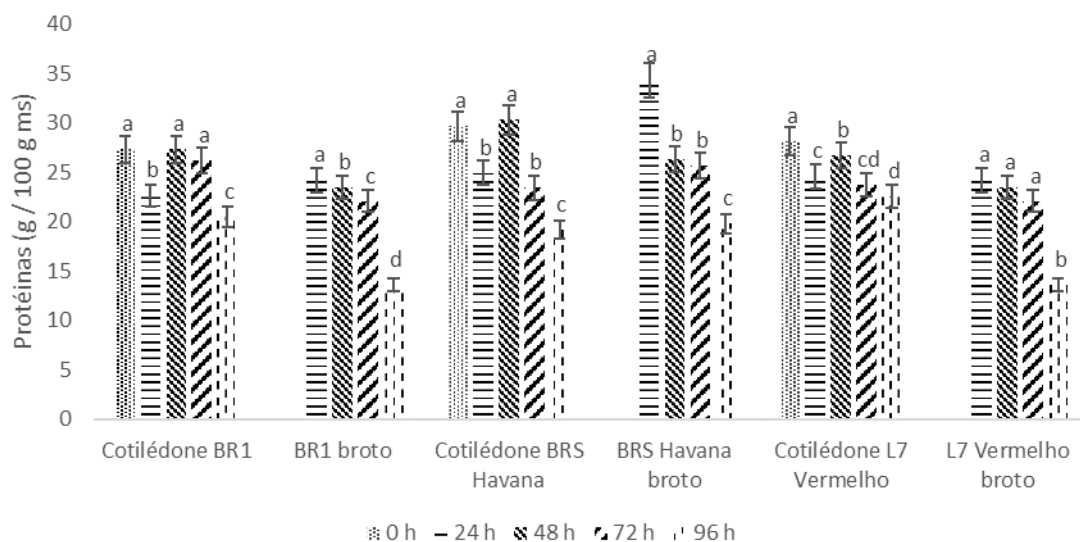


Figura 3 - Níveis de proteínas de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

Os brotos de todas as cultivares apresentaram níveis de proteínas, em geral, mais baixos se comparados aos cotilédones, exceto o broto da cultivar BRS Havana no tempo 24 h, com o maior teor de proteínas entre todas as amostras. Li et al. (2014) observaram uma constância no teor de proteínas em amendoins durante cinco dias de germinação, enquanto Adhikari et al. (2018) relataram que os níveis de proteínas do amendoim se reduziram significativamente durante cinco dias de germinação; Rao et al. (2018) afirmaram que o teor de proteínas apresentou uma redução de 10% após o quinto dia de germinação, quando comparado a semente não germinada. Kang et al. (2010) encontraram brotos com níveis mais altos de proteínas que o amendoim não-germinado. De acordo com Martínez et al. (2011), as mudanças durante a germinação podem variar dependendo do tipo do vegetal, da variedade da semente e das condições da germinação, o que justifica as discrepâncias entre os resultados obtidos por diferentes autores.

As sementes incluem proteínas com muitas funções diferentes, as quais são sintetizadas durante o desenvolvimento e maturação, posteriormente, incluídas como proteínas de armazenamento e, finalmente, degradadas durante a germinação. As proteínas, os lipídios e outros princípios macromoleculares insolúveis são hidrolisados em substâncias moleculares menores, como aminoácidos solúveis, para a biossíntese e geração de energia durante o processo de germinação (RAO et al., 2018; MARTINEZ et al., 2011).

Na Figura 4 são apresentados os teores de amido dos cotilédones e brotos das três cultivares de amendoim durante as 96 h de germinação. O teor de amido dos cotilédones sofreu uma redução média de cerca de 40%, após a protusão da radícula. Os menores valores estatísticos de amido foram observados às 48 h de germinação, exceto no broto L7 vermelho, em que o teor mínimo foi atingido às 24 h de germinação. Durante o processo de germinação, enzimas hidrolíticas são ativadas para decompor moléculas grandes, como amido, polissacarídeos não-amiláceos e proteínas para respiração, o que resulta na síntese de novos constituintes celulares em grãos germinados (YODPITAK et al., 2019). A redução do amido ocorre devido ao aumento da atividade da α -amilase durante a germinação (GHUMMAN et al., 2016).

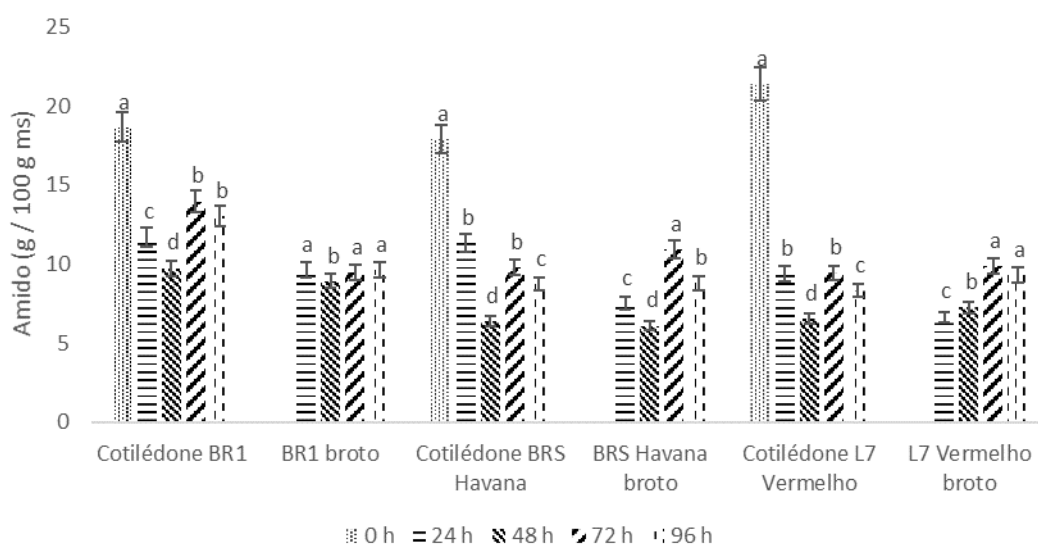


Figura 4 - Níveis de amido de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

As variações do teor de amido nos brotos podem estar relacionadas, não apenas aos carboidratos provenientes da mobilização de reservas, mas também aos produtos da fotossíntese, tendo em vista que nesse período as plântulas já apresentam clorofila (ALENCAR et al., 2012).

O crescimento de sementes é diretamente suportado pela glicose livre vinda da degradação do amido, coincidindo com a mobilização da reserva de sementes. Já os metabolismos básicos na célula são ativados durante a germinação (HAN; YANG, 2015).

Na Figura 5 são apresentados os teores de açúcares totais de cotilédones e brotos das três cultivares de amendoim. Observa-se que os níveis de açúcares totais dos cotilédones aumentaram nas três cultivares ao final das 24 h de germinação, reduzindo-se a partir de então, até chegar ao valor mínimo às 72 ou 96 h, conforme a cultivar. Comportamento semelhante foi observado no broto da cultivar L7 vermelho, enquanto nas cultivar BR1 e BRS Havana os aumentos continuaram até às 48 h, seguindo-se decréscimo a partir de então. Corte et al. (2006), Li et al. (2014), Han e Yang (2015) e Zhu, Adedeji e Alavi (2017), trabalhando com sementes de sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides* Benth), amendoim, sementes de *Arabidopsis* e trigo, respectivamente, observaram que a germinação reduziu os níveis de açúcares totais.

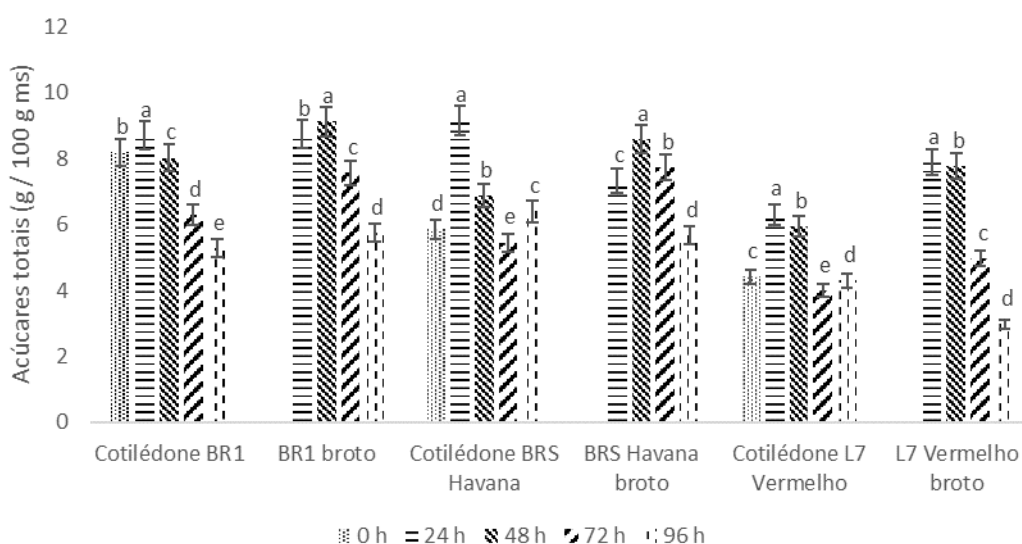


Figura 5 - Níveis de açúcares totais de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

Na Figura 6 são apresentados os teores de açúcares redutores com o tempo de germinação das amostras de cotilédones e brotos de amendoim. Nas cultivares BR1 e BRS Havana, os teores de açúcares redutores oscilaram com o tempo germinação; as amostras de cotilédones apresentaram valores estaticamente menores ao fim das 96 h, que as amostras não germinadas (tempo zero) em todas as cultivares. Na cultivar L7 vermelho, o comportamento foi de decréscimo consistente com o tempo de germinação, tanto do cotilédone quanto do broto.

O aumento no conteúdo de açúcares em grãos germinados pode ser atribuído ao aumento das atividades enzimáticas, levando à hidrólise de carboidratos complexos em açúcares simples (ZHU, ADEDEJI e ALAVI, 2017); Li et al. (2014) afirmaram que o aumento do teor de açúcares redutores durante a germinação das sementes ocorre, principalmente, devido ao aumento da glicose celulósica como consequência de reação metabólica.

O amendoim é uma semente oleaginosa típica, e os açúcares e gorduras são as principais fontes de energia mobilizadas na sua germinação (KORNBERG; BEEVERS, 1957). Assim, a diminuição significativa no teor de açúcares e gordura das sementes, durante a germinação, é atribuída à produção de energia necessária para a atividade metabólica, como a síntese de RNA, DNA, proteínas estruturais, enzimas e outras moléculas biológicas (LI et al., 2014).

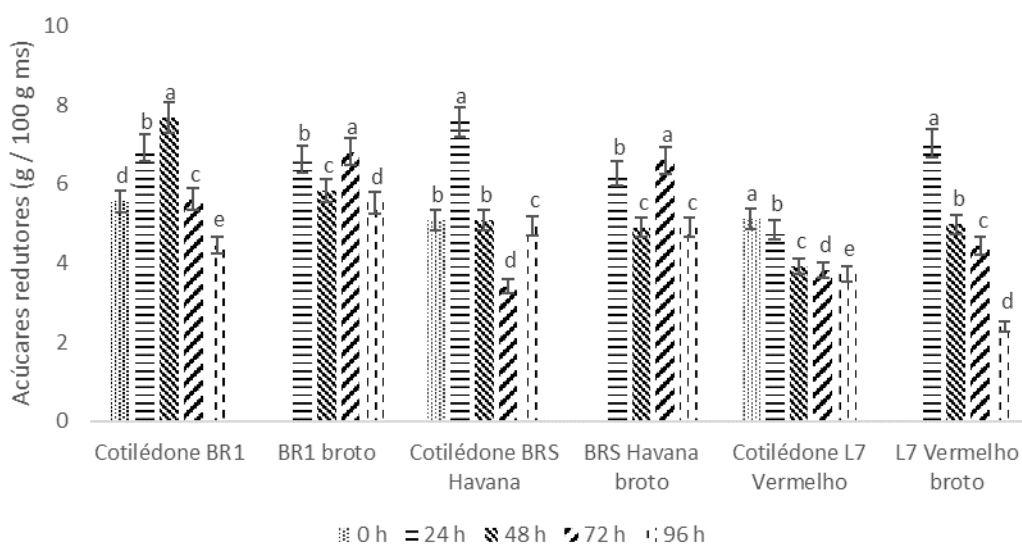


Figura 6 - Níveis de açúcares redutores de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

Na Figura 7 é apresentada a evolução do teor de compostos fenólicos totais dos cotilédones e brotos das três cultivares de amendoim.

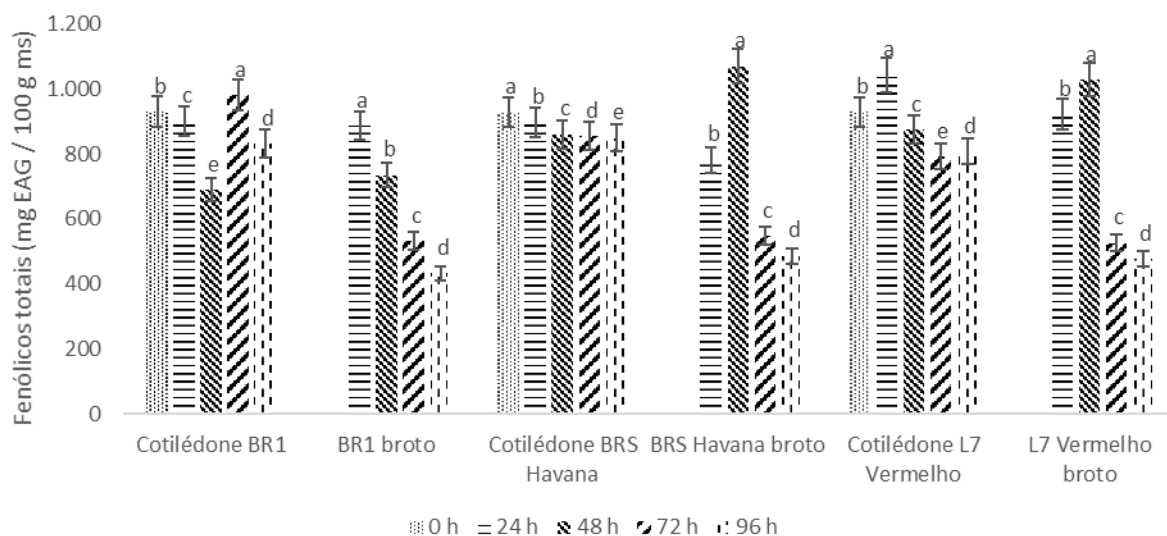


Figura 7 - Níveis de fenólicos totais de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

Considerando os cotilédones, a cultivar BRS Havana teve o teor de compostos fenólicos totais reduzidos com a germinação em todos os tempos, enquanto as cultivares BR1 e L7 Vermelho apresentaram teores máximos e mínimos após germinação, entretanto, em tempos diferentes entre si. Os valores atingiram, em 72 h, 981 mg EAG/100 g ms de ácido gálico para o cultivar BR1 e, em 48 h, 1041 mg EAG/100 g ms para o L7 Vermelho. A cultivar BRS Havana apresentou um leve declínio, com uma redução de 8,5% em relação ao amendoim in natura, ao final das 96 h de germinação. Nos brotos, o comportamento dos compostos fenólicos totais é semelhante nas três cultivares, com os maiores valores observados às 48 h de germinação, com reduções gradativas a partir de então, atingindo valores mínimos às 96 h.

O maior teor de compostos fenólicos totais foi determinado na amostra do broto de BRS Havana no tempo de 24 h (1096 mg EAG/100 g ms), seguido pelo cotilédone de L7 Vermelho em 24 h (1041 mg EAG/100 g ms) e o broto de L7 Vermelho em 48 h (1027 mg EAG/100 g ms).

Diversos autores têm relatado que a germinação leva ao aumento no conteúdo de compostos fenólicos no amendoim (YANG et al., 2019; ADHIKARI et al., 2018; LIMMONGKON et al., 2017; WANG et al., 2017). Os resultados encontrados nesse estudo mostram que a influência da germinação pode variar com a cultivar e com o tempo de

germinação. Comportamento semelhante foi encontrado por Adhikari et al. (2018) estudando a influência do tempo de germinação em quatro cultivares e duas linhagens de amendoim; e por Limmongkon et al. (2017) analisando o comportamento do teor de fenólicos em amendoins durante quatro dias de germinação.

Na Figura 8 são apresentados os teores de taninos nos cotilédones e brotos das três cultivares de amendoim. Os taninos são compostos polifenólicos adstringentes e amargos, tradicionalmente considerados antinutricionais, com capacidade de ligar-se e precipitar proteínas e outros compostos orgânicos. A grande tendência dos taninos para formar complexos com proteínas, ao invés de carboidratos e outros polímeros, explica a baixa digestibilidade das proteínas de leguminosas (MARTINEZ et al., 2011; LI et al., 2014).

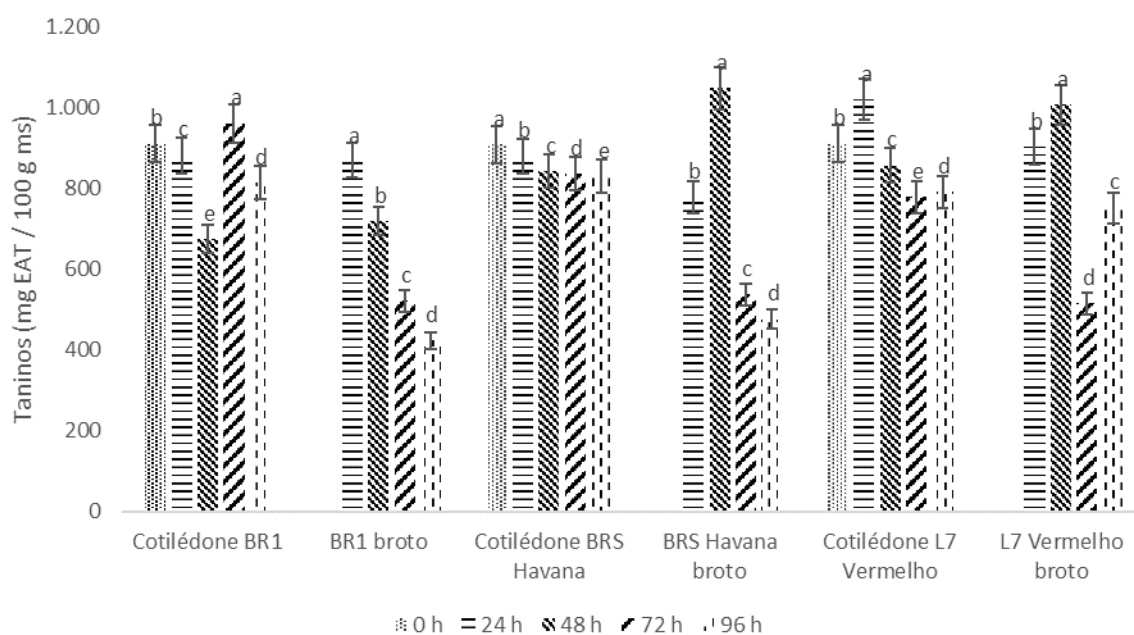


Figura 8 - Níveis de taninos totais de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

O broto da cultivar BR1 e o cotilédone da cultivar BRS Havana mostraram reduções gradativas no teor de taninos em relação às amostras não germinadas, desde o tempo de 24 h, com os mínimos no tempo de 96 h. As demais amostras apresentaram teores maiores e menores que as não germinadas, dependendo do tempo de germinação, tendo em comum, exceto no cotilédone da cultivar BR1, valores máximos entre 24 e 48 h e valores mínimos entre 72 e 96 h de germinação. Nos cotilédones, o valor máximo foi atingido no tempo de

72 h, com 962 mg EAT/100 g ms na cultivar L7 Vermelho. Nos brotos, o pico foi de 1049 mg EAT/100 g ms, observada na cultivar BRS Havana no período de 48 h.

Oloyo (2004) afirmou que a concentração de taninos, em leguminosas, diminui após 2 dias de germinação, alcançando o seu nível mínimo e que após o quinto dia seus teores elevam. Essa redução tem sido discutida entre os autores, os quais esclarecem que a oxidação de polifenóis está ativada durante a germinação, causando hidrólise enzimática de taninos com conseqüente redução (SANGRONIS; MACHADO, 2007; GHAVIDEL PRAKASH, 2007; SANGRONIS et al., 2006).

As Figuras 9 e 10 trazem os resultados, respectivamente, de flavonoides e antocianinas ao longo das 96 h de germinação de cotilédones e brotos. Houve um aumento geral no conteúdo de flavonoides e antocianinas das amostras com o processo de germinação. O conteúdo de flavonoides atingiu seus maiores valores no tempo de 48 h para os cotilédones das cultivares BR1 e BRS Havana, indo de valores iniciais de 0,52 e 0,47 mg/100 g ms para 10,6 e 16,4 mg/100 g ms, respectivamente, e no tempo de 96 h para as demais amostras de brotos e cotilédones.

O conteúdo de antocianinas apresentou uma tendência semelhante ao de flavonoides, com aumentos durante o período de germinação. Nos cotilédones das cultivares BR1 e BRS Havana os valores máximos foram atingidos às 48 h de germinação, enquanto nas demais amostras os maiores teores foram observados às 96 h, coincidindo com o comportamento dos flavonoides.

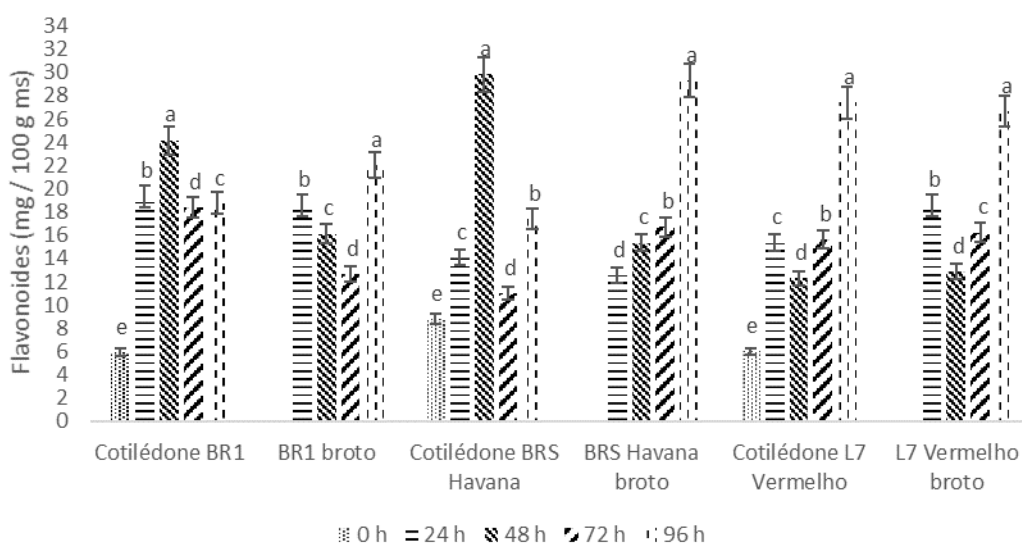


Figura 9 - Níveis de flavonoides de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação. Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

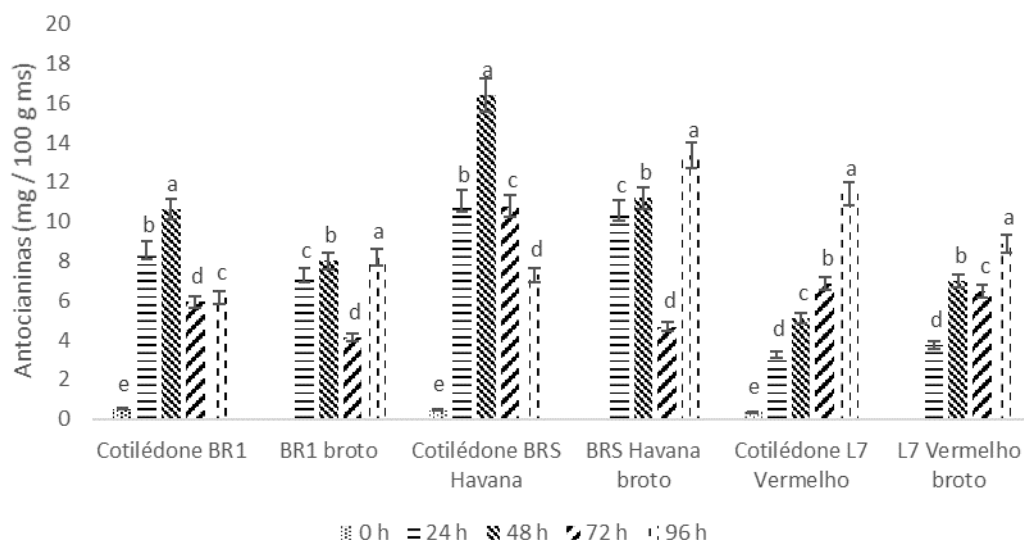


Figura 10 - Níveis de antocianinas de três cultivares de amendoim durante quatro dias de germinação

Barras com letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); barras verticais indicam \pm desvio padrão

Os resultados mostram a influência positiva do processo germinativo na síntese de compostos bioativos, dando origem a amostras ricas em flavonoides e antocianinas. Compostos bioativos como as antocianinas e os flavonoides apresentam efeitos antioxidantes, atuando como sequestradores de radicais livres e estão frequentemente associados à prevenção de doenças cardiovasculares (BRAGA et al., 2018). Resultados semelhantes foram obtidos por Li et al. (2014) que observaram aumentos significativos no conteúdo de flavonoides durante 5 dias de germinação de sementes de amendoim.

Nas Tabelas 1 e 2 apresentam-se os resultados dos perfis de minerais e da fibra bruta dos brotos com 48 horas de germinação e das sementes não germinadas das três cultivares estudadas.

Conforme se vê na Tabela 1, o processo de germinação modificou a composição química das sementes, alterando significativamente o teor de minerais dos brotos de amendoim. Os teores de magnésio, fósforo, potássio, cálcio e cobre, para os brotos de amendoim com 48 h de germinação, foram reduzidos de forma estatisticamente significativa, sendo inferiores aos das sementes não germinadas, nas três cultivares estudadas.

Os teores de sódio, ferro e zinco aumentaram com o processo germinativo, com os brotos apresentando diferenças estatisticamente significativas quando comparados com as sementes não germinadas, comportamento observado nas três cultivares. Sharma et al.

(2017) afirmaram que o aumento no conteúdo mineral nos brotos pode ser causado pela fitase, uma enzima fosfatizada específica do fitato que é ativada durante o processo de germinação, devido a hidrólise do ácido fitico.

Tabela 1 – Teor de minerais de sementes não germinadas e brotos das três cultivares de amendoim

Minerais (mg/100 g)	BR1		BRS havana		L7 vermelho							
	NG	G	NG	G	NG	G						
Na	36,82	b	25,82	a	ND	ND	17,59	b	30,53	a		
Mg	622,13	a	282,88	b	550,47	a	285,41	b	720,87	a	398,7	b
P	786,44	a	408,18	b	880,55	a	468,46	b	743,58	a	469,9	b
K	949,95	a	435,76	b	870	a	449,27	b	927,35	a	454,45	b
Ca	87,51	a	42,07	b	81,33	a	41,13	b	82,49	a	50,03	b
Mn	1,73	a	1,06	b	1,29	b	0,89	b	1,89	a	1,31	a
Fe	1,97	b	1,52	a	2,12	b	1,6	a	2,32	b	2,41	a
Cu	0,51	a	0,19	b	0,64	a	0,22	b	0,6	a	0,25	b
Zn	2,95	b	2,52	a	3,6	b	3,02	a	3,3	b	2,42	a

*letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); NG – semente de amendoim não germinado; G – germinado; ND – não detectado.

Li et al. (2014) relataram que o teor de ferro do amendoim germinado aumentou com o processo de germinação, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo. No entanto, estes autores afirmaram que os teores de cálcio e magnésio no amendoim germinado foram notavelmente superiores aos do amendoim cru, resultado diferente do encontrado. Kajla et al. (2017) reportaram que os conteúdos de potássio, cálcio, sódio, fósforo e magnésio foram reduzidos após 48 h de germinação de sementes de linhaça. Bains et al. (2014) não relataram variação significativa nos teores de ferro e cálcio dos feijões mungo (*Vigna radiata*), feijão caupi (*Vigna unguiculata*) e grão de bico em decorrência da germinação, entretanto, o processo reduziu o teor de fósforo das amostras.

Conforme os dados apresentados na Tabela 2, a germinação afetou o teor de fibra bruta das amostras, que teve uma redução significativa ($p < 0,05$) após a germinação por 48 h. Comportamento similar foi observado por Bubelova et al. (2018) após o período de germinação de 96 h de grãos de lentilha (*Lens culinaris* L.), e por Adeyeye et al. (2018) em sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) após germiná-las por 28 h; já Albarracín et al. (2016)

não observaram alterações no teor de fibra bruta do arroz (*Oryza sativa* L.) após 24 h de germinação.

Tabela 2 – Teor de fibra bruta de sementes não germinadas e brotos das três cultivares de amendoim

Fibra bruta (% ms)	BR1		BRS havana		L7 vermelho	
	NG	G	NG	G	NG	G
	26,24 ± 0,95a	24,14 ± 0,09b	30,24 ± 1,44a	25,74 ± 0,93b	24,95 ± 0,89a	17,89 ± 0,41a

*letras diferentes, representam valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$); NG – semente de amendoim não germinado; G – germinado.

De acordo com Chitra et al. (1996), o aumento da atividade da α -galactosidase, durante a germinação, causa uma diminuição no teor de oligossacarídeos das leguminosas, levando a níveis reduzidos de fibras, o que justifica o comportamento observado nesse estudo.

CONCLUSÕES

O processo de germinação permitiu obter produtos com baixos teores de lipídios e amido e com maiores teores de compostos funcionais, em comparação com as sementes não germinadas.

A germinação alterou os teores de lipídios, amido, açúcares totais e redutores, compostos fenólicos, taninos, flavonoides, antocianinas e minerais em todas as amostras. O teor de proteínas apresentou reduções pouco expressivas ou estabilidade. Os lipídios e o amido foram reduzidos com a germinação, enquanto os flavonoides e as antocianinas aumentaram. Os teores de açúcares totais e redutores, compostos fenólicos e taninos apresentaram variações estatísticas, dependendo do tempo de germinação, que afetou de forma diferente o tipo de amostra – cotilédone ou broto – e a cultivar.

A germinação mostrou-se um processo eficaz para alterar a composição do amendoim, permitindo modular o teor de nutrientes e a síntese de compostos bioativos mediante o controle do tempo de germinação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEYE, E. I.; ADESINA, A. J.; OLALEYE, A. A. Chemical and functional evaluations of raw, steeped and germinated sorghum bicolor. **Analytical Chemistry: An Indian**

Journal, v. 19, n. 1, p. 141, 2018.

ADHIKARI, B.; DHUNGANA, S. K.; ALI, M. W.; ADHIKARI, A., KIM, I. D.; SHIN, D. H. Resveratrol, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant potential of seeds and sprouts of Korean peanuts. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1275-1284, 2018.

AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Peanut (*Arachis hypogaea* L.): a prospective legume crop to offer multiple health benefits under changing climate. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1325-1338, 2018.

ALBARRACÍN, M.; TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; GONZÁLEZ, R. J.; DRAGO, S. R. Physicochemical properties and structural characteristics of whole grain *Oryza sativa* L. with different treatments. **Food Science and Technology International**, v. 22, n. 4, p. 333-342, 2016.

ALENCAR, N. L.; INNECCO, R.; GOMES-FILHO, E.; GALLÃO, M. I.; ALVAREZ-PIZARRO, J. C.; PRISCO, J. T.; OLIVEIRA, A. B. D. Seed reserve composition and mobilization during germination and early seedling establishment of *Cereus jamacaru* DC ssp. *jamacaru* (*Cactaceae*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 823-832, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 2009. 1115p.

BAINS, K.; UPPAL, V.; KAUR, H. Optimization of germination time and heat treatments for enhanced availability of minerals from leguminous sprouts. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1016-1020, 2014.

BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **The plant cell**, v. 9, n. 7, p. 1055, 1997.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRAGA, A. R. C.; MESQUITA, L. M. S.; MARTINS, P. L. G.; HABU, S.; ROSSO, V. V. A fermentação com *Lactobacillus* da polpa de Jussara leva à conversão enzimática de antocianinas, aumentando a atividade antioxidante. **Jornal de Composição e Análise de Alimentos**, v. 69, p.162-170, 2018.

BUBELOVA, Z.; SUMCZYNSKI, D.; SALEK, R. N. Effect of cooking and germination on antioxidant activity, total polyphenols and flavonoids, fiber content, and digestibility of lentils (*Lens culinaris* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 1, p. e13388, 2018.

CANTELLI, K. C.; SCHMITD, J. T.; DE OLIVEIRA, M. A.; STEFFENS, J.; STEFFENS, C.; LEITE, R. S.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. Brotos de linhagens genéticas de soja: avaliação das propriedades físico-químicas. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 20, e.2016074, 2017.

CARVALHO, H. H.; JOMG, E. V.; BELLÓ, R.M. **Alimentos: métodos físicos e químicos de análises**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 180 p.

CHITRA, U.; SINGH, U.; RAO, P. V. Phytic acid, in vitro protein digestibility, dietary fiber, and minerals of pulses as influenced by processing methods. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 49, n. 4, p. 307-316, 1996.

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

GAN, R. Y.; CHAN, C. L.; YANG, Q. Q.; LI, H. B.; ZHANG, D.; GE, Y. Y.; CORKE, H. Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. In: **Sprouted Grains**. AACC International Press, 2019. p. 191-246.

GHAVIDEL, R. A.; PRAKASH, J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, *in vitro* iron and calcium bioavailability and *in vitro* starch and protein digestibility of some legume seeds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 7, p. 1292-1299, 2007.

GHUMMAN, A.; KAUR, A.; SINGH, N. Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinari*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 137-144, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.075>

HAN, C.; YANG, P. Studies on the molecular mechanisms of seed germination. **Proteomics**, v. 15, n. 10, p. 1671-1679, 2015.

HUANG, X. T.; LI, X.; XIE, M. L.; HUANG, Z.; HUANG, Y. X.; WU, G. X.; PENG, Z. R.; SOL, Y. N.; MING, Q. L.; LIU, Y. X.; Resveratrol: review on its discovery, anti-leukemia effects and pharmacokinetics. **Chemico-Biological Interactions**, v. 306, n.1, p. 29-38, 2019.

KAJLA, P.; SHARMA, A.; SOOD, D. R. Effect of germination on proximate principles, minerals and anti-nutrients of flaxseeds. **Asian Journal of Dairy & Food Research**, v. 36, n. 1, p. 52-57, 2017.

KANG, H. I.; KIM, J. Y.; KWON, S. J.; PARK, K. W.; KANG, J. S.; SEO, K. I. Antioxidative effects of peanut sprout extracts. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, v. 39, n. 7, p. 941-946, 2010.

KORNBERG, H. L.; BEEVERS, H. The glyoxylate cycle as a stage in the conversion of fat to carbohydrate in castor beans. **Biochimica et biophysica acta**, v. 26, n. 3, p. 531-537, 1957.

LECHOWSKA, K.; KUBALA, S.; WOJTYLA, L.; NOWACZYK, G.; QUINET, M.; LUTTS, S.; GARNCZARSKA, M. New insight on water status in germinating *Brassica napus* seeds in relation to priming-improved germination. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 3, p. 540, 2019.

LI, Y. C.; QIAN, H.; SUN, X. L.; CUI, Y.; WANG, H. Y.; DU, C.; XIA, X. H. The effects of germination on chemical composition of peanut seed. **Food Science and Technology Research**, v. 20, n. 4, p. 883-889, 2014.

LIMMONGKON, A.; JANHOM, P.; AMTHONG, A.; KAWPANUK, M.; NOPPRANG, P.; POOHADSUAN, J.; BOONSONG, T. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 332-338, 2017.

LIMMONGKON, A.; NOPPRANG, P.; CHAIKEANDEE, P.; SOMBOON, T.; WONGSHAYA, P.; PILAISANGSUREE, V. LC-MS/MS profiles and interrelationships between the anti-inflammatory activity, total phenolic content and antioxidant potential of Kalasin 2 cultivar peanut sprout crude extract. **Food chemistry**, v. 239, p. 569-578, 2018.

LIN, J.Y.; TANG, C.Y. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. **Food Chemistry**, v. 101, p. 140-147, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.162>.

LOZANO-ISLA, F.; CAMPOS, M. L.; ENDRES, L.; BEZERRA-NETO, E.; POMPELLI, M. F. Effects of seed storage time and salt stress on the germination of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 118, p. 214-224, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.052>.

MAISONT, S.; NARKRUGSA, W. The effect of germination on GABA content, chemical composition, total phenolics content and antioxidant capacity of thai waxy paddy rice. **Kasetsart Journal**, v. 44, n. 5, p. 912-923, 2010.

MARTINEZ, A. P. C.; MARTINEZ, P. C. C.; SOUZA, M. C.; BRAZACA, S. G. C. Alterações químicas em grãos de soja com a germinação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 23-30, 2011.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 3, p. 426-428, 1959.

NEMZER, B.; LIN, Y.; HUANG, D. Antioxidants in sprouts of grains. In: **Sprouted Grains. AACC International Press**. p. 55-68, 2019.

NKHATA, S. G.; AYUA, E.; KAMAU, E. H.; SHINGIRO, J. B. Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 8, p. 2446-2458, 2018.

OLOYO, R. A. Chemical and nutritional quality changes in germinating seeds of *Cajanus cajan* L. **Food Chemistry**, v. 85, n. 4, p. 497-502, 2004.

OYEDEJI, A. B.; MELLEM, J. J.; IJABADENIYI, O. A. Improvement of some quality attributes of soymilk through optimization of selected soybean sprouting parameters using response surface methodology. **CyTA - Journal of Food**, v. 16, n. 1, p. 230-237, 2018a.

OYEDEJI, A. B.; MELLEM, J. J.; IJABADENIYI, O. A. Potential for enhanced soy storage protein breakdown and allergen reduction in soy-based foods produced with optimized sprouted soybeans. **LWT**, v. 98, p. 540-545, 2018b.

QINZHU, Z.; YAN-LING, C.; DONG-XIAO, S.; TIAN, B.; YANG, Y.; SHAN, H. Process optimization and anti-oxidative activity of peanut meal Maillard reaction products. **LWT - Food Science and Tecnology**, v. 97, p. 573-580, 2018.

RAO, H.; CHEN, C.; TIAN, Y.; LI, Y.; GAO, Y.; TAO, S.; XUE, W. Germination results in reduced allergenicity of peanut by degradation of allergens and resveratrol enrichment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 50, p. 188-195, 2018.

SANGRONIS, E.; MACHADO, C. J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. **LWT - Food Science and Tecnology**, v. 40, p. 116-120, 2007.

SANGRONIS, E.; RODRÍGUEZ, M.; CAVA, R.; TORRES, A. Protein quality of germinated *Phaseolus vulgaris*. **European Food Research Technology**, v. 222, p. 144-148, 2006.

SETIA, R.; DAI, Z.; NICKERSON, M. T.; SOPIWNYK, E.; MALCOLMSON, L.; AI, Y. Impacts of short-term germination on the chemical compositions, technological characteristics and nutritional quality of yellow pea and faba bean flours. **Food Research International**, v. 122, p. 263-272, 2019.

SHARMA, S.; SAXENA, D. C.; RIAR, C. S. Using combined optimization, GC-MS and analytical technique to analyze the germination effect on phenolics, dietary fibers, minerals and GABA contents of Kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*). **Food chemistry**, v. 233, p. 20-28, 2017.

SKUPIEŃ, J.; WÓJTOWICZ, J.; KOWALEWSKA, L.; MAZUR, R.; GARSTKA, M.; GIECZEWSKA, K.; MOSTOWSKA, A. Dark-chilling induces substantial structural changes and modifies galactolipid and carotenoid composition during chloroplast biogenesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) cotyledons. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 111, p. 107-118, 2017.

WANG, G.; LEI, Z.; ZHONG, Q.; WU, W.; ZHANG, H.; MIN, T.; LAI, F. Enrichment of caffeic acid in peanut sprouts and evaluation of its in vitro effectiveness against oxidative stress-induced erythrocyte hemolysis. **Food chemistry**, v. 217, p. 332-341, 2017.

WANG, H.; WANG, J.H.; GUO, X.B.; BRENNAN, C.S.; LI, T.; FU, X.; CHEN, G.; LIU, R.H. Effect of germination on lignin biosynthesis, and antioxidant and antiproliferative activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Food Chemistry**, v. 205, p. 170-177, 2016.

WANG, K. H.; LAI, Y. H.; CHANG, J. C.; KO, T. F.; SHYU, S. L.; CHIOU, R. Y. Y. Germination of peanut kernels to enhance resveratrol biosynthesis and prepare sprouts as a functional vegetable. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 2, p. 242-246, 2005.

WATERHOUSE, A. Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-6, 2006.

YANG, Q. Q.; CHENG, L.; LONG, Z. Y.; LI, H. B.; GUNARATNE, A.; GAN, R. Y.; CORKE, H. Comparison of the Phenolic profiles of soaked and germinated peanut cultivars via UPLC-QTOF-MS. **Antioxidants**, v. 8, n. 2, p. 47, 2019.

YEMM, E.W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-515, 1954.

YILDIRIM, M. The effect of drying of bread wheat seeds following first water uptake on germination rate. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 28-33, 2018.

YODPITAK, S.; MAHATHEERANONT, S.; BOONYAWAN, D.; SOOKWONG, P.; ROYTRAKUL, S.; NORKAEW, O. Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. **Food Chemistry**, v. 289, p. 328-339, 2019.

YU, M.; LIU, H.; YANG, Y.; SHI, A.; LIU, L.; HUI, H.; WANG, Q. Optimization for resveratrol accumulation during peanut germination with phenylalanine feeding and ultrasound-treatment using response surface methodology. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 4, p. 938-945, 2016.

ZHU, L.; ADEDEJI, A. A.; ALAVI, S. Effect of germination and extrusion on physicochemical properties and nutritional qualities of extrudates and tortilla from wheat. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 8, p. 1867-1875, 2017.

4.2. ARTIGO II - CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE BROTOS DE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOIM

Resumo

A germinação é uma técnica de processamento usada como forma de transformar e/ou enriquecer nutricionalmente grãos de consumo alimentar. O uso de brotos e grãos germinados exige cuidados de conservação tendo em vista seu alto teor de água, tornando-se necessário reduzi-lo a fim de aumentar a sua vida útil e preservá-los em temperatura ambiente. Nesse sentido, objetivou-se com esse trabalho estudar a cinética de secagem de brotos de amendoim de três cultivares melhoradas (BR1, BRS Havana e L7 Vermelho) em camada delgada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C; ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais; determinar os coeficientes de difusão efetivos e as propriedades termodinâmicas. Dentre os modelos matemáticos testados, o modelo de Aproximação da Difusão apresentou os melhores parâmetros de ajuste, com os maiores coeficientes de determinação (R^2) e os menores desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) para todos os ensaios de secagem. Os coeficientes de difusão efetivos foram na ordem de 10^{-10} m²/s, aumentando proporcionalmente com a elevação da temperatura de secagem, com esta relação descrita por uma equação do tipo Arrhenius, obtendo-se valores de energia de ativação entre 18,54 kJ/mol e 42,33 kJ/mol. Os valores das propriedades termodinâmicas da variação de entalpia e da entropia foram reduzidos com a elevação da temperatura de secagem, enquanto a energia livre de Gibbs aumentou na faixa de temperatura avaliada.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L., germinação, difusividade efetiva, energia de ativação.

Abstract

Germination is a processing technique used as a way to transform and/or nutritionally enrich grains for food consumption. The use of sprouts and germinated grains requires conservation care in view of their high-water content, making it necessary to reduce it in order to increase their shelf life and preserve them at room temperature. In this sense, the objective of this work was to study the drying kinetics of peanut shoots from three improved cultivars (BR1, BRS Havana and L7 Vermelho) in thin layer at temperatures of 50, 60 and 70 °C; fit mathematical models to experimental data; determine the effective diffusion coefficients and thermodynamic properties. Among the mathematical models tested, the Diffusion

Approximation model presented the best adjustment parameters, with the highest coefficients of determination (R^2) and the smallest mean square (DQM) and chi-square (χ^2) deviations for all drying tests. The effective diffusion coefficients were in the order of 10^{-10} m²/s, increasing proportionally with the increase in the drying temperature, with this relationship described by an Arrhenius-type equation, obtaining activation energy values between 18.54 kJ/mol and 42.33 kJ/mol. The values of the thermodynamic properties of the enthalpy and entropy variation were reduced with the increase of the drying temperature, while the Gibbs free energy increased in the evaluated temperature range.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., germination, effective diffusivity, activation energy.

INTRODUÇÃO

A germinação tem sido usada como uma técnica de processamento para acumular componentes nutritivos e funcionais das sementes de amendoim. Como as concentrações de minerais, aminoácidos fenólicos e alguns aminoácidos essenciais aparentemente se acumulam, enquanto o conteúdo de gordura diminui significativamente, os brotos de amendoim têm sido recomendados como alimento saudável (YU et al., 2016).

Seguindo esse pressuposto, Wang et al. (2005) descobriram que há aproximadamente seis vezes mais resveratrol em amendoim germinado do que nas sementes após 9 dias de germinação. Limmongkon et al. (2017) concluíram que o broto de amendoim apresenta maior conteúdo de resveratrol do que o amendoim não germinado. Adhikari et al. (2018) encontraram brotos com uma maior quantidade de polifenol, flavonoides e resveratrol, quando comparados com sementes não germinadas.

No entanto, por exigir umidificação, o processo aumenta a deteriorabilidade dos grãos. O uso de grãos germinados como alimento fresco é limitado devido ao alto teor de água (35 a 60% bu), que reduz a vida útil desses produtos, devendo-se recorrer a secagem para conduzir o teor de água a um nível seguro (DZIKI; GAWLIK-DZIKI, 2019).

A secagem por ar quente é a técnica de secagem controlada mais comumente usada para produtos agrícolas, consistindo em um processo complexo, no qual, a água do material é removida em transferências simultâneas de calor e massa (HORUZ et al., 2018; TAHERI-GARAVAND et al., 2018).

A descrição precisa do processo de secagem é fundamental na previsão da perda de qualidade, juntamente com o consumo de energia, otimização das condições e aumento da capacidade de secagem. A modelagem matemática e a configuração experimental são

aspectos importantes da tecnologia que ajudam a entender as transferências de calor e massa envolvidas no processo (MALEKJANI et al., 2013; BELGHITH et al., 2016).

A cinética de secagem de produtos agrícolas é amplamente determinada pelo método de secagem em camada delgada (ONWUDE et al., 2016), no qual, conforme Torki-Herchagani et al. (2016), se baseiam os modelos teóricos, semiteóricos e empíricos, recomendados para definir o comportamento de secagem em camada delgada.

O modelo da difusão é o modelo teórico mais estudado entre os aplicados ao processo de secagem de produtos agrícolas, permitindo determinar as principais propriedades termodinâmicas envolvidas no processo de secagem como a entalpia, entropia e energia livre de Gibbs. A variação de entalpia fornece a variação de energia ocorrida na interação das moléculas de água com os constituintes do produto. A entropia está associada com a ligação ou repulsão das forças no sistema e com o arranjo espacial da relação água-produto, definindo o grau de ordem ou desordem existente nesse sistema (ARAÚJO et al., 2017).

A energia livre de Gibbs está relacionada com a energia requerida para transferir moléculas de água de uma superfície sólida para o estado de vapor e equivale à medida do trabalho feito pelo sistema para realizar esse processo. Através da energia livre de Gibbs é possível verificar a espontaneidade do processo de perda de água entre o produto e o meio; para valores de energia livre de Gibbs negativos, o processo é espontâneo; e para valores positivos é não-espontâneo (TEIXEIRA et al., 2017).

Diante da ausência de informações a respeito de cultivares geneticamente melhoradas, neste trabalho objetivou-se estudar a cinética de secagem de brotos de amendoim obtidos da germinação de três novas cultivares (BR1, BRS Havana e L7 Vermelho) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °; ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais; determinar os coeficientes de difusão efetivo e as propriedades termodinâmicas do processo.

MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas

Foram utilizadas sementes das cultivares de amendoim, BRS Havana, L7 Vermelho e BR1, do programa de melhoramento genético da Embrapa, safra 2018/2019. As sementes foram cedidas pela Embrapa Algodão, Campina Grande – PB.

Higienização e germinação das sementes

Sementes com pele de cada cultivar de amendoim foram sanitizadas através da imersão em solução de hipoclorito de sódio a 7% (m/v), na proporção de 1:10 à temperatura ambiente (28 ± 1 °C) por 5 min, seguindo a metodologia descrita por Setia et al. (2019) com adaptações. Depois de sanitizadas, as sementes foram drenadas em peneira por 5 min.

Para a germinação, areia previamente esterilizada (170 °C/24 h) foi usada como meio germinativo. O processo foi realizado em bandejas (20 x 30 cm) contendo 2 kg de areia encharcada com água destilada numa proporção de 30% da massa de areia, foram dispostas 75 sementes de cada variedade de amendoim por bandeja. A germinação se deu à temperatura ambiente, nas condições de 12 h de exposição a luz e 12 h no escuro por 48 h. As sementes foram uniformemente pulverizadas com água destilada duas vezes por dia, em intervalos de 12 h para manter a hidratação adequada.

Os brotos ainda com pele em seus cotilédones, obtidos a partir de 48 h de germinação, foram triturados por 2 minutos em um processador do tipo mixer 3 em 1 (Philco, modelo PMX600, 600 W).

Cinética de secagem dos brotos

Os brotos triturados foram submetidos a três tratamentos de secagem em um secador com circulação de ar forçada, utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de 1 m/s, acondicionados em bandejas (8 x 8 cm) de tela de aço inoxidável (Tyler 14), em camada delgada de 0,5 cm. Após secos, os brotos foram triturados novamente por 1 minuto dando origem as farinhas de broto de amendoim.

As cinéticas de secagem foram determinadas monitorando-se a redução da massa das amostras durante a secagem por pesagem em uma balança com precisão de 0,001 g. As bandejas com as amostras eram pesadas em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Após o término das secagens foram determinados os teores de água final pelo método gravimétrico em estufa, a 105 ± 1 °C, durante 24 horas (AOAC, 2009) e as razões do teor de água (Equação 1), permitindo traçar as curvas de razão do teor de água em função do tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Onde: RX - Razão do teor de água do produto, adimensional; X - teor de água do produto (bs); X_e - teor de água de equilíbrio do produto (bs); X_i - teor de água inicial do produto (bs);

Na Tabela 1 encontram-se os modelos matemáticos que foram ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem dos brotos de amendoim por meio de regressão não linear, pelo método Quase-Newton usando o programa Statistica 7.0.

Tabela 1 – Modelos de predição da cinética de secagem de produtos agrícolas em camada delgada

Modelo	Expressão matemática	
Newton	$RX = \exp(-kt)$	2
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	3
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-kt)$	4
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-kt) + b$	5
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	6
Silva et al.	$RX = \exp(-a \cdot t - b \cdot (\sqrt{t}))$	7
Thompson	$RX = \exp(-a - (\sqrt{a^2 + 4 \cdot b \cdot t})/2 \cdot b)$	8
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	9
Exponencial Dois Termos	$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kat)$	10
Aproximação da difusão	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	11
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-k_0 t) + c \cdot \exp(-k_1 t)$	12

Onde: RX - razão do teor de água, adimensional; a, b, k, k₀, k₁, n – parâmetros dos modelos; t - tempo de secagem, min.

Para avaliar a qualidade dos ajustes dos modelos foram utilizados como parâmetros o coeficiente de determinação (R²), o desvio quadrático médio (DQM) (Equação 13) e o qui-quadrado (χ²) (Equação 4.2.14).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum(RX_{pred} - RX_{exp})^2}{N}} \quad (13)$$

Onde: DQM - desvio quadrático médio; RX_{pred} - razão do teor de água predita pelo modelo; RX_{exp} - razão do teor de água experimental; N - número de observações realizadas.

$$\chi^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (14)$$

Onde: χ² - qui-quadrado; RX_{pred} - razão do teor de água predita pelo modelo; RX_{exp} - razão de teor de água experimental; N - número de observações; n - número de constantes do modelo.

Coefficiente de difusão efetivo

Os coeficientes de difusão efetivos (D_{ef}) dos brotos de amendoim foram calculados utilizando-se a Equação 15 baseado na teoria da difusão. Essa equação é a solução analítica da segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica do produto como placa plana com espessura de 0,005 m e com aproximação de sete termos.

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \right) \quad (15)$$

Onde: RX – razão do teor de água; n – número de termos; D_{ef} – coeficiente de difusão efetivo (m^2/s); L – espessura (m); t – tempo (s).

A influência exercida pela temperatura no coeficiente de difusão efetivo foi avaliada através da equação do tipo Arrhenius (Equação 16).

$$D_{ef} = D_0 \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad (16)$$

Onde: D_{ef} - coeficiente de difusão efetivo (m^2/s); D_0 - fator pré-exponencial (m^2/s); E_a - energia de ativação (kJ/mol); R - constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T - temperatura (K).

Propriedades termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, relacionadas ao processo de secagem dos brotos de amendoim processados, foram calculadas através do método descrito por Corrêa et al. (2012), de acordo com as Equações 17, 18 e 19, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - RT \quad (17)$$

$$\Delta S = R \left(\ln D_0 - \ln \frac{k_B}{h_P} - \ln T \right) \quad (18)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (19)$$

Onde: ΔH - variação de entalpia (J/mol); ΔS - variação de entropia (J/mol K); ΔG - variação de energia livre de Gibbs (J/mol); k_B - constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K); h_P - constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J/s); T - temperatura (K).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os valores referentes ao tempo de secagem e aos teores de água iniciais e finais dos experimentos correspondentes aos brotos das três cultivares de amendoim estudados, L7 Vermelho, BRS Havana e BR1.

Tabela 2 - Tempos de secagem e teores de água dos brotos de amendoim das cultivares L7 Vermelho, BRS Havana e BR1, em diferentes temperaturas

Cultivar	Temperatura (°C)	Tempo de secagem (min)	Teor de água inicial (% bu)	Teor de água final (% bu)
L7 Vermelho	50	420	49,02	3,29
	60	540	49,02	2,88
	70	540	49,02	2,36
BRS Havana	50	420	55,92	3,94
	60	540	55,92	3,82
	70	540	55,92	2,17
BR1	50	480	52,93	2,70
	60	540	52,93	2,44
	70	540	52,93	1,25

Verifica-se que as condições de secagem foram satisfatórias na redução do teor de água dos brotos processados. Os tempos de secagem e os teores de água inicial variaram entre os cultivares. De acordo com Diógenes et al. (2013), essas diferenças nos tempos de secagem podem estar relacionadas com as características físicas e químicas dos produtos, que variam em função das variedades, condições de cultivo, clima e com o teor de água inicial.

Em média o teor de água inicial dos brotos foi de 52,62% e o final de 2,76%, esse valor mostra uma redução de mais de 90% no teor de água do produto, constatando-se a eficiência do processo. Este comportamento corrobora com Jangam (2011), quando alegaram que as temperaturas, a umidade relativa do ar de secagem e o período de exposição do produto as condições de secagem até alcançar o equilíbrio higroscópico foram eficientes para a redução da água livre e do solvente. Constata-se que o teor de água final diminuiu com o aumento da temperatura de secagem em todas as cultivares avaliadas.

Na Tabela 3, são apresentados os ajustes dos modelos aos dados experimentais de secagem dos brotos de amendoim processados da cultivar L7 Vermelho, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de cinética de secagem dos brotos de amendoim cultivar L7 Vermelho com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados (χ^2)

L7 Vermelho								
Modelo	T (°C)	Parâmetros						
		a	k	b	R^2	DQM	χ^2	
Aproximação da difusão	50	-58,9260	0,0461	0,9868	0,9994	0,0079	0,00007	
	60	-131,3987	0,0592	0,9949	0,9997	0,0049	0,00003	
	70	-83,8475	0,0846	0,9925	0,9998	0,0043	0,00002	
Dois Termos		a	k_0	b	k_1	R^2	DQM	χ^2
	50	0,5359	0,0253	0,5359	0,0253	0,9925	0,0299	0,00108
	60	0,5247	0,0346	0,5247	0,0346	0,9950	0,0226	0,00061
70	0,5200	0,0507	0,5200	0,0507	0,9959	0,0190	0,00045	
Exponencial Dois Termos		a	k		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0029	16,9311		0,9944	0,0214	0,00050	
	60	0,0024	13,5715		0,9927	0,0272	0,00081	
70	0,0001	239,9444		0,9980	0,0223	0,00055		
Henderson e Pabis		a	k		R^2	DQM	χ^2	
	50	1,0717	0,0253		0,9925	0,0299	0,00098	
	60	1,0494	0,0346		0,9950	0,0226	0,00056	
70	1,0401	0,0507		0,9959	0,0190	0,00040		
Logarítmico		a	k	c	R^2	DQM	χ^2	
	50	1,0788	0,0248	-0,0097	0,9928	0,0293	0,00098	
	60	1,0553	0,0339	-0,0083	0,9952	0,0219	0,00055	
70	1,0442	0,0500	-0,0057	0,9961	0,0186	0,00036		
Midili		a	k	n	b	R^2	DQM	χ^2
	50	0,9957	0,0069	1,3307	0,000011	0,9994	0,0080	0,00008
	60	0,9908	0,0134	1,2592	0,000003	0,9997	0,0053	0,00003
70	0,9966	0,0247	1,2191	0,000005	0,9997	0,0044	0,00002	
Newton		k			R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0233			0,9880	0,0379	0,00150	
	60	0,0327			0,9929	0,0268	0,00075	
70	0,0487			0,9946	0,0220	0,00051		
Page		k	n		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0072	1,3176		0,9994	0,0084	0,00007	
	60	0,0145	1,2393		0,9996	0,0058	0,00004	
70	0,0254	1,2121		0,9997	0,0046	0,00002		
Silva et al.		a	b		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0339	-0,0630		0,9980	0,0155	0,00025	
	60	0,0441	-0,0590		0,9985	0,0123	0,00016	
70	0,0646	-0,0707		0,9992	0,0086	0,00008		
Thompson		a	b		R^2	DQM	χ^2	
	50	-168,6490	2,1446		0,9923	0,0303	0,00100	
	60	-120,7719	2,1004		0,9947	0,0231	0,00058	
70	-81,3857	2,0823		0,9956	0,0197	0,00043		

Os dados apresentados na Tabela 3 demonstram que todos os modelos aplicados as curvas de secagem dos brotos de amendoim cultivar L7 Vermelho se ajustaram, de forma satisfatória, aos dados experimentais tendo em vista altos coeficientes de determinação (R^2) e baixos valores de DQM e χ^2 , conforme relatado também por MGHAZLI et al. (2017).

Apesar de não ser um critério confiável para a seleção de modelos não-lineares, o coeficiente de determinação normalmente apresenta maiores valores para os modelos de melhor ajuste (BOTELHO et al., 2018). Conforme Babu et al. (2018), os valores de R^2 maiores que 0,97 mostram que o modelo se adequou, de forma satisfatória, aos dados.

Nota-se, que para as condições de secagem, os modelos apresentaram elevados valores de R^2 , acima de 0,990, exceto o modelo de Newton na temperatura de 50 °C, onde o R^2 foi superior a 0,980. Os valores de desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) apresentaram-se baixos, confirmando os bons ajustes.

Considerando os valores dos coeficientes de determinação (R^2), os modelos que apresentaram os melhores ajustes para todas as temperaturas foram os de Aproximação da Difusão, Midili e Page, com valores de R^2 maiores que 0,9990 para todas as temperaturas, desvios quadráticos médios (DQM) e valores de qui-quadrado (χ^2) inferiores a 0,0085 e 0,00009, respectivamente. Botelho et al. (2018) também obtiveram ótimos ajustes com esses três modelos em secagem de grãos de soja.

Na Tabela 4 estão os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem dos brotos de amendoim cultivar Havana.

Os resultados da Tabela 4 mostram que os modelos que melhor se ajustaram aos dados do experimento foram os modelos de Aproximação da Difusão, Midili e Page, com valores de coeficiente de determinação (R^2) bem próximos e acima de 0,9986, desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,0127 e valores de qui-quadrado (χ^2) menores que 0,00019. Gamli (2019) obteve bons ajustes do modelo de Page para secagem a 80 °C da torta de extração do amendoim e do modelo Exponencial para a temperatura de 90 °C.

De acordo com os parâmetros de ajuste avaliados, todos os demais modelos testados podem ser utilizados para estimar as curvas de secagem dos brotos de amendoim cultivar Havana por terem apresentado $R^2 > 0,990$, $DQM < 0,04$ e χ^2 de 0,002.

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem em camada fina dos brotos de amendoim cultivar Havana com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)

BRS Havana								
Modelos	T (°C)	Parâmetros						
		a	k	b	R²	DQM	χ^2	
Aproximação da difusão	50	-143,2833	0,0390	0,9950	0,9987	0,0126	0,00018	
	60	-0,9311	0,0705	0,5578	0,9998	0,0040	0,00002	
	70	-61,6915	0,0529	0,9900	0,9990	0,0099	0,00012	
Dois Termos		a	k₀	b	k₁	R²	DQM	χ^2
	50	0,5348	0,0224	0,5347	0,0224	0,9936	0,0280	0,00094
	60	0,5351	0,0278	0,5351	0,0277	0,9940	0,0263	0,00084
	70	0,5207	0,0317	0,5207	0,0318	0,9946	0,0241	0,00072
Exponencial Dois Termos		a	k		R²	DQM	χ^2	
	50	0,0020	10,2722		0,9990	0,0369	0,00148	
	60	0,0021	12,0965		0,9995	0,0347	0,00132	
	70	0,0024	12,4902		0,9928	0,0277	0,00085	
Henderson e Pabis		a	k		R²	DQM	χ^2	
	50	1,0695	0,0224		0,9936	0,0280	0,00085	
	60	1,0702	0,0278		0,9940	0,0263	0,00076	
	70	1,0417	0,0318		0,9946	0,0241	0,00064	
Logarítmico		a	k	c	R²	DQM	χ^2	
	50	1,0783	0,0218	-0,0123	0,9941	0,0269	0,00083	
	60	1,0769	0,0272	-0,0094	0,9943	0,0256	0,00075	
	70	1,0500	0,0309	-0,0116	0,9951	0,0229	0,00055	
Midili		a	k	n	b	R²	DQM	χ^2
	50	1,0018	0,0074	1,2701	0,000005	0,9988	0,0120	0,00017
	60	1,0028	0,0091	1,2891	0,000007	0,9998	0,0047	0,00003
	70	0,9839	0,0128	1,2424	0,000003	0,9990	0,0102	0,00012
Newton		k			R²	DQM	χ^2	
	50	0,0206			0,9992	0,0364	0,00138	
	60	0,0256			0,9998	0,0343	0,00123	
	70	0,0303			0,9930	0,0274	0,00079	
Page		k		n	R²	DQM	χ^2	
	50	0,0073		1,2732	0,9988	0,0120	0,00016	
	60	0,0089		1,2937	0,9997	0,0050	0,00003	
	70	0,0147		1,2083	0,9988	0,0109	0,00013	
Silva et al.		a	b		R²	DQM	χ^2	
	50	0,0290	-0,0529		0,9978	0,0162	0,00028	
	60	0,0370	-0,0653		0,9991	0,0103	0,00011	
	70	0,0391	-0,0473		0,9974	0,0166	0,00030	
Thompson		a	b		R²	DQM	χ^2	
	50	-190,1375	2,1400		0,9935	0,0283	0,00087	
	60	-153,6537	2,1417		0,9938	0,0267	0,00078	
	70	-130,5150	2,0849		0,9944	0,0246	0,00067	

Na Tabela 5 apresenta-se os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem dos brotos de amendoim cultivar BR1 nas temperaturas de 50, 60, 70 °C.

Tabela 5 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem em camada fina dos brotos de amendoim cultivar BR1 processados, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2)

BR1								
Modelo	T (°C)	Parâmetros						
		a	k	b	R^2	DQM	χ^2	
Aproximação da difusão	50	-131,8498	0,0456	0,9936	0,9996	0,0062	0,00004	
	60	-91,3464	0,0564	0,9912	0,9998	0,0046	0,00002	
	70	-111,1667	0,0988	0,9934	0,9997	0,0047	0,00003	
Dois Termos		a	k_0	b	k_1	R^2	DQM	χ^2
	50	0,5414	0,0244	0,5414	0,0244	0,9904	0,0345	0,00145
	60	0,5374	0,0307	0,5374	0,0307	0,9919	0,0302	0,00110
	70	0,5241	0,0561	0,5241	0,0561	0,9938	0,0227	0,00063
Exponencial Dois Termos		a	k		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0019	11,4420		0,9941	0,0444	0,00216	
	60	0,0020	14,0248		0,9971	0,0382	0,00159	
	70	0,0025	21,0765		0,9919	0,0263	0,00076	
Henderson e Pabis		a	k		R^2	DQM	χ^2	
	50	1,0828	0,0244		0,9904	0,0345	0,00131	
	60	1,0749	0,0307		0,9919	0,0302	0,00099	
	70	1,0481	0,0561		0,9938	0,0227	0,00060	
Logarítmico		a	k	c	R^2	DQM	χ^2	
	50	1,0929	0,0236	-0,0137	0,9910	0,0334	0,00128	
	60	1,0834	0,0299	-0,0116	0,9925	0,0291	0,00097	
	70	1,0516	0,0555	-0,0046	0,9940	0,0225	0,00056	
Midili		a	k	n	b	R^2	DQM	χ^2
	50	0,9943	0,0050	1,3961	0,000005	0,9997	0,0054	0,00004
	60	0,9972	0,0083	1,3492	0,000007	0,9998	0,0035	0,00002
	70	0,9966	0,0226	1,2869	0,000003	0,9997	0,0048	0,00003
Newton		k			R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0221			0,9844	0,0440	0,00202	
	60	0,0282			0,9873	0,0378	0,00149	
	70	0,0535			0,9920	0,0256	0,00071	
Page		k	n		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0054	1,3788		0,9997	0,0059	0,00004	
	60	0,0085	1,3417		0,9998	0,0037	0,00002	
	70	0,0232	1,2794		0,9996	0,0051	0,00003	
Silva et al.		a	b		R^2	DQM	χ^2	
	50	0,0336	-0,0700		0,9975	0,0174	0,00033	
	60	0,0422	-0,0763		0,9983	0,0136	0,00020	
	70	0,0760	-0,0956		0,9989	0,0096	0,00010	

		a	b	R²	DQM	χ^2
Thompson	50	-177,2504	2,1666	0,9902	0,0349	0,00133
	60	-139,3526	2,1512	0,9917	0,0306	0,00102
	70	-74,0947	2,0984	0,9939	0,0234	0,00060

Assim como na secagem dos demais cultivares, todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, com valores de R^2 acima de 0,980, desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,05 e valores de qui-quadrado (χ^2) menores que 0,003.

Com base nesses parâmetros, os melhores ajustes para todas as temperaturas analisadas foram dados pelos modelos de Aproximação da difusão, Midili e Page, todos com valores $R^2 > 0,9990$, $DQM < 0,007$ e $\chi^2 < 0,00005$. Dziki et al. (2020) obtiveram bons ajustes do modelo de Page para os dados da cinética de secagem de brotos de brócolis com valores de $R^2 > 0,997$; e Sahdev et al. (2018) obtiveram bons ajustes do modelo de Page aos dados da cinética de secagem de grãos de amendoim com valores de $R^2 > 0,96$.

Dos resultados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5 verifica-se que todos os modelos podem representar satisfatoriamente o processo de secagem dos brotos das três cultivares, com coeficientes de determinação superiores a 0,980.

Analisando o parâmetro k (constante de secagem) nas Tabelas 3, 4 e 5, observa-se que esse parâmetro mostrou variação em sua magnitude com a variação da temperatura do ar de secagem, aumentando com a elevação da temperatura para todos os cultivares e maioria dos modelos utilizados. Como reportado por Araújo et al. (2017), a constante de secagem (k), que representa as condições externas de secagem, pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e a difusão líquida, que controla o processo. Esse comportamento também foi encontrado por Maia et al. (2019) na secagem do feijão guandu e por Gamli (2019) na secagem da torta de extração do amendoim.

Com base nos valores das constantes k e n para os modelos de Page e Midili constata-se uma maior resistência à secagem na temperatura de 50 °C, e que, em geral, essa resistência diminuiu em função do incremento da temperatura para todas as cultivares.

Na Figura 1 apresentam-se os dados de secagem em camada delgada dos brotos de amendoim, ajustadas pelo modelo de Aproximação da Difusão. As curvas de secagem estão representadas pelos valores estimados da razão do teor de água em função do tempo de secagem, para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Verifica-se que as maiores velocidades de redução da razão do teor de água ocorreu nas maiores temperaturas. É observado a ausência do período inicial (fase 0), do período de taxa de secagem crescente e do período de taxa de

secagem constante (fase 1), apresentando-se apenas o período de taxa de secagem decrescente (fase 2). Verifica-se que a elevação da temperatura proporciona uma maior taxa de secagem estimada, o que corrobora o aumento dos valores de “k” dados por esse modelo. Comportamento foi similar foi observado por Sahdev et al. (2018), que afirmaram que o valor da taxa de secagem do amendoim aumenta constantemente com o aumento da temperatura do ar de secagem.

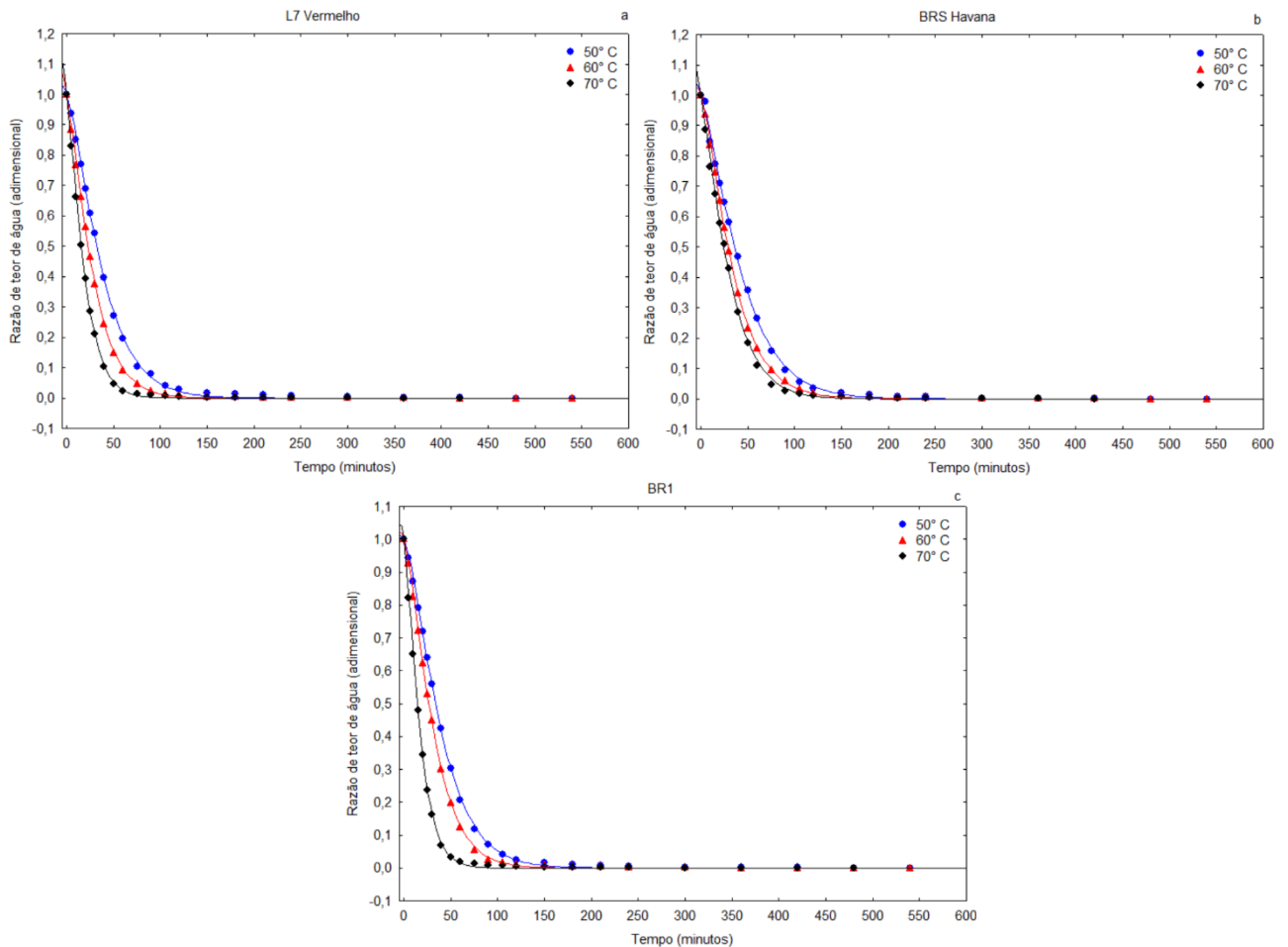


Figura 1 - Cinéticas de secagem dos brotos de amendoim processados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com representação dos ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão: (a) Cultivar L7 Vermelho; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar BR1

Quanto maior a temperatura de secagem maior o coeficiente angular da curva, revelando uma taxa de secagem maior no início do processo, fenômeno relacionado com a alta disponibilidade de água livre, facilmente removida no estágio inicial de secagem (KOUHILA et al., 2019). O complexo mecanismo envolvido na secagem inclui a água tanto no estado líquido como no estado de vapor, que é frequentemente caracterizado pela

difusividade efetiva, dependendo da temperatura, pressão e teor de água do produto (MGHAZLI et al., 2017).

Na Figura 2 compara-se os dados de razão do teor de água (RX) experimental com os dados preditos pelo modelo de Aproximação da Difusão na secagem dos brotos de amendoim a 50, 60 e 70 °C. As retas representando as estimativas dos valores de RX situaram-se próximas aos valores experimentais, confirmando a adequação do modelo ao descrever as características de secagem dos brotos de amendoim das diferentes cultivares. A baixa dispersão dos valores, em relação à curva, representa a precisão do ajuste frente aos valores experimentais (SANTOS et al., 2019).

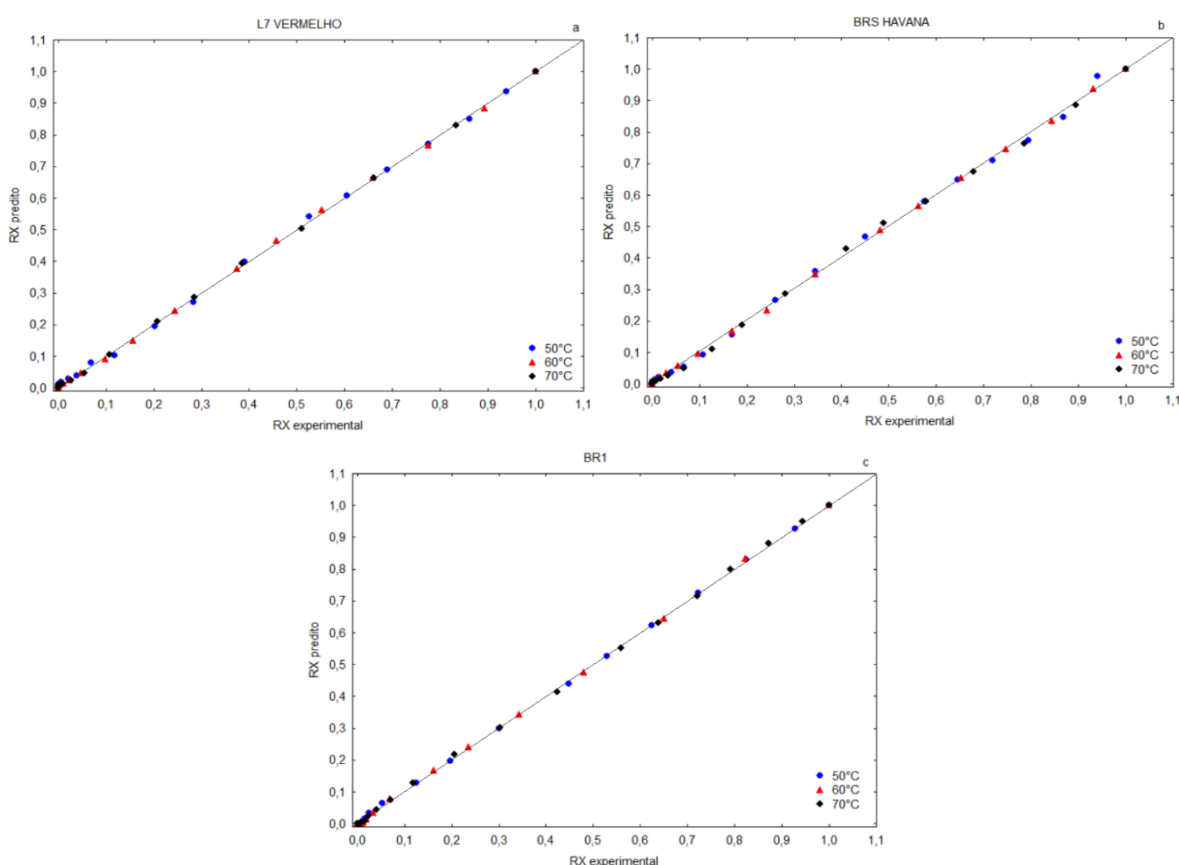


Figura 2 - Relação entre os valores das razões dos teores de água experimentais e razões dos teores de água preditos pelo modelo de Aproximação da Difusão para a cinética de secagem dos brotos de amendoim: (a) Cultivar L7 Vermelho; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar BR1

Na Tabela 6 são apresentados os coeficientes de difusão efetivo (D_{ef}) obtidos da solução analítica da segunda lei de Fick nas diferentes temperaturas de secagem em camada delgada dos brotos de amendoim. As magnitudes das difusividades efetivas dos brotos,

variando entre $6,69 \times 10^{-10}$ e $18,77 \times 10^{-10}$ m²/s para os diferentes cultivares, situam-se na faixa relatada por Madamba et al. (1996) para produtos agrícolas, que é de 10^{-11} a 10^{-9} m²/s. Silva et al. (2018), Araújo et al. (2017) e Botelho et al. (2018) encontraram valores na mesma faixa para sementes secas de melão nas temperaturas de 35, 40, 45 e 50 °C, de amendoim cultivar IAC 505 nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e de soja nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Os coeficientes de determinação (R²) foram superiores a 0,93, indicando que o modelo de Fick para uma placa plana se ajustou bem aos dados experimentais dos brotos de amendoim processados.

Tabela 6 - Coeficientes de difusão efetivo das secagens em camada delgada dos brotos de amendoim nas diferentes temperaturas

T (°C)	L7 Vermelho		BRS Havana		BR1	
	D _{ef} (m ² /s)	R ²	D _{ef} (m ² /s)	R ²	D _{ef} (m ² /s)	R ²
50	$7,59 \times 10^{-10}$	0,9502	$6,69 \times 10^{-10}$	0,9509	$7,22 \times 10^{-10}$	0,9430
60	$10,83 \times 10^{-10}$	0,9647	$8,37 \times 10^{-10}$	0,9540	$9,32 \times 10^{-10}$	0,9513
70	$16,43 \times 10^{-10}$	0,9717	$10,00 \times 10^{-10}$	0,9643	$18,77 \times 10^{-10}$	0,9676

Com a elevação da temperatura houve um aumento da difusividade efetiva em todas as amostras. Estes aumentos foram de aproximadamente 117, 50 e 160% nos brotos das cultivares L7 Vermelho, BRS Havana e BR1, respectivamente, quando comparado os extremos de temperatura. A tendência de incremento na difusividade do material com o aumento da temperatura é o comportamento esperado haja visto que a temperatura afeta os mecanismos de transferência de calor e massa. De acordo com Chielle et al. (2016) quando a temperatura é elevada, a transferência de calor por convecção é facilitada, aumentando assim a taxa de evaporação da água e, desse modo, a difusividade efetiva, elevando a taxa de transferência de massa de água dentro do material.

Com o aumento da temperatura aumenta-se o nível de vibração das moléculas de água e diminui-se sua viscosidade, reduzindo a resistência do fluido ao escoamento; as variações desta propriedade implicam em alterações na difusão da água nos capilares dos produtos agrícolas que, juntamente com a vibração mais intensa das moléculas de água, contribuem para uma difusão mais rápida (SANTOS et al., 2019; ARAÚJO et al., 2017).

Para avaliar o efeito da temperatura na difusividade efetiva ajustou-se uma equação do tipo Arrhenius aos dados de ln D_{ef} em função do inverso da temperatura absoluta (Figura 3). Observa-se que os valores dos coeficientes de difusão efetivo aumentaram linearmente

com o aumento da temperatura do ar de secagem, corroborando com os resultados relatados por Botelho et al. (2018), Mghazli et al. (2017). Doymaz (2017) e por Gamli (2019).

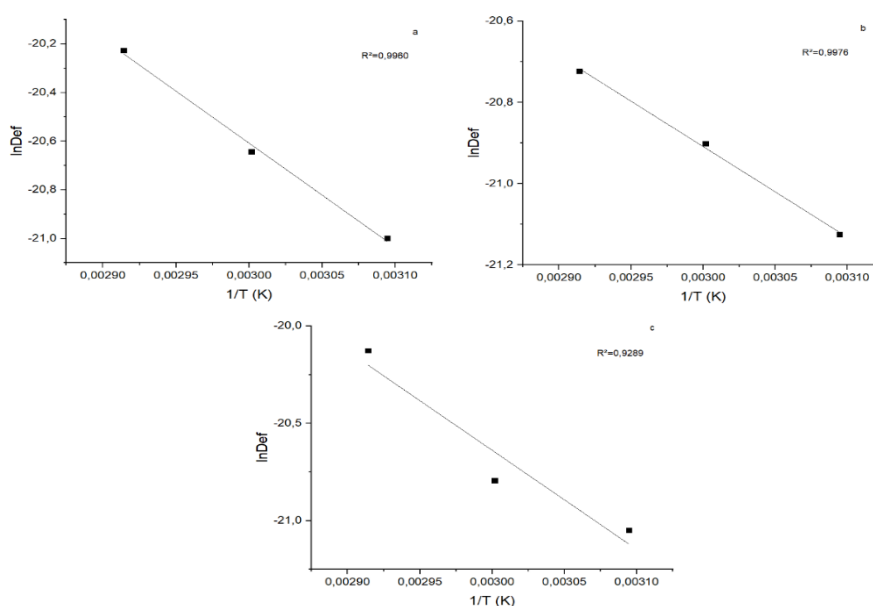


Figura 3 – Ajuste da equação do tipo Arrhenius aos dados experimentais do coeficiente de difusão efetivo em função do inverso da temperatura do ar de secagem dos brotos de amendoim: (a) Cultivar L7 Vermelho; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar BR1

A energia de ativação (E_a) e o fator pré-exponencial (D_0) foram obtidos a partir da reta gerada pelo ajuste da equação de Arrhenius e estão apresentados na Tabela 7 para as cultivares L7 Vermelho, BRS Havana e BR1.

Tabela 7 – Valores dos parâmetros da equação de Arrhenius, fator pré-exponencial (D_0), energia de ativação (E_a) e coeficientes de determinação (R^2), para os brotos de amendoim secos nas diferentes temperaturas

Cultivar	D_0 (m ² /s)	E_a (kJ/mol)	R^2
L7 Vermelho	$4,15 \times 10^{-4}$	35,53	0,9289
BRS Havana	$6,68 \times 10^{-7}$	18,54	0,9953
BR1	$4,68 \times 10^{-4}$	42,33	0,9920

As energias de ativação encontradas para as cultivares de amendoim apresentaram valores entre 18,54 e 42,33 kJ/mol, estando dentro do intervalo de 12,7 a 110 kJ/mol relatado

por Zogzas et al. (1996) para produtos agrícolas. Chen et al. (2012) encontraram valor próximo para a secagem da pele do amendoim.

Martins et al. (2015) conceituaram termodinamicamente a energia de ativação como a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração no interior do produto, sendo que quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto no processo de secagem, representando um indicador útil na avaliação do consumo total de energia no processo de secagem.

Na Tabela 8 encontram-se os valores de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs para os ensaios de secagem em camada delgada dos brotos de amendoim.

Tabela 8 - Valores de entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) para as três temperaturas de secagem em camada delgada dos brotos de amendoim

Cultivar	Temperatura (°C)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (kJ/mol K)	ΔG (kJ/mol)
L7 Vermelho	50	32,84	-0,3103	133,12
	60	32,76	-0,3106	136,23
	70	32,68	-0,3108	139,34
BRS Havana	50	15,85	-0,3638	133,41
	60	15,77	-0,3640	137,05
	70	15,69	-0,3643	140,69
BR1	50	39,64	-0,2902	133,41
	60	39,56	-0,2904	136,31
	70	39,48	-0,2907	139,22

Os valores da variação de entalpia (ΔH) para o processo de secagem foram positivos, o que representa uma transformação endotérmica, com absorção de calor, além de diminuir com o aumento da temperatura. Esse comportamento é explicado pelo aumento da temperatura do ar de secagem que promove aumento da pressão parcial de vapor de água no produto, enquanto a do ar permanece constante, acarretando aumento na velocidade da difusão de água do interior para a superfície do material e perda de água por dessorção (ARAÚJO et al., 2017).

A demanda energética para difusão da água foi reduzida à medida que a temperatura de secagem foi elevada, como evidenciado por decréscimos nos valores de ΔH , comportamento também reportado na secagem de outros produtos agrícolas, como em amendoim por Goneli et al. (2017); e em grãos de arroz por Corrêa et al. (2017).

A elevação da temperatura também levou à uma redução na variação da entropia (ΔS). A entropia é uma quantidade termodinâmica que está associada ao grau de desordem, pois é uma função de estado em que os valores aumentam durante um processo natural em um sistema isolado (CORRÊA et al., 2017). Segundo Goneli et al. (2017) com o aumento da temperatura do ar de secagem e o conseqüente aumento da pressão de vapor parcial da água no produto, há também um aumento na excitação das moléculas e redução da viscosidade da água, fatores que quando combinados fornecem o aumento da velocidade de difusão da água e a redução da entropia no processo.

Os valores negativos da entropia podem ser atribuídos à existência de adsorção química e ou modificações estruturais do adsorvente (MOREIRA et al., 2008). Esse comportamento pode ser explicado pela teoria do complexo ativado, onde uma substância em uma condição de ativação pode adquirir entropia negativa se os graus de liberdade de translação ou rotação forem perdidos durante a formação do complexo ativado (DANNENBERG; KESSLER, 1988).

Os valores da energia livre de Gibbs (ΔG), que aumentaram com o aumento da temperatura, foram positivos, o que indica um processo não-espontâneo. O processo de secagem se configura como não espontâneo, requisitando adição de energia, provida pelo ar de secagem, para promover a redução do teor de água (MAIA et al., 2019), o que caracteriza a existência de reação endergônica.

Maia et al. (2019), Botelho et al. (2018) e Goneli et al. (2017) constataram, ao secarem, respectivamente, feijão guandu, soja e amendoim, que a energia de Gibbs foi positiva e aumentou com a elevação da temperatura de secagem, concordando com os resultados observados na secagem dos brotos de amendoim.

CONCLUSÕES

Dentre os modelos matemáticos ajustados as cinéticas de secagem dos brotos de amendoim, o modelo de Aproximação da Difusão foi o que apresentou os melhores resultados em todas as condições avaliadas, apresentando os maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e os menores valores dos desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2).

Os brotos de amendoim apresentaram coeficientes de difusão efetivo na ordem de 10^{-10} m²/s, aumentando proporcionalmente com o aumento da temperatura de secagem e com relação descrita pela Equação de Arrhenius.

As propriedades termodinâmicas da secagem dos brotos de amendoim descreveram um processo não espontâneo, com valores positivos da variação de entalpia (ΔH) e da energia livre de Gibbs (ΔG) e valores negativos da variação de entropia (ΔS), com redução nos valores de entalpia e entropia com a elevação da temperatura de secagem, enquanto que os valores da variação da energia livre de Gibbs aumentaram na faixa de temperatura de 50 a 70 °C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHIKARI, B.; DHUNGANA, S. K.; ALI, M. W.; ADHIKARI, A.; KIM, I. D.; SHIN, D. H. Resveratrol, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant potential of seeds and sprouts of korean peanuts. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1275-1284, 2018.
- ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 2009. 1115 p.
- BABU, A. K.; KUMARESAN, G.; RAJ, V. A. A.; VELRAJ, R. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 536-556, 2018.
- BELGHITH, A.; AZZOUZ, S.; ELCAFSI, A. Desorption isotherms and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, n. 3, p. 407-419, 2016.
- BORAH, A.; HAZARIKA, K.; KHAYER, S. M. Drying kinetics of whole and sliced turmeric rhizomes (*Curcuma longa* L.) in a solar conduction dryer. **Information Processing in Agriculture**, v. 2, n. 2, p. 85-92, 2015.
- BOTELHO, F. M.; HOSCHER, R. H.; HAUTH, M. R.; BOTELHO, S. D. C. C. Cinética de secagem de grãos de soja: influência varietal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 13-25, 2018.
- CHEN, D.; LI, K.; ZHU, X. Determination of effective moisture diffusivity and activation energy for drying of powdered peanut shell under isothermal conditions. **BioResources**, v. 7, n. 3, p. 3670-3678, 2012.

CHIELLE, D. P.; BERTUOL, D. A.; MEILI, L.; TANABE, E. H.; DOTTO, G. L. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 221-228, 2016.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D. Thermodynamic properties of drying process and water absorption of rice grains. **CyTA-Journal of Food**, v. 15, n. 2, p. 204-210, 2017.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, E. S. Thermodynamic properties of agricultural products processes. In: ARANA, I. **Physical properties of foods: novel measurement techniques and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2012. p. 131-141

DANNENBERG, F.; KESSLER, H. G. Reaction kinetics of the denaturation of whey proteins in milk. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 1, p. 258-263, 1988.

DIÓGENES, A. D. M. G.; QUEIROZ, A. J. D. M.; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

DOYMAZ, İ. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 1, p. 25-35, 2017.

DZIKI, D.; HABZA-KOWALSKA, E.; GAWLIK-DZIKI, U.; MIŚ, A.; RÓŻYŁO, R.; KRZYSIAK, Z.; HASSOON, W. H. Drying Kinetics, Grinding Characteristics, and Physicochemical Properties of Broccoli Sprouts. **Processes**, v. 8, n. 1, p. 97, 2020.

DZIKI, D.; GAWLIK-DZIKI, U. Processing of germinated grains. In: FENG, H.; NEMZER, B.; DEVRIES, J. W. **Sprouted grains: nutritional value, production, and applications**. 1. ed. AACC International Press, 2019. p.69-90.

GAMLI, F. Ö. Convective drying kinetics of groundnut extraction cake. **Journal on Processing and Energy in Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 6-9, 2019.

GONELI, A. L. D.; ARAÚJO, W. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C. Drying kinetics of peanut kernels in thin layers. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 994-1003, 2017.

HORUZ, E.; BOZKURT, H.; KARATAŞ, H.; MASKAN, M. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 2, p. 425-436, 2018.

JANGAM, S. V. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. **Drying Technology**, v. 29, n. 12, p. 1343-1357, 2011.

KOUHILA M.; IDLIMAM A.; LAMHARRAR A.; LAMSYEHE H.; MOUSSAOUI H. The Experimental study and modeling the drying kinetics of mediterranean mussel (*Mytilus Galloprovincilis*). In: EZZIYYANI M. **Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development**. v. 912. Springer, Cham, 2019.p. 40-53.

LIMMONGKON, A.; JANHOM, P.; AMTHONG, A.; KAWPANUK, M.; NOPPRANG, P., POOHADSUAN, J.; BOONSONG, T. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 332-338, 2017.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MAIA, R. B.; SANTOS, S. G. F.; QUEIROZ, J. S.; RODOVALHO, R. S.; SILVA, D. P.; MORAES MORGADO, V. N. Drying kinetics and thermodynamic properties of pigeon pea beans. **Científica**, v. 47, n. 2, p. 164-174, 2019.

MALEKJANI, N.; JAFARI, S. M.; RAHMATI, M. H.; ZADEH, E. E.; MIRZAEI, H. Evaluation of thin-layer drying models and artificial neural networks for describing drying kinetics of canola seed in a heat pump assisted fluidized bed dryer. **International journal of food engineering**, v. 9, n. 4, p. 375-384, 2013.

MARTINS, E. A.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* C.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.

MGHAZLI, S.; OUHAMMOU, M.; HIDAR, N.; LAHNINE, L.; IDLIMAM, A.; MAHROUZ, M. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. **Renewable Energy**, v. 108, p. 303-310, 2017.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 4, p. 514-521, 2008.

OLIVEIRA, G. H. H.; ARAGÃO, D. M. S.; DE OLIVEIRA, A. P. L. R.; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 314-321, 2015.

ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 599-618, 2016.

SAHDEV, R. K.; KUMAR, M.; DHINGRA, A. K. Development of empirical expression for thin layer groundnut drying under open sun and forced convection modes. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 19, n. 4, p. 152-158, 2018.

SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; SANTOS, F. S.; LIMA, T. L. B.; FIGUEIREDO, R. M. F.; COSTA, T. N. Modelling and thermodynamic properties of the drying of acuri slices. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1-12, 2019.

SILVA, I. L.; SILVA, H. W. D.; CAMARGO, F. R.; FARIAS, H. F.; FREITAS, E. D. F. Secagem e difusividade de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 21-30, 2018.

TAHERI-GARAVAND, A; MEDA, V; NADERLOO, L. Artificial neural Network–Genetic algorithm modeling for moisture content prediction of savory leaves drying process in different drying conditions. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 11, n. 4, p. 232-238, 2018.

TEIXEIRA, L. P; ANDRADE, E. T.; DEVILLA, I. A. Calor isostérico, entropia e energia livre de gibbs do grão de abóbora (*Cucurbita moschata*). **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 1, 2017.

TORKI-HARCHEGANI, M.; GHASEMI-VARNAMKHAZI, M.; GHANBARIAN, D.; SADEGHI, M.; TOHIDI, M. Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, n. 2, p. 281-289, 2016.

WANG, K. H.; LAI, Y. H.; CHANG, J. C.; KO, T. F.; SHYU, S. L.; CHIOU, R. Y. Y. Germination of peanut kernels to enhance resveratrol biosynthesis and prepare sprouts as a functional vegetable. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 2, p. 242-246, 2005.

YU, M.; LIU, H.; YANG, Y.; SHI, A.; LIU, L.; HUI, H.; WANG, Q. Optimisation for resveratrol accumulation during peanut germination with phenylalanine feeding & ultrasound-treatment using response surface methodology. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 4, p. 938-945, 2016.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

4.3. ARTIGO III - PROPRIEDADES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSTOS BIOATIVOS DE AMENDOIM: EFEITO DA GERMINAÇÃO E DO PROCESSO DE SECAGEM

Resumo

O processo de germinação de sementes leva a modificação da composição e a síntese de novos compostos, incluindo princípios bioativos, transformando grãos de consumo convencional em alimentos com propriedades nutracêuticas. Trata-se de um processo simples, capaz de prover novas fontes de antioxidantes naturais, na forma de alimentos funcionais. Foram avaliados os efeitos da germinação nas sementes de amendoim, assim como os efeitos da secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C sobre os brotos de amendoim. Sementes de amendoim de três cultivares foram germinadas por 48 h; as sementes, os brotos in natura e as farinhas dos brotos foram caracterizados quanto aos parâmetros de composição físico-química, compostos bioativos e parâmetros físicos. O processo de germinação reduziu os teores de lipídios, proteínas, ácido ascórbico e amido, e aumentou o teor de açúcares totais, dos compostos fenólicos totais, taninos, antocianinas, flavonoides e carotenoides. A secagem aumentou os teores de lipídios, proteínas, ácido ascórbico e amido em relação ao broto; reduziu o teor de carotenoides, de fenólicos totais, e de taninos e afetou os teores de antocianinas e flavonoides de forma diferente, conforme a cultivar; as temperaturas de secagem dos brotos de amendoim afetaram as propriedades físicas das farinhas obtidas, reduzindo a massa específica real e a molhabilidade e aumentando a solubilidade, a higroscopicidade e o ângulo de repouso. As farinhas se apresentaram higroscópicas e de baixa fluidez.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea L.*, sementes germinadas, broto, farinha, compostos fenólicos.

Abstract

The seed germination process leads to the modification of the composition and the synthesis of new compounds, including bioactive principles, transforming conventionally consumed grains into foods with nutraceutical properties. It is a simple process capable of providing new sources of natural antioxidants in the form of functional foods. The effects of germination on peanut seeds, as well as the effects of drying at temperatures of 50, 60 and 70 °C on peanut sprouts were evaluated. Peanut seeds from three cultivars were germinated

for 48 h; seeds, in natura sprouts and sprout flours were characterized in terms of physicochemical composition, bioactive compounds and physical parameters. The germination process reduced the levels of lipids, proteins, ascorbic acid and starch, and increased the content of total sugars, total phenolic compounds, tannins, anthocyanins, flavonoids and carotenoids. Drying increased the levels of lipids, proteins, ascorbic acid and starch in relation to the sprout; reduced the content of carotenoids, total phenolics, and tannins and affected the levels of anthocyanins and flavonoids differently, depending on the cultivar; the drying temperatures of the peanut sprouts affected the physical properties of the flours obtained, reducing the real specific mass and wettability and increasing the solubility, hygroscopicity and angle of repose. The flours were hygroscopic and of low fluidity.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., germinated seeds, sprouts, flour, phenolic compounds.

INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é considerado um alimento altamente nutritivo devido a sua abundância de nutrientes, seu alto teor de proteínas (25–30%), de ácidos graxos insaturados (45–50%) e de carboidratos (10–20%), conteúdo polifenólico, conteúdo de fibras, minerais e seus componentes bioativos (LIMMONGKON et al., 2018).

Nos últimos anos, pesquisadores têm demonstrado um maior interesse no processo de germinação, utilizando-o como uma técnica valiosa de processamento e melhoria destinada a sintetizar princípios nutritivos e bioativos nas sementes de amendoim. Isso ocorre porque o processo de germinação gera alterações nos perfis dos constituintes envolvidos na brotação, que incluem a mobilização de proteínas, carboidratos e uma intensificação das atividades metabólicas que levam à liberação e/ou produção de diversos compostos (BUENO et al., 2020).

O processo de germinação pode ser visto como um potencial mecanismo molecular de acumulação de compostos bioativos em sementes comestíveis, brotos e seus derivados, produzindo alterações nos grãos que podem afetar as propriedades nutricionais e as características tecnológicas de suas farinhas, e pode ser aplicado de maneira fácil e econômica para obter novos produtos alimentícios biotecnologicamente processados (JIMENEZ et al., 2019; GAN et al., 2017).

Diversos autores confirmaram o benefício da germinação nas sementes de amendoim. De acordo com Yu et al. (2016), como as concentrações de minerais, fenólicos e de alguns aminoácidos essenciais se acumulam, enquanto o conteúdo de gordura diminui

significativamente durante a germinação, os brotos de amendoim são recomendados como alimento saudável. Limmongkon et al. (2019) afirmaram que a germinação eleva os teores de fenólicos do amendoim, contribuindo para a atividade antioxidante.

Alguns autores mostraram que a germinação de grãos e leguminosas como amendoim, quinoa, soja, grão de bico, feijão, ervilha, milho, arroz e milho pode diminuir o conteúdo de antinutrientes, como fitatos, taninos e proteases inibitórias (LI et al., 2014; OMARY et al., 2012; KANENSI et al., 2011; WANG et al., 2015 ; JAN et al., 2017).

O processo de germinação dá origem a brotos com alto teor de água, que requerem o emprego de processos para evitar a rápida deterioração do material. Um dos processos mais utilizados envolve a secagem ou desidratação que, por meio de instalações e operações simples, impede a deterioração física, bioquímica, química e microbiológica. A secagem é uma técnica de preservação eficaz e econômica que reduz o teor de água a níveis significativamente mais baixos, tornando sua disponibilidade insuficiente para a proliferação de microrganismos associados à deterioração (HORUZ et al., 2018).

Desse modo, objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito da germinação nas sementes de amendoim de três cultivares geneticamente melhoradas, assim como o efeito da secagem nas propriedades físico-químicas, compostos bioativos e propriedades físicas nas farinhas dos brotos gerados a partir do processo germinativo.

MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas e processamento

Foram utilizadas sementes das cultivares de amendoim, BRS Havana, L7 Vermelho e BR1, do programa de melhoramento genético da Embrapa, safra 2018/2019. As sementes foram cedidas pela Embrapa Algodão, Campina Grande – PB.

Sementes com pele de cada cultivar de amendoim foram sanitizadas por meio da imersão em água destilada na proporção 1:10, contendo 7% (p/v) de hipoclorito de sódio à temperatura ambiente (28 ± 1 °C) por 5 min, seguindo a metodologia descrita por Setia et al. (2019) com adaptações. Depois de sanitizadas, as sementes foram drenadas em peneira por 5 min.

Germinação das sementes

Para a germinação, areia previamente esterilizada (170 °C/24 h) foi usada como meio germinativo. O processo foi realizado em bandejas (20 x 30 cm) contendo 2 kg de areia

encharcada com água destilada numa proporção de 30% da massa de areia, em que foram dispostas 75 sementes de cada variedade de amendoim por bandeja. A germinação se deu à temperatura ambiente, nas condições de 12 h de exposição a luz e 12 h no escuro, por 48 h. As sementes eram uniformemente pulverizadas com água destilada duas vezes por dia, em intervalos de 12 h, para manter a umidade adequada. Após este período obteve-se os brotos de amendoim.

Secagem dos brotos

Os brotos de amendoim das diferentes cultivares, ainda com pele em seus cotilédones, obtidos a partir de 48 h de germinação, foram processados por 2 min em um processador do tipo mixer (marca Philco, modelo PMX600, 600 W). Em seguida, os brotos triturados foram colocados em camada delgada de 0,5 cm em bandejas teladas (8 x 8 cm) de aço inoxidável com abertura de malha de 1,18 mm e submetidos a três tratamentos de secagem em um secador com circulação de ar forçada, utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de 1 m/s, acondicionados em bandejas 8 x 8 cm de tela de aço inox com abertura de malha de 1,18 mm, em camada delgada (0,5 cm). Após secos, os brotos foram processados novamente por 1 minuto, dando origem a farinha de broto de amendoim.

As amostras de amendoim in natura, broto de amendoim com 48 horas de germinação e brotos secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C foram caracterizadas de acordo com os parâmetros a seguir. O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa a 105 °C; o teor de cinzas por incineração em mufla a 550 °C com resultados expressos em porcentagem; a acidez total titulável foi determinada por titulometria com NaOH a 0,1 M; e o potencial hidrogeniônico (pH) em potenciômetro digital; a proteína bruta foi calculada a partir do teor de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl, com um fator de conversão de nitrogênio para proteína de 5,46; o teor de ácido ascórbico foi realizado por meio da titulação com 2,6 diclorofenolindofenol sódico (DCFI) até a obtenção da coloração rosa claro persistente, usando-se, como solução extratora, o ácido oxálico (AOAC, 2009). O teor de lipídios foi determinado de acordo com a metodologia de Bligh e Dyer (1959), que se baseia na extração com clorofórmio, metanol e água. A quantificação do amido foi realizada através de adaptações da metodologia citada por Carvalho et al. (2002), que se baseia na hidrólise ácida do amido e na titulação da solução de Fehling. A medida de atividade de água foi realizada por meio de higrômetro Aqualab, modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.) a 25 °C.

A determinação dos açúcares totais foi realizada de acordo com a metodologia de

Yemm e Willis (1954), pelo método da antrona, com extratos obtidos pela diluição de 0,5 g de amostra em 50 mL de água destilada, seguida por filtração; a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm. Os açúcares redutores em glicose foram estabelecidos pela metodologia proposta por Miller (1959), utilizando ácido dinitrosalicílico (DNS), com extratos obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 25 mL de água destilada, seguida por filtração; a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 540 nm.

Para a determinação do teor de fenólicos totais, foi utilizado o método descrito por Waterhouse (2006) com reagente de Folin-Ciocalteu. Os extratos foram obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 50 mL de água destilada; após 30 minutos de repouso, os extratos foram filtrados e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido gálico; as concentrações fenólicas nas amostras foram expressas em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) / 100 g de amostra.

Os taninos foram quantificados através da metodologia de Folin-Ciocalteu (LIN E TAN, 2007; MAISON E NARKRUGSA, 2010) usando o mesmo extrato preparado para a análise de fenólicos. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido tânico e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada; as concentrações de taninos nas amostras foram expressas em mg de equivalentes de ácido tânico.

As antocianinas e flavonoides totais foram determinados por espectrofotometria segundo a metodologia descrita por Francis (1982). A extração foi realizada com solução de etanol-HCl 85:15 (v/v); o extrato foi preparado a partir da maceração de 1 g da amostra com 10 mL da solução, deixada a 5 °C por 24 h, protegida da luz; após esse período, o extrato foi filtrado em algodão e o volume completado para 10 mL, com a absorbância lida a 374 nm para flavonoides e 535 nm para antocianinas.

Os carotenoides totais foram determinados por espectrofotometria, de acordo com a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987), que se baseia na extração com acetona; os resultados foram expressos em mg/100g.

As amostras de broto seco foram caracterizadas, em triplicata, quanto as suas propriedades físicas.

A massa específica aparente foi determinada seguindo a metodologia de Politi (2011), em que a amostra foi pesada em uma proveta e, em seguida, foi observado o volume ocupado pela massa pesada na proveta; esse volume foi utilizado para cálculo da massa

específica aparente por meio da Equação 1.

$$\rho_a = \frac{M_{p,vazia} - M_{p,cheia}}{V_{ocupado}} \quad (1)$$

Em que: ρ_a - massa específica aparente (g/cm³); $M_{p,vazia}$ - massa da proveta vazia (g); $M_{p,cheia}$ - massa da proveta com amostra (g); $V_{ocupado}$ - volume ocupado pela amostra na proveta (cm³).

A massa específica compactada foi determinada de acordo com a metodologia de Tonon (2009) com adaptações, onde a amostra foi colocada em uma proveta graduada de 10 mL, submetendo-a a batimentos (50 vezes) sobre uma bancada rígida, de uma altura de 5 cm, sob a força do próprio peso; o volume ocupado pela amostra na proveta foi registrado e a massa específica compactada calculada de acordo com Equação 2.

$$\rho_c = \frac{m}{V} \quad (20)$$

Onde: ρ_c - massa específica compactada (g/cm³), m - massa da amostra (g); e V - volume ocupado pela amostra na proveta (cm³).

A massa específica real foi determinada pelo método picnométrico, utilizando hexano, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, utilizando um picnômetro previamente aferido com água na temperatura usada nas determinações. A massa específica real foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras.

A porosidade intergranular das amostras foi calculada pela Equação 3 a partir da relação entre a massa específica aparente e a massa específica real.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \times 100 \quad (3)$$

Onde: ε - porosidade intergranular (adimensional), ρ_{ap} - massa específica aparente (g/cm³); e ρ_{abs} - massa específica real (g/cm³).

O fator de Hausner (FH) foi calculado pela relação entre a massa específica compactada e a massa específica aparente. De acordo com Hausner (1967), este fator está correlacionado com a fluidez do material granulado.

O índice de Carr (IC) ou índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de empacotamento da farinha e foi calculado conforme Bhusari et al. (2014), por meio da Equação 4.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (4)$$

Onde: IC - índice de Carr (%), ρ_c - massa específica compactada (g/cm^3), ρ_a - massa específica aparente (g/cm^3).

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama da amostra foi adicionado à 100 mL de água destilada sob velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. A farinha dispersa em água foi centrifugada a 2.600 rpm por 5 min, e uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri, previamente tarada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

A higroscopicidade foi determinada de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com modificações. As amostras de farinha (cerca de 1 g) foram colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa $\cong 75\%$) a 25 °C por sete dias, com pesagem ao final do período.

O ângulo de repouso foi obtido da geometria do cone para uma massa de amostra de 30 g: a massa da amostra foi colocada no cone para escoamento, formando uma pilha sobre uma superfície reta, foi medido o diâmetro e a altura da pilha e o ângulo de repouso foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$\theta = \text{Arc tan} \left(\frac{2h}{D} \right) \quad (5)$$

Onde: θ - ângulo de repouso; h - altura da pilha; e D - diâmetro da pilha.

A molhabilidade foi determinada por meio da metodologia descrita por Schubert (1993) com adaptações, em que cerca de 0,5 g da amostra foi vertida em um béquer de 150 mL contendo 100 mL de água destilada em temperatura ambiente, verificando-se com cronômetro o tempo necessário para a completa imersão da amostra. O cálculo da taxa de molhabilidade foi realizado pela relação entre a massa (g) e o tempo (s).

Os dados gerados a partir das análises das amostras foram submetidos à análise de variância e a comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade,

utilizando-se o programa Statistica versão 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação deu origem a brotos com alto teor de água devido a absorção de água pelo grão durante o processo, variando de 52 a 69% (bs) entre as cultivares, de acordo com as Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Caracterização físico-química das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BR1

Parâmetro	BR1								
	in natura	Broto (48 h)	Farinhas						
			50 °C	60 °C	70 °C				
Teor de água (% bs)	6,44 ± 0,21 b	65,27 ± 0,66 a	3,78 ± 0,05 c	3,30 ± 0,01 c	3,24 ± 0,01 c				
a _w	0,618 ± 0,00 b	0,786 ± 0,00 a	0,412 ± 0,00 c	0,393 ± 0,00 d	0,361 ± 0,01 e				
Cinzas (% bs)	2,67 ± 0,04 a	2,00 ± 0,01 c	2,52 ± 0,03 b	2,59 ± 0,02 ab	2,50 ± 0,05 b				
Acidez (% bs)	0,26 ± 0,00 e	0,28 ± 0,00 d	0,43 ± 0,00 c	0,48 ± 0,00 b	0,51 ± 0,00 a				
pH	6,97 ± 0,01	6,94 ± 0,01	6,79 ± 0,01	6,79 ± 0,01	6,79 ± 0,01				
Lipídios (% bs)	49,67 ± 0,60 a	29,74 ± 0,91 c	42,69 ± 0,15 b	44,06 ± 0,05 b	49,15 ± 0,07 a				
Proteínas (% bs)	27,30 ± 0,47 c	23,85 ± 0,22 d	36,53 ± 0,41 a	36,19 ± 0,35 a	34,94 ± 0,50 b				
Açúcares totais (mg/100 g bs)	8,23 ± 0,01 b	18,27 ± 0,00 a	7,86 ± 0,01 e	7,98 ± 0,01 d	8,11 ± 0,01 c				
Açúcares redutores (mg/100 g bs)	5,57 ± 0,01 c	7,77 ± 0,00 a	5,69 ± 0,01 b	5,74 ± 0,02 b	5,77 ± 0,01 b				
Amido (% bs)	12,07 ± 0,02 a	7,23 ± 0,01 b	8,21 ± 0,10 c	8,21 ± 0,05 c	8,21 ± 0,05 c				

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O processo de desidratação dos brotos objetivou gerar produtos com teor de água na faixa de 3-4%. Quanto maior a temperatura de secagem, menor foi o teor de água do produto, em todas as cultivares. Embora tenha ocorrido esse decréscimo, o teor de água das amostras não apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) entre as diferentes temperaturas. O mesmo

comportamento foi observado por Leite et al. (2019), na secagem em diferentes temperaturas da semente de jaca germinada.

Tabela 2 – Caracterização físico-química das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BRS havana

Parâmetro	BRS havana					
	in natura	Broto (48 h)	Farinhas			
			50 °C	60 °C	70 °C	
Teor de água (% bs)	6,25 ± 0,11 b	68,79 ± 0,84 a	4,11 ± 0,05 c	4,04 ± 0,06 c	3,72 ± 0,06 c	
a_w	0,591 ± 0,00 b	0,796 ± 0,00 a	0,412 ± 0,00 c	0,375 ± 0,00 d	0,333 ± 0,00 e	
Cinzas (% bs)	2,56 ± 0,4 b	2,11 ± 0,02 c	2,70 ± 0,04 a	2,70 ± 0,03 a	2,67 ± 0,04 a	
Acidez (% bs)	0,32 ± 0,00 c	0,32 ± 0,00 c	0,50 ± 0,00 b	0,52 ± 0,01 a	0,52 ± 0,00 a	
pH	6,84 ± 0,01	6,88 ± 0,01	6,75 ± 0,01	6,75 ± 0,01	6,75 ± 0,01	
Lipídios (% bs)	50,30 ± 0,84 a	30,77 ± 0,22 c	47,83 ± 0,20 b	49,80 ± 0,34 a	50,69 ± 0,98 a	
Proteínas (% bs)	29,76 ± 0,52 b	26,07 ± 0,18 c	38,46 ± 0,56 a	39,37 ± 0,26 a	39,01 ± 0,70 a	
Açúcares totais (mg/100 g bs)	5,89 ± 0,00 e	8,60 ± 0,00 a	7,29 ± 0,02 d	7,79 ± 0,01 c	8,28 ± 0,01 b	
Açúcares redutores (mg/100 g bs)	5,09 ± 0,02 e	6,52 ± 0,01 a	5,57 ± 0,01 d	5,76 ± 0,01 c	5,95 ± 0,01 b	
Amido (% bs)	11,58 ± 0,01 a	4,93 ± 0,01 c	7,63 ± 0,05 b	7,65 ± 0,09 b	7,68 ± 0,00 b	

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Assim como o teor de água, a atividade de água (a_w) aumentou significativamente após o período de germinação. Os brotos apresentaram atividade de água na faixa de 0,700–0,800. A atividade de água afeta o crescimento de microrganismos, bem como a velocidade das reações químicas e enzimáticas que aumentam quando há uma alta quantidade de água livre disponível (FENNEMA et al., 2018), acelerando o processo de degradação dos produtos agrícolas. Embora a maioria dos microrganismos causadores de deterioração se prolifere mais rapidamente em um ambiente com alta atividade de água ($> 0,90$) (OLIVEIRA et al., 2011; FRANCO; LANDGRAF, 2005), a faixa de atividade de água das amostras

germinadas identifica o produto como sujeito a degradação microbiológica e a reações bioquímicas.

Tabela 3 – Caracterização físico-química das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar L7 vermelho

Parâmetro	L7 vermelho								
	in natura	Broto (48 h)	Farinhas						
			50 °C	60 °C	70 °C				
Teor de água (% bs)	6,57 ± 0,29 b	52,32 ± 0,38 a	3,44 ± 0,08 c	3,16 ± 0,05 c	3,15 ± 0,06 c				
a_w	0,579 ± 0,00 b	0,834 ± 0,00 a	0,364 ± 0,00 c	0,334 ± 0,00 d	0,204 ± 0,00 e				
Cinzas (% bs)	2,69 ± 0,05 a	2,16 ± 0,02 c	2,39 ± 0,03 b	2,39 ± 0,05 b	2,36 ± 0,04 b				
Acidez (% bs)	0,27 ± 0,00 d	0,29 ± 0,00 c	0,31 ± 0,00 b	0,32 ± 0,00 a	0,32 ± 0,01 a				
pH	6,89 ± 0,01	6,87 ± 0,01	6,99 ± 0,01	6,98 ± 0,01	6,98 ± 0,01				
Lipídios (% bs)	53,05 ± 0,58 a	33,29 ± 0,44 c	47,29 ± 0,49 b	51,83 ± 0,29 a	52,18 ± 0,11 a				
Proteínas (% bs)	28,28 ± 0,46 c	21,42 ± 0,17 d	36,62 ± 0,34 b	38,53 ± 0,21 a	37,40 ± 0,54 b				
Açúcares totais (mg/100 g bs)	4,43 ± 0,00 b	7,77 ± 0,00 a	7,36 ± 0,00 e	7,48 ± 0,02 d	9,14 ± 0,03 c				
Açúcares redutores (mg/100 g bs)	5,13 ± 0,01 b	6,63 ± 0,00 a	4,22 ± 0,02 e	4,39 ± 0,01 d	4,92 ± 0,01 c				
Amido (% bs)	13,85 ± 0,03 a	5,85 ± 0,02 c	7,66 ± 0,04 b	7,70 ± 0,04 b	7,72 ± 0,04 b				

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Após o processo de secagem, o broto da cultivar L7 vermelho seco a 70 °C apresentou a menor atividade de água (0,204), como pode ser observado na Tabela 3. No geral, as atividades de água das farinhas de broto de amendoim seguiram a mesma tendência do teor de água, diminuindo com o aumento da temperatura, com diferenças estatisticamente significativas entre as temperaturas.

Os valores de atividade de água das farinhas de brotos de amendoim, na faixa de 0,200–0,400, são materiais de baixa perecibilidade e adequados para conservação, visto que produtos com atividade de água abaixo de 0,6 são considerados microbiologicamente

estáveis (FENNEMA et al., 2018).

Como pode ser observado nas Tabelas 1, 2 e 3, o teor de cinzas de todas as cultivares diminuíram significativamente ($p < 0,05$) após o processo de germinação, corroborando com os resultados encontrados por Lima et al. (2019) estudando a germinação de sementes de jaca, por Mares et al. (2017) na germinação de semente de gergelim branco e por Hahm et al. (2009) com a germinação também de sementes de gergelim. Entretanto, a temperatura de secagem não interferiu no teor de cinzas das amostras, não havendo diferença estatística entre as amostras secas de 50 a 70 °C.

A acidez das amostras apresentou comportamento diferente entre as cultivares. A germinação demonstrou influência na acidez das cultivares BR1 e L7 vermelho (Tabelas 1 e 3), com uma elevação estatisticamente significativa, enquanto o pH apresentou uma pequena redução (0,43% - BR1; 0,30% - L7 vermelho), demonstrando que as amostras se tornaram mais ácidas. Entretanto, o processo germinativo não apresentou influência estatística na acidez total titulável da cultivar BRS havana (Tabela 2). O mesmo comportamento foi observado por Leite et al. (2016), após o processo germinativo das sementes de sorgo.

A secagem aumentou a acidez em relação às amostras in natura e germinadas úmidas, enquanto a elevação da temperatura de secagem acarretou alguma tendência de aumento de acidez nas amostras, o que é visto de forma clara na cultivar BR1. Durante o processo de secagem pode ocorrer a degradação ou a concentração dos ácidos orgânicos: como a acidez total titulável abrange todos os ácidos presentes no produto, quaisquer alterações nos ácidos constituintes podem interferir nos resultados (MELO et al., 2015; SANTOS et al., 2019).

O pH das amostras não diferiu entre as temperaturas de secagem, para todas as cultivares analisadas. Todos os valores se mantiveram na faixa de 6,00-7,00, abrangendo os resultados de pH de 6,70 obtidos por Albuquerque et al. (2015) analisando o “leite do amendoim”.

O teor de lipídios de todas as cultivares de amendoim foi reduzido em cerca de 40%, após o processo de germinação, conforme Tabelas 1, 2 e 3. Proteínas, lipídios e outras substâncias macromoleculares insolúveis são hidrolisadas em substâncias moleculares menores, como aminoácidos solúveis para biossíntese e geração de energia (YU et al., 2016; HAHM et al., 2009; TAN-WILSON; WILSON, 2012). Os resultados corroboram com outros trabalhos, como Rao et al. (2018) e Li et al. (2014), que observaram decréscimo de lipídeos durante a germinação do amendoim.

Após a secagem as farinhas apresentaram um teor de lipídios elevado, acima de 42%, valores estatisticamente maiores do que os brotos antes da secagem e com uma tendência de aumento com a elevação da temperatura. Akinoso et al. (2011) indicaram que o processamento térmico causa quebra de células oleosas em oleaginosas, coagulação da proteína, ajuste do teor de água ao valor ideal para extração e redução da viscosidade do óleo, resultando no aumento do teor de óleo e facilitando o fluxo desses.

O comportamento apresentado pelas amostras, após o processo de secagem, também foi observado por outros autores: Aljuhaimi e Özcan (2018) encontraram um aumento de 15% no teor de lipídios em base seca de amendoim germinado, após o processo de secagem; Amare et al. (2016) observaram um aumento de 12% no teor de lipídios em base seca após submeter grãos de amaranto (*Amaranthus caudatus*) a alta temperatura e associaram esse aumento a redução da fração não lipídica do grão após o processamento térmico. Paucar-Menacho et al. (2018) obtiveram aumentos de 16 e 5% no teor de lipídios em grãos de amaranto (*A. caudatus*) e de quinoa (*Chenopodium quinoa*) submetidos a processamento térmico; Giamy (1993) observou um aumento de 22% no teor de lipídios em peso seco do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) germinado após secagem; e Lin et al. (2016) também notaram que o teor de lipídios de amêndoas (*Prunus dulcis*) aumentou com a temperatura e duração da torrefação.

A germinação no período de 48 h causou uma redução no teor de proteínas das amostras de todas as cultivares. De acordo com Rao et al. (2018) e Laila e Murtaza (2014), as sementes das plantas degradam macromoléculas armazenadas, como carboidratos, proteínas e lipídios durante a germinação, dando origem a substâncias moleculares menores que são utilizadas para produzir a energia necessária para uma germinação bem-sucedida sob certas condições ambientais de crescimento, incluindo os parâmetros de temperatura, água e oxigênio. Comportamento semelhante foi observado em brotos de amendoim por Adhikari et al. (2018) e em brotos de feijão-mungo (*Vigna radiata*) por Ebert et al. (2017).

Os teores de proteína das farinhas de broto de amendoim não apresentaram variações dependentes das temperaturas de secagem, chegando a não diferir estatisticamente entre 50, 60 e 70 °C, como na cultivar BRS havana, Tabela 2.

Em todas as cultivares, as farinhas apresentaram valores de proteína maiores estatisticamente do que os brotos antes da secagem. O mesmo comportamento foi observado por Kavitra e Parimalavalli (2014) após a secagem de trigo, milho e feijão mungo (*Vigna radiata*) e por Paucar-Menacho et al. (2018) após o processamento térmico de grãos de amaranto (*A. caudatus*). De acordo com Savage et al. (1995) e Mubarak (2005), o valor

nutricional das proteínas nativas é aprimorado por tratamentos térmicos à medida que são convertidos em formas desnaturadas mais digestivas, além de resultar na inativação de enzimas lábeis ao calor, como lipoxigenase, inibidor de tripsina e urease.

As farinhas de broto de amendoim apresentaram teores de proteínas elevados, similares aos encontrados por Lazo-Velez et al. (2017) em farinha de broto de soja, e superiores aos encontrados por Abdallah et al. (2017) para farinha de broto de fava (*Vicia faba*) com 48 h de germinação.

Os açúcares totais e redutores aumentaram com o processo germinativo. Laila e Murtaza (2014) alegaram que durante a germinação, os polissacarídeos e proteínas armazenados nas sementes são divididos em componentes menores para fornecer energia e sintetizar substratos para os estágios iniciais da germinação das sementes, resultando em um acúmulo de aminoácidos livres e carboidratos solúveis, incluindo sacarose e glicose, o que justifica o aumento dos açúcares após as 48 h de germinação.

Como se observa nas Tabelas 1, 2 e 3, com a secagem das amostras os açúcares totais e redutores reduziram-se estatisticamente quando comparados aos brotos antes da secagem. Mota et al. (2010) afirmaram que a degradação dos açúcares redutores possivelmente está relacionada com as reações de escurecimento de Maillard durante o processo de secagem.

Ainda é possível observar uma tendência de elevação proporcional ao aumento da temperatura, diferindo estatisticamente entre os experimentos. A taxa de degradação devido à reação de Maillard geralmente se eleva com o aumento do teor de água (MENSINK et al., 2017), o que explicaria as diferenças, visto que nas temperaturas mais baixas se obteve menores teores de água.

Com o processo de germinação, houve reduções no teor de amido dos brotos de todas as cultivares, como mostram os dados das Tabelas 1, 2 e 3. De acordo com Yodpitak et al. (2019) e Ghumman et al. (2016), esse comportamento se dá porque durante a germinação ocorre o aumento da atividade da α -amilase, entre outras enzimas hidrolíticas que são ativadas para decompor moléculas grandes, como amido, polissacarídeos não-amiláceos e proteínas, para respiração da semente. Os resultados desse estudo corroboram com os encontrados por Leite et al. (2019) na germinação de sementes de jaca e por Zhao et al. (2018) em seis espécies de prado selvagem (*Chloris virgata*, *Kochia scoparia*, *Lespedeza hedyaroides*, *Astragalus adsurgens*, *Leonurus artemisia* e *Dracocephalum moldávica*).

Houve uma tendência de aumento no teor de amido das farinhas com o aumento da temperatura de secagem. O mesmo comportamento foi observado por Leite et al. (2019) na

secagem de sementes de jaca germinadas e por Chisté e Cohen (2011) na secagem de farinha de mandioca fermentada.

Chen et al. (2017) relacionaram o aumento no teor de amido com a elevação no teor de amilose com o processo de secagem. Correia et al. (2009) e Matherwson (1998) afirmaram que esse aumento pode ser devido ao aumento combinado da ação de enzimas durante o processo de secagem, principalmente da α -amilase, β -amilase, glucoamilase e pululanase, que são ativas nas temperaturas de secagem testadas.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 apresentam-se os valores dos compostos bioativos das amostras de sementes, brotos e brotos secos de amendoins das três cultivares estudadas.

Tabela 4 – Compostos bioativos das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 C da cultivar BR1

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Parâmetro (mg/100 g bs)	BR1					
	in natura	Broto (48 h)	Farinhas			
			50 °C	60 °C	70 °C	
Fenólicos totais	933,07 ± 0,74 b	1102,66 ± 1,26 a	663,29 ± 0,78 e	703,66 ± 0,00 d	724,42 ± 0,78 c	
Taninos totais	915,24 ± 0,72 b	1081,35 ± 0,72 a	779,79 ± 0,78 e	828,92 ± 0,84 d	849,75 ± 0,83 c	
Ácido ascórbico	8,35 ± 0,23 a	2,98 ± 0,06 b	8,05 ± 0,13 a	8,00 ± 0,12 a	8,00 ± 0,04 a	
Antocianinas	0,55 ± 0,00 e	8,00 ± 0,01 d	13,29 ± 0,01 a	11,16 ± 0,01 b	9,41 ± 0,02 c	
Flavonoides	6,36 ± 0,01 e	16,12 ± 0,02 d	23,40 ± 0,02 a	20,29 ± 0,03 b	19,21 ± 0,02 c	
Carotenoides	0,04 ± 0,00 b	0,18 ± 0,00 a	0,01 ± 0,00 d	0,01 ± 0,00 e	0,02 ± 0,00 c	

Em relação ao teor de compostos fenólicos totais, todas as cultivares apresentaram comportamentos semelhante no período de germinação estudado, com um aumento no teor de fenólicos após a germinação. Vários estudos demonstram que brotos de amendoim constituem um produto funcional, representando uma fonte alimentar abundante de substâncias fenólicas (YU et al., 2016; LIMMONGKON et al., 2017; WANG et al., 2017).

Com a secagem, as farinhas tiveram os teores de fenólicos reduzidos quando comparados aos dos brotos, o que se justifica tendo em vista que os compostos fenólicos são termossensíveis. O mesmo comportamento foi observado por Castro et al. (2017) na

obtenção de farinha de taro (*Colocasia esculenta*).

Tabela 5 – Compostos bioativos das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BRS havana

Parâmetro (mg/100 g bs)	BRS havana				
	in natura	Broto (48 h)	Farinhas		
			50 °C	60 °C	70 °C
Fenólicos totais	930,31 ± 0,13 b	1069,53 ± 0,86 a	728,17 ± 0,76 e	801,28 ± 0,79 d	822,34 ± 0,75 c
Taninos totais	912,56 ± 0,69 d	1050,58 ± 0,73 a	848,76 ± 0,80 e	930,42 ± 0,84 c	949,42 ± 0,80 b
Ácido ascórbico	5,37 ± 0,13 c	4,49 ± 0,12 d	10,83 ± 0,12 a	10,48 ± 0,05 b	10,43 ± 0,11 b
Antocianinas	0,47 ± 0,01 e	11,18 ± 0,00 a	5,31 ± 0,01 b	4,99 ± 0,01 c	4,57 ± 0,06 d
Flavonoides	8,81 ± 0,01 d	15,36 ± 0,01 a	11,32 ± 0,03 b	11,10 ± 0,01 c	8,17 ± 0,01 e
Carotenoides	0,01 ± 0,01 b	0,11 ± 0,00 a	0,01 ± 0,00 e	0,01 ± 0,00 d	0,01 ± 0,00 c

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 6 – Compostos bioativos das amostras de amendoim in natura, broto de amendoim e farinha de brotos de amendoim secos nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar L7 vermelho

Parâmetro (mg/100 g bs)	L7 vermelho				
	in natura	Broto (48 h)	Farinhas		
			50 °C	60 °C	70 °C
Fenólicos totais	933,63 ± 0,00 b	1027,24 ± 0,47 a	590,62 ± 0,77 e	674,88 ± 0,76 d	695,72 ± 0,78 c
Taninos totais	915,83 ± 0,00 b	1008,14 ± 0,69 a	706,09 ± 0,81 e	794,21 ± 0,82 d	817,76 ± 0,80 c
Ácido ascórbico	5,52 ± 0,08 b	2,70 ± 0,06 c	7,77 ± 0,10 a	7,84 ± 0,14 a	7,83 ± 0,05 a
Antocianinas	0,40 ± 0,00 d	6,99 ± 0,01 a	7,01 ± 0,01 a	6,56 ± 0,01 b	5,03 ± 0,01 c
Flavonoides	6,44 ± 0,01 e	12,85 ± 0,01 a	12,60 ± 0,01 b	12,18 ± 0,01 c	11,26 ± 0,01 d
Carotenoides	0,07 ± 0,00 b	0,20 ± 0,00 a	0,01 ± 0,00 c	0,02 ± 0,00 c	0,02 ± 0,00 c

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste

de Tukey ($p \leq 0,05$).

Também se observa que o teor de fenólicos das farinhas se elevou com o aumento de temperatura. O mesmo comportamento foi observado por Bagheri et al. (2017) durante a secagem de grãos de amendoim. De acordo com Bagheri et al. (2017) e Yanagimoto et al. (2002), esse aumento pode estar relacionado ao aumento dos produtos da reação Maillard durante a secagem, pois os produtos dessa reação com estrutura do tipo fenólico e derivados de Maillard têm componentes como pirróis e furanos, o que pode contribuir para o aumento dos compostos fenólicos totais com a elevação da temperatura.

O tempo de germinação de 48 h implicou no aumento do teor de taninos em todas as cultivares. Sabe-se que os taninos, embora possam trazer benefícios à saúde em dietas especiais voltadas para a perda de peso, se ligam a proteínas, carboidratos e outros nutrientes, limitando o valor nutricional dos alimentos e diminuindo sua digestibilidade, sendo considerados assim como fatores antinutricionais (BARROS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2017).

Li et al. (2014) observaram o mesmo comportamento das cultivares durante a germinação de amendoim, afirmando ainda que o aumento dos taninos pode levar ao aumento da atividade antioxidante dos brotos de amendoim.

Das Tabelas 4, 5 e 6 é possível observar que o processo de secagem reduziu significativamente o teor de taninos das amostras, gerando produtos com teores inferiores ao germinado por 48 h. Essa redução pode ser atribuída a hidrólise enzimática dos taninos, causada pelas enzimas degradativas como as polifenoloxidasas que não foram inativadas durante o processo de secagem. Ejigui et al. (2005) verificaram uma redução de 100% dos taninos condensados do amendoim e de feijão vermelho pequeno, após o descascamento, germinação e secagem das sementes, e Alonso et al. (2000) também observaram uma redução dos taninos após a germinação e extrusão de sementes de *Vicia faba* e *Phaseolus vulgaris*.

Conforme Tabelas 4, 5 e 6 houve uma redução no teor de ácido ascórbico dos brotos, quando comparados às sementes de amendoim in natura. Há pouca informação na literatura sobre o efeito da germinação no conteúdo de ácido ascórbico. Li et al. (2014) estudando a germinação do amendoim por 5 dias observaram o mesmo comportamento, corroborando com os resultados obtidos por Leite et al. (2019) na germinação das sementes de jaca. Entretanto, Bains et al. (2014) relataram que a germinação aumentou significativamente o ácido ascórbico no feijão mungo (*Vigna radiata*), grão de bico e feijão

caupi (*V. unguiculata* L. Walp).

O teor de ácido ascórbico das amostras aumentou após a secagem para todas as cultivares estudadas, com a concentração desse composto através da desidratação. De acordo com Dorta et al. (2012), este comportamento pode estar associado a inativação de enzimas responsáveis pela degradação de compostos como o ácido ascórbico. O comportamento observado nesse estudo corrobora com os resultados encontrados por diversos autores em diferentes produtos agrícolas. Coelho et al. (2019) observaram que teor de ácido ascórbico da manga dobrou após desidratação por secagem convectiva e Ozgur et al. (2011) afirmaram que o teor de ácido ascórbico de pimentas secas foi maior que o das amostras in natura, aumentando de 64 para 88 mg/100 g de matéria seca em pimentas verdes, e de 87 para 108 mg/100 g de matéria seca em pimentas vermelhas, os autores associam a elevação do teor de ácido ascórbico ao aumento de matéria seca.

As antocianinas e flavonoides foram influenciados significativamente pelo processo germinativo. Após 48 h de germinação, os brotos de todas as cultivares apresentaram teores de antocianinas e flavonoides superiores aos das sementes in natura (Tabelas 4, 5 e 6). Compostos bioativos, como as antocianinas e flavonoides, apresentam efeitos antioxidantes, atuando como sequestradores de radicais livres e estão frequentemente associados à prevenção de doenças cardiovasculares (BRAGA et al., 2018). Os resultados são consistentes com o observado por Zilic et al. (2014) após a germinação do trigo e por Li et al. (2014) após a germinação do amendoim, ambos relatando aumentos significativos nos teores de flavonoides das sementes germinadas.

O aumento da temperatura de secagem reduziu significativamente os teores de antocianinas e flavonoides das amostras, o que pode estar relacionado a termossensibilidade desses compostos. O mesmo comportamento foi observado por Jogihalli et al. (2017) na secagem de grão de bico. Os flavonoides são compostos fenólicos suscetíveis ao calor, explicando porque as temperaturas mais altas durante a secagem conduziram à diminuição desses compostos (ZHANG et al., 2010; ZHU et al., 2010).

A germinação das sementes de amendoim causou um aumento no teor de carotenoides das amostras de todas as cultivares, conforme as Tabelas 4, 5 e 6. Lim et al. (2012) observaram o mesmo comportamento em brotos de trigo. Entretanto, após o processo de secagem as amostras de farinha de broto de todas as cultivares apresentaram baixos teores, comportamento contrário ao observado por Multari et al. (2018) durante a secagem de sementes de quinoa. De acordo com Shen et al. (2015), a severidade do processo de secagem pode levar a processos de degradação dos carotenoides, como a oxidação.

As Tabelas 7, 8 e 9 exibem os resultados obtidos a partir da caracterização física das farinhas de broto de amendoim obtidas em temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Observa-se que as massa específicas aparentes e compactadas das amostras, embora tenham diferido estatisticamente entre as diferentes temperaturas de secagem, não apresentaram mudanças ou tendência associadas a essas diferenças, exceto na cultivar BR1, em que as massa específicas mais altas foram observadas nas temperaturas mais elevadas.

Tabela 7 – Propriedades físicas das farinhas de broto de amendoim obtidas a partir das temperaturas de 50, 60 e 70 °C da cultivar BR1

Análise	BR1 - Farinhas					
	50 °C		60 °C		70 °C	
Massa específica aparente (g/cm ³)	0,44 ± 0,00	b	0,46 ± 0,00	a	0,47 ± 0,00	a
Massa específica compactada (g/cm ³)	0,63 ± 0,01	b	0,66 ± 0,00	a	0,67 ± 0,01	a
Massa específica real (g/cm ³)	1,61 ± 0,07	a	1,32 ± 0,01	b	1,04 ± 0,02	c
Porosidade (%)	72,70 ± 1,35	a	64,58 ± 0,05	b	55,21 ± 0,86	c
Índice de Carr (%)	30,00 ± 0,00	a	30,00 ± 0,00	a	30,00 ± 0,00	a
Fator de Hausner	1,43 ± 0,00	a	1,43 ± 0,00	a	1,43 ± 0,00	a
Solubilidade (%)	10,13 ± 0,18	b	10,32 ± 0,05	b	11,61 ± 0,16	a
Higroscopicidade (%)	52,57 ± 0,45	b	54,39 ± 1,54	b	58,03 ± 1,22	a
Ângulo de repouso (°)	42,55 ± 0,47	c	45,51 ± 0,66	b	47,24 ± 0,09	a
Molhabilidade (g/s)	0,35 ± 0,00	a	0,33 ± 0,00	b	0,32 ± 0,00	b

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os valores obtidos para massa específica compactada estão próximos aos determinados por Eltayeb et al. (2011) na farinha de feijão bambara (*Vigna subterranean*) (0,621 g/cm³) para massa específica compactada, por Sandhu et al. (2017) na farinha de aveia (0,620 g/cm³), por Sharma et al. (2018) em farinha de grãos de milho rabo de raposa (*Setaria italica* L.) germinados (0,592 g/cm³) e por Elkhalifa e Bernhardt (2018) na farinha de sorgo germinado e fermentado (0,610 g/cm³).

A massa específica real das amostras apresentou uma tendência de redução com o aumento da temperatura de secagem, comportamento mais acentuado nas amostras da

cultivar BR1.

Tabela 8 – Propriedades físicas das farinhas de broto de amendoim obtidas a partir das temperaturas de 70, 60 e 50 °C da cultivar BRS havana

Análise	BRS havana - Farinhas					
	50 °C		60 °C		70 °C	
Massa específica aparente (g/cm ³)	0,45 ± 0,00	a	0,46 ± 0,00	a	0,45 ± 0,01	a
Massa específica compactada (g/cm ³)	0,65 ± 0,00	a	0,66 ± 0,00	a	0,65 ± 0,00	a
Massa específica real (g/cm ³)	0,77 ± 0,01	a	0,71 ± 0,00	b	0,70 ± 0,01	c
Porosidade (%)	40,65 ± 0,61	a	34,86 ± 0,23	b	34,73 ± 1,29	b
Índice de Carr (%)	30,00 ± 0,00	a	30,00 ± 0,00	a	30,00 ± 0,00	a
Fator de Hausner	1,43 ± 0,00	a	1,43 ± 0,00	a	1,43 ± 0,00	a
Solubilidade (%)	8,61 ± 0,18	c	9,12 ± 0,05	b	9,73 ± 0,16	a
Higroscopicidade (%)	47,85 ± 1,12	c	52,04 ± 0,79	b	55,20 ± 1,43	a
Ângulo de repouso (°)	42,17 ± 1,01	a	42,19 ± 0,85	a	43,32 ± 1,67	a
Molhabilidade (g/s)	0,34 ± 0,00	a	0,30 ± 0,00	ab	0,27 ± 0,00	b

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A cultivar BR1 mostrou valores superiores as demais cultivares, com valor médio de 1,32 g/cm³, enquanto as demais apresentaram valores médios aproximados de 0,72 g/cm³. Diversos estudos apresentaram resultados próximos ao da cultivar BR1, superiores aos das cultivares BRS havana e L7 vermelho. Teba et al. (2017) obtiveram valores de massa específica real entre 1,37 a 1,49 g/cm³ em farinha de arroz mista e 1,48 g/cm³ em farinha de arroz; Sousa et al. (2015) obtiveram resultados de massa específica real entre 1,26 e 1,41 g/cm³ em atemoia seca.

A massa específica real é definida como a massa de pó por unidade de volume absoluto, a porosidade total é a diferença entre o volume bruto e o volume real, isto é, os espaços vazios entre as partículas de amostra. A porosidade das amostras diminuiu com o aumento da temperatura, comportamento contrário ao observado por Teba et al. (2017), que afirmaram que o aumento de temperatura elevou a porosidade da farinha de arroz. O valor médio determinados na cultivar BR1, de 64,2%, é similar ao observado por Sharma et al. (2018) em farinha de grãos de milho rabo de raposa (*S. italica* L.) germinados (67,8%).

Tabela 9 – Propriedades físicas das farinhas de broto de amendoim obtidas a partir das temperaturas de 70, 60 e 50 °C da cultivar L7 vermelho

Análise	L7 vermelho - Farinhas					
	50 °C		60 °C		70 °C	
Massa específica aparente (g/cm ³)	0,45 ± 0,00	b	0,45 ± 0,00	b	0,46 ± 0,01	a
Massa específica compactada (g/cm ³)	0,65 ± 0,00	a	0,64 ± 0,00	b	0,65 ± 0,00	a
Massa específica real (g/cm ³)	0,72 ± 0,01	b	0,71 ± 0,01	ab	0,70 ± 0,00	b
Porosidade (%)	37,00 ± 0,85	a	36,90 ± 0,54	a	35,07 ± 0,56	b
Índice de Carr (%)	30,00 ± 0,00	a	30,00 ± 0,00	a	30,00 ± 0,00	a
Fator de Hausner	1,43 ± 0,00	a	1,43 ± 0,00	a	1,43 ± 0,00	a
Solubilidade (%)	8,81 ± 0,18	b	9,13 ± 0,05	ab	9,25 ± 0,16	a
Higroscopicidade (%)	47,38 ± 1,39	c	55,15 ± 0,98	b	66,64 ± 1,76	a
Ângulo de repouso (°)	43,20 ± 1,45	b	44,47 ± 0,36	ab	47,02 ± 1,42	a
Molhabilidade (g/s)	0,23 ± 0,00	a	0,22 ± 0,00	ab	0,21 ± 0,00	b

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A fluidez de um pó é um índice de importância tecnológica que pode ser caracterizada pelos índices de Hausner e de Carr, também conhecido como índice de compressibilidade (TRIBOLI; GUT, 2016). O índice de Carr, que se relaciona com as propriedades de fluxo do material, não sofreu variação estatística entre as amostras secas em diferentes temperaturas, nem entre as cultivares estudadas, todas com valor de 30%.

De acordo com Santhalakshmy et al. (2015), valores de índice de compressibilidade entre 15-20% representam pó com boa fluidez, entre 20-35% fluidez justa, entre 35-45% fluidez ruim e > 45% fluidez muito ruim.

O fator de Hausner também não apresentou diferenças estatística entre temperaturas. Santhalakshmy et al. (2015) afirmaram que materiais que apresentam FH > 1,4 são considerados de alta coesividade, classificação em que se enquadram as farinhas de broto de amendoim estudadas.

A solubilidade das farinhas aumentou com o aumento da temperatura de secagem, como se mostra nas Tabelas 7, 8 e 9. As características de solubilidade das proteínas são influenciadas por fatores como origem, condições de processamento, pH, força iônica e

presença de outros ingredientes (KINSELLA, 1976). Elkhalfa e Bernhardt (2010) verificaram que a maior solubilidade da farinha de sorgo germinado se deu na faixa de pH 6,0 e que quanto maior o tempo de germinação, maior a solubilidade da farinha obtida.

A solubilidade é uma propriedade de grande importância para o desenvolvimento de produtos instantâneos, e se relaciona com a quantidade de sólidos solúveis presentes na amostra seca (BEZERRA et al., 2013). De acordo com Augusto-Ruiz et al. (2003), o material ou proteína que apresenta índice de solubilidade de 10% possui potencial para uso na fabricação de produtos alimentícios instantâneos, o que incluiria as farinhas secas a 70 °C, com variação de solubilidade entre 9 e 11%.

Os valores de solubilidade encontrados nesse estudo foram inferiores aos encontrados por Albarracín et al. (2016) de 42,83% em grãos de arroz germinados extrudados e aos determinados por Devisetti et al. (2014), de 39% em farinhas de milho proso (*Panicum miliaceum* L.).

A higroscopicidade das farinhas se elevou com o aumento da temperatura de secagem, o que pode estar relacionado com o menor teor de água do produto obtido em temperaturas mais altas. Materiais secos são caracterizados por apresentarem higroscopicidade naturalmente alta e o ambiente de armazenamento pode influenciar fortemente sua qualidade e propriedades tecnológicas, de forma que a absorção de água é de grande importância na manutenção da estabilidade do produto em pó (LING et al., 2016).

De acordo com as especificações da GEA Niro Research Laboratory (2003), produtos que apresentam uma faixa de higroscopicidade acima de 25% são considerados extremamente higroscópicos, critério em que se incluem todas as farinhas de brotos de amendoim obtidas nas secagens nas temperaturas de 50 a 70 °C.

Conforme as Tabelas 7, 8 e 9, os ângulos de repouso das farinhas de brotos de amendoim das três cultivares variaram na faixa de 42 a 47° e podem ser consideradas coesivas, segundo a classificação proposta por Shittu e Lawal (2007), pela qual, sólidos particulados com até 35° de ângulo de repouso possuem boa fluidez ou se classificam como sem coesividade; os de 35 a 45° possuem coesividade fraca; de 45 a 55° apresentam coesividade; e, acima de 55° são muito coesivos. Materiais coesivos apresentam maior dificuldade à incorporação de água, mas durante a reidratação as moléculas de água presentes na superfície tendem a diminuir a coesividade entre as partículas, gerando, em consequência, uma penetração mais rápida de água. Szulc e Lenart (2012) reportaram que o ângulo de repouso de leite integral em pó, farelo de arroz, açúcar moído e pós de morango foram de 47°, 31°, 53° e 33°, respectivamente.

Das Tabelas 7, 8 e 9 tem-se que as taxas de molhabilidade das amostras diminuíram com o aumento da temperatura de secagem, isto é, quanto maior o teor de água da farinha maior foi a taxa de molhabilidade. O mesmo comportamento foi observado por Peter-Ikechukwu et al. (2019) que afirmaram que a taxa de molhabilidade de mixes de farinha de trigo, farinha de soja e farinha de taro (*C. esculenta*) aumentou com o aumento do teor de água da amostra. Caliskan e Dirim (2013) definiram a molhabilidade como a capacidade de penetração da água no pó por meio das forças capilares, e afirmaram que maiores taxas de molhabilidade facilitam a reidratação pelo aumento da capilaridade.

Os valores reportados nesse estudo, na faixa de 0,21 a 0,35 g/s, corresponderam a uma média de 4 s para 1,0 grama de farinha se umidificar. Sharma et al. (2018) estudando farinha de grãos de milho rabo de raposa (*S. italica* L.) germinados, obtiveram resultados de 58 s e 52 s para umidificar 1 g de farinha das amostras germinadas e não germinadas, respectivamente. Peter-Ikechukwu et al. (2019) encontraram valores de 73 s para 1 g do mix de farinha de soja com farinha de taro (*C. esculenta*) e 35 s para 1 g do mix de farinha de trigo com farinha de soja. Elkhalfa e Bernhardt (2018) obtiveram um tempo de 71 s para 1 g de farinha de sorgo germinado e fermentado.

CONCLUSÕES

As cultivares de amendoim BR1, BRS Havana e L7 Vermelho tiveram as composições afetadas pela germinação e pela secagem, e apresentaram propriedades físicas semelhantes após secagens em temperaturas entre 50 e 70 °C;

O processo de germinação reduziu os teores de lipídios, proteínas, ácido ascórbico e amido, e aumentou o teor de açúcares totais. O conteúdo dos compostos fenólicos totais, antocianinas, flavonoides e carotenoides aumentou após a germinação.

A secagem elevou os teores de lipídios, proteínas, ácido ascórbico e amido em relação ao material germinado; reduziu o teor de carotenoides, de fenólicos totais, e de taninos, e afetou os teores de antocianinas e flavonoides de forma diferente, conforme a cultivar; as temperaturas de secagem dos brotos de amendoim afetaram as propriedades físicas das farinhas deles obtidas, reduzindo a massa específica real e a molhabilidade e aumentando o índice de Carr, o fator de Hausner, a solubilidade, a higroscopicidade e o ângulo de repouso. As farinhas se apresentaram higroscópicas e de baixa fluidez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, M. M. F.; GHANEM, K. M.; EL-NAGA, M. A.; EL-SHESHTAWY, A. A.;

EL-GHANY, T. A. Effect of wheat flour supplemented with some seed sprouts flours on cake qualities. **Environmental Science**, v. 12, n. 3, p. 113-130, 2017.

ADHIKARI, B.; DHUNGANA, S. K.; ALI, M. W.; ADHIKARI, A.; KIM, I. D.; SHIN, D. H. Resveratrol, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant potential of seeds and sprouts of Korean peanuts. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1275-1284, 2018.

AKINOSO, R.; ABOABA, S. A.; OLAJIDE, W. O. Optimization of roasting temperature and time during oil extraction from orange (*Citrus sinensis*) seeds: a response surface methodology approach. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 11, n. 6, 2011.

ALBARRACÍN, M.; TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; GONZÁLEZ, R. J.; DRAGO, S. R. Physicochemical properties and structural characteristics of whole grain *Oryza sativa* L. with different treatments. **Food Science and Technology International**, v. 22, n. 4, p. 333-342, 2016.

ALBUQUERQUE, E. M. B.; ALMEIDA, F. D. A. C.; GOMES, J. P.; ALVES, N. M. C.; SILVA, W. P. Production of “peanut milk” based beverages enriched with umbu and guava pulps. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 1, p. 61-67, 2015.

ALJUHAIMI, F.; ÖZCAN, M. M. Influence of oven and microwave roasting on bioproperties, phenolic compounds, fatty acid composition, and mineral contents of nongerminated peanut and germinated peanut kernel and oils. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, p. e13462, 2018.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food chemistry**, v. 68, n. 2, p. 159-165, 2000.

AMARE, E.; MOUQUET-RIVIER, C.; ROCHETTE, I.; ADISH, A.; HAKI, G. D. Effect of popping and fermentation on proximate composition, minerals and absorption inhibitors, and mineral bioavailability of *Amaranthus caudatus* grain cultivated in Ethiopia. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 7, p. 2987-2994, 2016.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 2009. 1115p.

AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, R. S.; RISSO, F. A. V.; ARRIECHE, L. D. S. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, v. 13, p. 25-46, 2003.

BAGHERI, H.; KASHANINEJAD, M.; ZIAIIFAR, A. M.; AALAMI, M. Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 37, p. 106-114, 2016.

BAINS, K.; UPPAL, V.; KAUR, H. Optimization of germination time and heat treatments for enhanced availability of minerals from leguminous sprouts. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1016-1020, 2014.

BARROS, F.; AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 46, p. 11609-11617, 2012.

BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed - effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241-249, 2013.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, n. 1, p. 354-364, 2014.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRAGA, A. R. C.; MESQUITA, L. M. DE S.; MARTINS, P. L. G.; HABU, S.; ROSSO, V. V. A fermentação com *Lactobacillus* da polpa de jussara leva à conversão enzimática de antocianinas, aumentando a atividade antioxidante. **Jornal de Composição e Análise de Alimentos**, v. 69, p. 162-170, 2018.

BUENO, D. B.; SILVA JÚNIOR, S. I.; CHIAROTTO, A. B. S.; CARDOSO, T. M.; NETO, J. A.; REIS, G. C. L.; TAVANO, O. L. The germination of soybeans increases the water-soluble components and could generate innovations in soy-based foods. **LWT**, v. 117, e. 108599, 2020.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray dried (*Amaranthus*) betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its

functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARVALHO, H. H.; JOMG, E. V.; BELLÓ, R.M. **Alimentos: métodos físicos e químicos de análises**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 180 p.

CASTRO, D. S. D.; OLIVEIRA, T. K. B. D.; LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; ALMEIDA, R. D. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leito de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

CHEN, X.; LI, X.; MAO, X.; HUANG, H.; WANG, T.; QU, Z.; GAO, W. Effects of drying processes on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant properties of yam flours. **Food chemistry**, v. 224, p. 224-232, 2017.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O. Influence of fermentation on the quality of fermented cassava flour. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 2, p. 279-284, 2011.

COELHO, B. E. S.; NASCIMENTO, M. M.; CARVALHO, I. R. B.; SOUSA, K. D. S. M., MACHADO, N. S.; NETO, A. F. Curva de secagem solar e avaliação físico-química da manga" Espada". **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 3, p. 187-194, 2019.

CORREIA, P.; LEITÃO, A.; BEIRÃO-DA-COSTA, M. L. The effect of drying temperatures on morphological and chemical properties of dried chestnuts flours. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 3, p. 325-332, 2009.

DEVISETTI, R.; YADAHALLY, S. N.; BHATTACHARYA, S. Nutrients and antinutrients in foxtail and proso millet milled fractions: evaluation of their flour functionality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 889-895, 2014.

DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 261-268, 2012.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S.Patent 4465702, 1984.

EBERT, A. W.; CHANG, C. H.; YAN, M. R.; YANG, R. Y. Nutritional composition of mungbean and soybean sprouts compared to their adult growth stage. **Food Chemistry**, v. 237, p. 15-22, 2017.

EJIGUI, J.; SAVOIE, L.; MARIN, J.; DESROSIERS, T. Influence of traditional processing methods on the nutritional composition and antinutritional factors of red peanuts (*Arachis hypogea*) and small red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Biological Science**,

v. 5, n. 5, p. 597-605, 2005.

ELKHALIFA, A. E. O.; BERNHARDT, R. Combination effect of germination and fermentation on functional properties of sorghum flour. **Current Journal of Applied Science and Technology**, p. 1-12, 2018.

ELKHALIFA, A. E. O.; BERNHARDT, R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 387-392, 2010.

ELTAYEB, A. R. S.; ALI, A. O.; ABOU-ARAB, A. A.; ABU-SALEM, F. M. Chemical composition and functional properties of flour and protein isolate extracted from Bambara groundnut (*Vigna subterranean*). **African Journal of Food Science**, v. 5, n. 2, p. 82-90, 2011.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. 900 p.

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

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia de alimentos**. 1 ed. São Paulo: Atheneu, 2005.

GAN, R. Y.; LUI, W. Y.; WU, K.; CHAN, C. L.; DAI, S. H.; SUI, Z. Q.; CORKE, H. Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 59, p. 1-14, 2017.

GEA Niro Research Laboratory. **Analytical methods dry milk products**. GEA Niro analytical methods. Soeborg: Denmark, 2003.

GHUMMAN, A; KAUR, A; SINGH, N. Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinari*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 137-144, 2016.

GIAMI, S. Y. Effect of processing on the proximate composition and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour. **Food Chemistry**, v. 47, n. 2, p. 153-158, 1993.

HAHM, T.; PARK, S.; LO, Y. M. Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 4, p. 1643-1647, 2009.

HAUSNER, H. H. **Friction conditions in a mass of metal powder**. Los Angeles: Univ. of California, 1967.

HORUZ, E.; BOZKURT, H.; KARATAŞ, H.; MASKAN, M. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics,

modeling, temperature profile and energy aspect. **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 2, p. 425-436, 2018.

JAN, K. N.; PANESAR, P. S.; RANA, J. C.; SINGH, S. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 102, p. 315-322, 2017.

JAN, R.; SAXENA, D. C.; SINGH, S. Analyzing the effect of optimization conditions of germination on the antioxidant activity, total phenolics, and antinutritional factors of *Chenopodium* (*Chenopodium album*). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 256-264, 2017.

JIMENEZ, M. D.; LOBO, M.; SAMMÁN, N. Influence of germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) grains on nutritional and techno-functional properties of their flours. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, e 103290, 2019.

JOGIHALLI, P.; SINGH, L.; SHARANAGAT, V. S. Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 79, p. 223-233, 2017.

KANENSI, O. J.; OCHOLA, S.; GIKONYO, N. K.; MAKOKHA, A. Optimization of the period of steeping and germination for amaranth grain. **Journal of Agricultural and Food Technology**, v. 1, p. 101-105, 2011.

KAVITHA, S.; PARIMALAVALLI, R. Effect of processing methods on proximate composition of cereal and legume flours. **Journal of Human Nutrition and Food Science**, v. 2, n. 4, p. 1051, 2014.

KINSELLA, J. E. Functional properties of protein in foods, a survey. **Critical Review Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 2, p. 219-280, 1976.

LAILA, O.; MURTAZA, I. Seed sprouting: a way to health promoting treasure. **International Journal of current research**, v. 6, p. 70-74, 2014.

LAZO-VELEZ, M. A.; MATA-RAMÍREZ, D.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; CHUCK-HERNANDEZ, C. Functional effects of soybean concentrates obtained from sprouted seeds enriched in selenium in wheat breadmaking. **Cereal chemistry**, v. 94, n. 4, p. 740-745, 2017.

LEITE, D. D. F.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, A. S.; GONÇALVES, M. C.; ALMEIDA, M. C. B. M. Propriedades funcionais da semente do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in natura e germinado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 07-11, 2016.

LEITE, D.; QUEIROZ, A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CAMPOS, A.; SANTOS, D.; LIMA,

- T. Germination impact in the nutrition and technological properties of jackfruit seeds. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 1, p. 79-100, 2019.
- LI, Y. C.; QIAN, H.; SUN, X. L.; CUI, Y.; WANG, H. Y.; DU, C.; XIA, X. H. The effects of germination on chemical composition of peanut seed. **Food Science and Technology Research**, v. 20, n. 4, p. 883-889, 2014.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: **Methods in enzymology**. Academic Press, 1987. p. 350-382.
- LIM, J. H.; PARK, K. J.; KIM, B. K.; JEONG, J. W.; KIM, H. J. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1065-1070, 2012.
- LIMMONGKON, A.; JANHOM, P.; AMTHONG, A.; KAWPANUK, M.; NOPPRANG, P.; POOHADSUAN, J.; BOONSONG, T. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 332-338, 2017.
- LIMMONGKON, A.; NOPPRANG, P.; CHAIKEANDEE, P.; SOMBOON, T.; WONGSHAYA, P.; PILAISANGSUREE, V. LC-MS/MS profiles and interrelationships between the anti-inflammatory activity, total phenolic content and antioxidant potential of Kalasin 2 cultivar peanut sprout crude extract. **Food Chemistry**, v. 239, p. 569-578, 2018.
- LIMMONGKON, A.; PANKAM, J.; SOMBOON, T.; WONGSHAYA, P.; NOPPRANG, P. Evaluation of the DNA damage protective activity of the germinated peanut (*Arachis hypogaea*) in relation to antioxidant and anti-inflammatory activity. **LWT**, v. 101, p. 259-268, 2019.
- LIN, B. S.; LIEN, T. F.; CHAO, M. R.; LAI, T. Y.; CHANG, J. C.; CHOU, S. J.; CHIOU, R. Y. Y. Toxicological and nutraceutical assessments of peanut sprouts as daily supplements to feed SpragueDawley rats for 18 weeks. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 12, p. 2201-2207, 2008.
- LIN, J. T.; LIU, S. C.; HU, C. C.; SHYU, Y. S.; HSU, C. Y.; YANG, D. J. Effects of roasting temperature and duration on fatty acid composition, phenolic composition, Maillard reaction degree and antioxidant attribute of almond (*Prunus dulcis*) kernel. **Food Chemistry**, v. 190, p. 520-528, 2016.
- LIN, J.Y.; TANG, C.Y. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. **Food Chemistry**, v.101, p.140-147, 2007.
- LING, B.; ZHANG, B.; LI, R.; WANG, S. Nutritional quality, functional properties,

bioactivity, and microstructure of defatted pistachio kernel flour. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 5, p. 689–699, 2016.

MAISONT, S.; NARKRUGSA, W. The effect of germination on GABA content, chemical composition, total phenolics content and antioxidant capacity of thai waxy paddy rice. **Kasetsart Journal**, v. 44, n. 5, p. 912-923, 2010.

MARES, L. F. M.; PASSOS, M. C.; MENEZES, C. C. Interference of germination time on chemical composition and antioxidant capacity of white sesame (*Sesamum Indicum*). **Food Science and Technology**, v. 38, p. 248-253, 2018.

MARTINEZ, A. P. C.; MARTINEZ, P. C. C.; SOUZA, M. C.; BRAZACA, S. G. C. Alterações químicas em grãos de soja com a germinação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 23-30, 2011.

MATHERWSON, P. R. **Enzymes**. St. Paul: Eagan Press, 1998.

MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; OLIVEIRA, K. P.; COSTA, C. H. C.; FEITOSA, R. M. Study smell pepper drying kinetics in different temperature. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, p. 9-14, 2015.

MENSINK, M. A.; FRIJLINK, H. W.; MAARSCHALK, K. V. D. V.; HINRICHS, W. L. How sugars protect proteins in the solid state and during drying: mechanisms of stabilization in relation to stress conditions. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 114, p. 288-295, 2017.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 3, p. 426-428, 1959.

MOTA, C. L.; LUCIANO, C.; DIAS, A.; BARROCA, M. J.; GUINÉ, R. Convective drying of onion: kinetics and nutritional evaluation. **Food Bioprod. Process**, v. 88, p. 115-123, 2010.

MUBARAK, A. E. Nutritional composition and antinutritional factors of mungbean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. **Food Chemistry**, v. 89, p. 489-495, 2005.

MULTARI, S.; MARSOL-VALL, A.; KESKITALO, M.; YANG, B.; SUOMELA, J. P. Effects of different drying temperatures on the content of phenolic compounds and carotenoids in quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) from Finland. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 72, p. 75-82, 2018.

NUNES, J. S.; LINS, A. D. F.; GOMES, J. P.; SILVA, W. D.; SILVA, F. D. Influência da temperatura de secagem nas propriedades físico-químicas de resíduos abacaxi. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 1, p. 41-46, 2017.

OLIVEIRA, K. G.; QUEIROZ, V. A. V.; ALMEIDA CARLOS, L.; MORAIS CARDOSO, L.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; ANUNCIACÃO, P. C.; BARROS, F. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. **Food Chemistry**, v. 216, p. 390-398, 2017.

OLIVEIRA, M. E. C.; FERREIRA, A. F.; PODEROSO, J. M.; LESSA, A. C. V.; ARAÚJO, E. D.; CARNELOSSI, M. A. G.; RIBEIRO, G. T. Atividade de Água (Aw) em amostras de pólen apícola desidratado e mel do estado de Sergipe. **Revista da Fapese**, v. 4, n. 2, p. 27-36, 2008.

OMARY, M. B.; FONG, C.; ROTHSCHILD, J.; FINNEY, P. Effects of germination on the nutritional profile of glutenfree cereals and pseudocereals: a review. **Cereal Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 1-14, 2012.

OZGUR, M.; OZCAN, T.; AKPINAR-BAYIZIT, A.; YILMAZ-ERSAN, L. Functional compounds and antioxidant properties of dried green and red peppers. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 25, p. 5638-5644, 2011.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; DUEÑAS, M.; PEÑAS, E.; FRIAS, J.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C. Effect of dry heat puffing on nutritional composition, fatty acid, amino acid and phenolic profiles of pseudocereals grains. **Polish journal of food and nutrition sciences**, v. 68, n. 4, p. 289-297, 2018.

PETER-IKECHUKWU, A. I.; IBEABUCHI, J. C.; ELUCHIE, C. N.; AGUNWAH, I. M.; ANEKE, E. J.; CHUKWU, M. N.; OKAFOR, D. C. Functional properties of sausage rolls made from cocoyam and wheat flour enriched with soybean flour. **Food Science and Nutrition**, v. 3, n. 2, 2019.

POLITI, F. A.; MELLO, J. C.; MIGLIATO, K. F.; NEPOMUCENO, A. L.; MOREIRA, R. R.; PIETRO, R. C. Antimicrobial, cytotoxic and antioxidant activities and determination of the total tannin content of bark extracts *Endopleura uchi*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 4, p. 2757-2768, 2011.

RAO, H.; CHEN, C.; TIAN, Y.; LI, Y.; GAO, Y.; TAO, S.; XUE, W. Germination results in reduced allergenicity of peanut by degradation of allergens and resveratrol enrichment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 50, p. 188-195, 2018.

RODRÍGUEZ, Ó.; GOMES, W.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. Effect of acoustically assisted treatments on vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 92-102, 2017.

SANDHU, K. S.; GODARA, P.; KAUR, M.; PUNIA, S. Effect of toasting on physical, functional and antioxidant properties of flour from oat (*Avena sativa* L.) cultivars. **Journal**

of the **Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 2, p. 197-203, 2017.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v.274, n.1, p.37-43, 2015.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; LIMA, T. L.; MOREIRA, I. S. Effect of Dehydration Methods on Okra Chemical and Physical Composition. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 5, 2019.

SAVAGE, W. D.; WIE, L. S.; SUTHERLAND, J. W.; SCHMIDT, S. J. Biologically active components inactivation and protein insolubilization during heat processing of soybean. **Journal of Food Science**, v. 60, p. 164-180, 1995.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, n.1, p. 28-45, 1993.

SHARMA, N.; GOYAL, S. K.; ALAM, T.; FATMA, S.; NIRANJAN, K. Effect of germination on the functional and moisture sorption properties of high–pressure-processed foxtail millet grain flour. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 1, p. 209-222, 2018.

SHEN, R.; YANG, S.; ZHAO, G.; SHEN, Q.; DIAO, X. Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects of cooking methods on carotenoid content. **Journal of Cereal Science**, v. 61, p. 86-93, 2015.

SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 91-98, 2007.

SOUSA, K. S. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S. Produção e caracterização da polpa de atemoia em pó. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 718-728, 2015.

SZULC, K.; LENART, A. Water vapour adsorption properties of agglomerated baby food powders. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 1, p. 135-141, 2012.

TAN-WILSON, A. L.; WILSON, K. A. Mobilization of seed protein reserves. **Physiologia Plantarum**, v. 145, n. 1, p. 140-153, 2012.

TEBA, C. S.; SILVA, E. M. M.; CHÁVEZ, D. W. H.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Effects of whey protein concentrate, feed moisture and temperature on the physicochemical characteristics of a rice-based extruded flour. **Food Chemistry**, v. 228, p. 287-296, 2017.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 444-450, 2009.

TRIBOLI, E. P. R.; GUT, J. A. W. Study of spray-dried yoghurt production in a pilot-scale equipment using drying agents to reduce wall deposition. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 8, p. 793-803, 2016.

WANG, X.; YANG, R.; JIN, X.; ZHOU, Y.; HAN, Y.; GU, Z. Distribution of phytic acid and associated catabolic enzymes in soybean sprouts and indoleacetic acid promotion of Zn, Fe, and Ca bioavailability. **Food Science and Biotechnology**, v. 24, n. 6, p. 2161-2167, 2015.

WATERHOUSE, A. Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-6, 2006.

YANAGIMOTO, K.; LEE, K. G.; OCHI, H.; SHIBAMOTO, T. Antioxidative activity of heterocyclic compounds found in coffee volatiles produced by Maillard reaction. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 19, p. 5480-5484, 2002.

YEMM, E.W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-515, 1954.

YODPITAK, S.; MAHATHEERANONT, S.; BOONYAWAN, D.; SOOKWONG, P.; ROYTRAKUL, S.; NORKAEW, O. Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. **Food Chemistry**, v. 289, p. 328-339, 2019.

YU, M.; LIU, H.; YANG, Y.; SHI, A.; LIU, L.; HUI, H.; WANG, Q. Optimization for resveratrol accumulation during peanut germination with phenylalanine feeding & ultrasound treatment using response surface methodology. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 4, p. 938-945, 2016.

ZHANG, M.; CHEN, H.; LI, J.; PEI, Y.; LIANG, Y. Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 1, p. 181-185, 2010.

ZHAO, M.; ZHANG, H.; YAN, H.; QIU, L.; BASKIN, C. C. Mobilization and role of starch, protein, and fat reserves during seed germination of six wild grassland species. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 234, 2018.

ZHU, F.; CAI, Y. Z.; BAO, J.; CORKE, H. Effect of γ -irradiation on phenolic compounds in rice grain. **Food Chemistry**, v. 120, n. 1, p. 74-77, 2010.

ZILIC, S.; BASIĆ, Z.; HADŽI-TAŠKOVIĆ Š. V.; MAKSIMOVIĆ, V.; JANKOVIĆ, M.; FILIPOVIĆ, M. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour?. **International journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 4, p. 1040-1047, 2014.

4.4. ARTIGO IV - CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E ARMAZENAMENTO DE FARINHAS DE TRÊS CULTIVARES DE AMENDOINS GERMINADOS

Resumo

O broto de amendoim é uma fonte de fitoquímicos bioativos, como estilbenos e flavonoides, constituindo uma excelente opção para geração desses compostos, associados a atividade antioxidante. O broto é obtido por meio da germinação que é um processo simples e de baixo custo. Brotos crus das cultivares de amendoim BR1, BRS Havana e L7 Vermelho e as farinhas dos brotos foram avaliados quanto ao perfil de fenólicos. A farinha dos brotos foi avaliada também quanto ao perfil de minerais, teor de fibra bruta, atividade antioxidante e citotoxicidade. Nas farinhas também foram determinadas as isotermas de adsorção de água e a cinética de degradação dos compostos fenólicos totais durante 16 dias de armazenamento. As farinhas de broto de amendoim apresentaram alto teor de compostos fenólicos, inclusive resveratrol, alta atividade antioxidante, alto teor de fibras e minerais e não apresentaram citotoxicidade. A cinética de degradação indicou que a degradação dos compostos fenólicos totais pode seguir os modelos de ordem zero e de primeira ordem; os valores de k mostraram que a estabilidade dos compostos fenólicos diminui com o aumento da temperatura de armazenamento, culminando com as maiores perdas a 35 °C; as cultivares BR1 e BRS Havana são mais susceptíveis às reações de degradação. As isotermas de adsorção de água das farinhas do broto de amendoim de todas as cultivares são do tipo II, com formato sigmoidal; e os modelos de Peleg e GAB apresentaram os melhor ajustes aos dados das isotermas.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L., germinação, compostos bioativos, atividade antioxidante, compostos fenólicos, resveratrol.

Abstract

Peanut sprouts are a source of bioactive phytochemicals, such as stilbenes and flavonoids, constituting an excellent option for generating these compounds, associated with antioxidant activity. The sprout is obtained through germination, which is a simple and low-cost process. Raw sprouts of the peanut cultivars BR1, BRS Havana and L7 Vermelho and the sprout flours were evaluated for their phenolic profile. Sprout flour was also evaluated for mineral profile, crude fiber content, antioxidant activity and cytotoxicity. In the flours, the water adsorption isotherms and the degradation kinetics of the total phenolic compounds during

16 days of storage were also determined. Peanut sprout flours had a high content of phenolic compounds, including resveratrol, high antioxidant activity, high fiber and mineral content and no cytotoxicity. The degradation kinetics indicated that the degradation of total phenolic compounds can follow the zero-order and first-order models; k values showed that the stability of phenolic compounds decreases with increasing storage temperature, culminating in the highest losses at 35 °C; cultivars BR1 and BRS Havana are more susceptible to degradation reactions. The water adsorption isotherms of the peanut sprout flours of all cultivars are type II, with sigmoidal shape; and the Peleg and GAB models showed the best fit to the isotherm data.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., germination, bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic compounds, resveratrol.

INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma cultura cultivada em todo o mundo, que apresenta importância econômica e nutricional, sendo um dos alimentos mais populares devido ao alto valor nutricional e sua ampla gama de usos, consumido isoladamente e como ingrediente em outros produtos (YU et al., 2016; RAO et al., 2018).

O processo de germinação de sementes tem sido amplamente utilizado para produzir sementes e brotos comestíveis, mais populares nos países do leste asiático. Por meio de procedimentos simples de germinação, alterações bioquímicas complexas durante a hidratação e brotação, podem produzir diferentes compostos bioativos, essenciais para a saúde humana (GAN et al., 2017).

Os brotos de amendoim se caracterizam como um alimento natural de alta qualidade que tem efeitos importantes na saúde. Assim, a germinação é um processo promissor para melhorar o conteúdo de potenciais compostos antioxidantes no amendoim, inclusive estilbenos, e que pode ser aplicado na indústria de alimentos funcionais (LIMMONGKON et al., 2019; YU et al., 2016)

Limmongkon et al. (2017) e Wang et al. (2017) afirmaram que os níveis totais de polifenóis no broto de amendoim são muito mais altos do que os de sementes de amendoim crus e algumas outras plantas. Diversos estudos relataram os brotos de amendoim como um tipo de novo vegetal funcional, uma fonte alimentar abundante de substâncias fenólicas, como o resveratrol. Limmongkon et al. (2019) observaram o aumento da atividade

antioxidante e do resveratrol em brotos de amendoim. Lertkaeo et al. (2017) constataram que a atividade antioxidante dos brotos de amendoim possui atividade neuroprotetora.

Os compostos fenólicos são geralmente metabólitos secundários produzidos em plantas e podem estar correlacionados à atividade antioxidante, pois apresentam efeito protetor contra as reações oxidativas e vários benefícios biológicos (KOEDUKA et al., 2014). O resveratrol (3,4', 5-trihidroxiestilbeno) é um importante composto polifenólico natural encontrado em amendoins e brotos de amendoim, que pertence ao grupo estilbeno e é sintetizado pela enzima resveratrol-sintase (LIMMONGKON et al., 2017).

A maioria dos estudos atuais se concentram em avaliar os efeitos da germinação sobre a composição das sementes não se estendendo aos produtos obtidos a partir do material germinado. Esse estudo foi realizado com o objetivo de se caracterizar farinhas de três cultivares de amendoins germinados quanto ao perfil de fenólicos, atividade antioxidante, perfil de minerais e fibra bruta, analisar a cinética de degradação dos compostos fenólicos totais durante o armazenamento e determinar as isotermas de adsorção de água.

MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas e germinação

Foram utilizadas sementes das cultivares de amendoim, BRS Havana, L7 Vermelho e BR1, do programa de melhoramento genético da Embrapa, safra 2018/2019. As sementes foram cedidas pela Embrapa Algodão, Campina Grande – PB.

Sementes com pele de cada cultivar de amendoim foram sanitizadas por imersão em água destilada contendo 7% (p/v) de hipoclorito de sódio, na proporção sementes/solução de 1:10, à temperatura ambiente (28 ± 1 °C) por 5 min, seguindo a metodologia descrita por Setia et al. (2019), com adaptações. Depois de sanitizadas as sementes foram drenadas em peneira por 5 min.

Para a germinação, areia previamente esterilizada (170 °C/24 h) foi usada como substrato. O processo foi realizado em bandejas medindo 20 x 30 cm, contendo 2 kg de areia encharcada com água destilada numa proporção de 30% da massa de areia, foram dispostas 75 sementes de cada variedade de amendoim por bandeja. A germinação se deu à temperatura ambiente, nas condições de 12 h de exposição a luz e 12 h no escuro por 48 h. As sementes foram uniformemente pulverizadas com água destilada duas vezes por dia, em intervalos de 12 h para manter a hidratação adequada.

Elaboração das farinhas

Após germinação, os brotos ainda com pele em seus cotilédones foram processados por 2 min em um processador do tipo mixer (marca Philco, modelo PMX600 600 W), em seguida os brotos triturados foram desidratados secador com circulação de ar forçada em camada delgada de 0,5 cm à 70 °C e com velocidade do ar de 1 m/s, até atingir cerca de 3% de teor de água. Após secos os brotos foram triturados por 1 min, dando origem as farinhas de broto de amendoim.

Perfil de fenólicos, atividade antioxidante e fibra bruta

O perfil de fenólicos dos brotos de amendoim e nas farinhas de broto de amendoim foi determinado por CLAE (cromatografia líquida de alta eficiência) de acordo com metodologia proposta por Padilha et al. (2017) e adaptado por Dutra et al. (2018). Foram preparados extratos a base de metanol 70% na proporção de 1 g de amostra para 10 mL de extrato, a extração ocorreu em banho ultrassônico por 30 min. Foi utilizado um cromatógrafo líquido (Agilent 1260 Infinity LC System -Agilent Technologies, Santa Clara - EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodo (DAD) (modelo G1315D). Os dados foram processados no software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA). A coluna utilizada foi Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm) e a pré-coluna foi Zorbax C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm) (Zorbax, EUA). A detecção dos compostos foi realizada em 220, 280, 320, 360 e 520 nm, e a identificação e quantificação por comparação com padrões externos.

A atividade antioxidante *in vitro* foi realizada, em triplicata, de acordo a metodologia baseada na atividade antioxidante equivalente de Trolox utilizando os radicais ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico) (RUFINO et al., 2010) e DPPH^{*} (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (MORALES; JIMÉNEZ-PÉREZ et al., 2001), onde esses métodos detectam transferências de elétrons e transferência de átomos de hidrogênio. Os resultados foram expressos em percentual de atividade antioxidante de cada amostra comparando-se a uma curva-padrão de trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico).

O teor de fibra bruta foi determinado, em triplicata, de acordo com a metodologia da AOAC (2009).

Perfil de minerais

O perfil de minerais foi identificado e quantificado em Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX-7000, Shimadzu). As amostras na

forma de cinzas foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno de 5 μm de espessura e posteriormente submetidas ao vácuo. Foram utilizadas as seguintes condições de operação do equipamento, tensão do tubo de 15 keV (Na a Sc) e 50 keV (Ti a U) e com um colimador de 10 mm, com um detector de estado sólido Si (Li). Os resultados foram expressos em mg/100 g.

Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais

Para o estudo da cinética de degradação dos compostos fenólicos totais das farinhas de broto de amendoim amostras 1 g de farinha foram dispostas em recipientes de vidro e acondicionadas em potes herméticos com solução saturada de NaCl com umidade relativa de aproximadamente 75% nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C. Foram realizadas análises do teor de compostos fenólicos totais, em triplicata, no início e a cada dois dias durante o período de 16 dias.

Foi utilizado o método descrito por Waterhouse (2006) com o reagente Folin-Ciocalteu para determinar os compostos fenólicos totais. Os extratos foram obtidos a partir da diluição de 1 g de amostra em 50 mL de água destilada, após 30 min de repouso, os extratos foram filtrados e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 765 nm, com um branco composto por água destilada. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido gálico, as concentrações dos compostos fenólicos totais nas amostras foram expressas em mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/100 g de amostra.

As constantes cinéticas de ordem zero e de primeira ordem foram calculadas utilizando-se os modelos cinéticos apresentados na Tabela 2. Os parâmetros das farinhas das cultivares BR1 e BRS havana, foram calculados a partir das Equações 9 e 10, e da farinha da cultivar L7 vermelho a partir das Equações 9 e 11.

Para avaliar o modelo que melhor se ajustou a cinética de degradação do teor de compostos fenólicos totais, foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 2 - Modelos cinéticos

Ordem da reação	Modelo
Zero	$A = A_0 - k\theta$ (9)
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$ (10)
	$A = \frac{1}{k\theta + \frac{1}{A_0}}$ (11)

Onde: A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo θ ; A_0 - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação; e θ – tempo (dia)

O tempo de meia vida ($\theta_{1/2}$) foi calculado por meio das Equações 12, 13 e 14, derivadas a partir das equações de ordem zero e primeira ordem; o valor de k utilizado foi o do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos compostos fenólicos totais.

$$\theta_{1/2} = \frac{A_0}{(2 \cdot |k|)} \quad (12)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{0,693}{k} \quad (13)$$

$$\theta_{1/2} = \frac{1}{(k \cdot A_0)} \quad (14)$$

Foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 15) para verificar o efeito da temperatura na constante cinética (k); o valor de k utilizado foi o do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação dos fenólicos totais.

$$k = A e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (15)$$

Onde: k – constante da velocidade de reação; A – fator pré-exponencial; E_a – energia de ativação (energia mínima requerida para que uma reação se inicie) (kJ/mol); R – constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K); T- temperatura absoluta (K).

O fator Q_{10} que indica o aumento ou a redução da taxa de uma reação, quando o produto é armazenado a uma temperatura 10 °C maior, foi determinado conforme a Equação 16.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} \quad (16)$$

Onde: Q_{10} – quociente de temperatura ou fator de aceleração da temperatura; $k_{(T+10)}$ – constante da reação na temperatura $T + 10$ °C; k_T – constante da reação na temperatura T .

Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água foram determinadas utilizando o medidor de atividade de água (Aqualab modelo 3TE, Decagon Devices, USA) na temperatura de 25 °C, de acordo com o método especial indireto estático proposto por Crapiste e Rotstein (1982). Os modelos de Adan e Shove, GAB, Henderson, Lang, Oswin, Peleg e Smith (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais utilizando-se regressão não linear, pelo método Quase-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

Tabela 1 - Modelos matemáticos para descrever isotermas de adsorção de água

Modelos matemáticos	Equações
Adan e Shove	$X_e = a + (b \cdot a_w) + (c \cdot a_w^2) + (d \cdot a_w^3) \quad (1)$
GAB	$X_e = \left(\frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \right) \quad (2)$
Henderson	$X_e = a \cdot \exp(-k \cdot T) \quad (3)$
Lang-Sthinberg-Smith	$X_e = c_1 - b_1 \cdot \log(1 - a_w) \quad (4)$
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (5)$
Peleg	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2} \quad (6)$
Smith	$X_e = a + b \cdot \log(1 - a_w) \quad (7)$

Onde: X_e – teor de água de equilíbrio (% bs); X_0 – teor de água na monocamada molecular (% bs); a_w – atividade de água (adimensional); T – temperatura (°C); $a, b, b_1, c, c_1, k, k_1, k_2, n_1, n_2$ – constantes das equações.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 8.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{\text{exp}} - X_{\text{pred}})|}{X_{\text{exp}}} \quad (8)$$

Onde: P - desvio percentual médio (%); X_{exp} - valores obtidos experimentalmente; X_{pre} - valores preditos pelo modelo; n - número de dados experimentais.

Citotoxicidade

A análise de citotoxicidade das farinhas foi determinada com base no método descrito por Meyer et al. (1982) com adaptações, que utiliza a *Artemia salina*. Após o período de incubação os náuplios de *Artemia* foram expostos às soluções das farinhas em tubos de ensaio nas concentrações de 2500, 1250, 250, 125, 62,5 e 31,25 μL de solução aquosa de farinha para 5 mL de água destilada e 5 mL de solução salina, a cada tubo de ensaio foram adicionados 10 náuplios de *Artemia salina*. Após 24 h de exposição foi realizada a contagem dos náuplios vivos e mortos, sendo considerados vivos todos aqueles que apresentavam qualquer tipo de movimento, quando observados próximos a uma fonte luminosa. Os resultados foram submetidos ao tratamento estatístico utilizando-se o programa estatístico Bio Stat 2009®, efetuando-se a análise PROBIT, que fornece os valores de DL50.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil de fenólicos, atividade antioxidante e fibra bruta

Os principais ácidos fenólicos e flavonoides identificados nos extratos solúveis dos brotos de amendoim e nas farinhas de broto de amendoim são apresentados na Tabela 3. Em geral, os ácidos fenólicos predominantes identificados nos brotos e nas farinhas de broto foram os ácidos clorogênico e o cis-resveratrol.

O processamento térmico afetou o teor de ácidos fenólicos presentes nas amostras de todas as cultivares. Assim, as farinhas de broto de amendoim apresentaram um conteúdo maior de ácidos fenólicos em comparação com os brotos antes da secagem. Esse comportamento foi contrário ao observado por Aljuhaimi e Özcan (2018), que afirmaram que na secagem do amendoim germinado ocorreu uma redução nos teores de ácidos fenólicos. Chandrasekara e Shahidi (2011) sugerem que o aumento de ácidos fenólicos

durante o aquecimento se dá pela liberação desse ácido durante o processo.

Tabela 3 - Perfil de fenólicos de brotos e farinhas de brotos de três cultivares de amendoim

Fenólicos (mg/100 g ms)	BR1		BRS havana		L7 vermelho	
	Broto	Farinha	Broto	Farinha	Broto	Farinha
Ácido gálico	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ácido siríngico	0,09	0,35	0,11	0,47	NC	0,49
Ácido caftárico	0,50	ND	0,70	0,71	0,66	1,38
Ácido clorogênico	3,26	15,13	3,79	15,58	2,60	16,02
Ácido cafeico	ND	0,17	ND	0,25	ND	0,28
Ácido ρ -cumárico	0,35	ND	0,62	ND	0,22	1,51
Cis-Resveratrol	0,66	1,05	0,73	1,16	0,45	1,10
Trans-resveratrol	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Catequina	1,78	4,00	2,26	5,41	1,11	3,42
Epicatequina	0,03	0,18	0,04	0,25	0,04	0,05
Galato de epicatequina	0,74	2,15	0,81	2,16	1,43	5,56
Galato de epigallocatequina	ND	0,31	ND	0,25	ND	0,39
Quercitina 3-Glucósido	0,23	0,53	ND	ND	0,24	0,64
Campferol 3-glucósido	0,04	0,17	1,03	0,31	0,70	0,35
Proantocianidina A ₂	0,57	ND	0,59	ND	ND	ND
Proantocianidina B ₁	ND	0,94	ND	1,01	ND	0,82
Proantocianidina B ₂	0,51	1,86	ND	0,68	0,42	1,83
Hesperidina	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Naringenina	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Miricetina	ND	ND	ND	0,15	ND	ND
Rutina	ND	0,06	ND	0,03	ND	ND

*ND – não detectado nas condições de extração; ms – massa seca.

O ácido clorogênico prevaleceu em todas as amostras, com valores de 3,26 mg/100 g ms, 3,79 mg/100 g ms e 2,60 mg/100 g ms para os brotos e de 15,13 mg/100 g ms, 15,58 mg/100 g ms e 16,02 mg/100 g ms para as farinhas dos brotos das cultivares BR1, BRS havana e L7 vermelho, respectivamente. Em oposição aos resultados desse estudo, o ácido clorogênico não foi detectado nos brotos de amendoim por Khang et al. (2016) e por Wu et al. (2011) em brotos com cinco e três dias de germinação, respectivamente, no entanto esse

foi detectado nos grãos de amendoim e em sua pele por Win et al. (2011).

Os ácidos gálicos e cafeico não foram detectados nas amostras de broto de amendoim, resultado que corrobora Khang et al. (2016), que não constataram a presença desses ácidos no broto de amendoim após cinco dias de germinação. No entanto foi detectada a presença do ácido cafeico nas amostras de farinha de todas as cultivares, corroborando os resultados obtidos por Wang et al. (2017), que estudaram o enriquecimento por ácido cafeico em brotos de amendoim por meio do processo de germinação, com resultados a partir do primeiro dia de germinação, e por Sebei et al. (2013), que detectaram o ácido cafeico em grãos de amendoim.

O ácido ρ -cumárico apresentou valores de 0,35 mg/100 g ms, 0,62 mg/100 g ms e 0,22 mg/100 g ms para os brotos as cultivares BR1, BRS havana e L7 vermelho respectivamente, esse não foi detectado por Khang et al. (2016), entretanto foi o ácido predominante nos brotos de amendoim com três dias de germinação estudados por Wu et al. (2011) e Wang et al. (2017) encontraram altas concentrações (70 mg/100 g ms) em brotos de amendoim com 48 h de germinação. Esse ácido não foi detectado nas farinhas das cultivares BR1 e BRS havana, e apresentou um aumento na farinha do broto de amendoim da cultivar L7 vermelho, Chandrasekara e Shahidi (2011) também observaram esse comportamento após a torrefação da castanha de caju.

O resveratrol, um estilbeno natural, é uma fitoalexina benéfica para a saúde. O cis-resveratrol foi detectado em todas as amostras de broto e de farinha, apresentando maior conteúdo no broto e na farinha da cultivar BRS havana (0,73 e 1,16 mg/100 g ms, respectivamente).

Limmongkon et al. (2017) estudaram o conteúdo de resveratrol em cinco cultivares de amendoim e obtiveram valores de 0,644 mg/100 g ms, 0,255 mg/100 g ms e 0,178 mg/100 g ms para as cultivares Kalasin2, Konkaen e Tainan9, respectivamente; Rao et al. (2018) analisaram a influência da germinação na produção de resveratrol em brotos de amendoim, encontrando valores de 0,4 mg/100 g ms em 48 h de germinação, e chegando ao valor 1,13 mg/100 g ms no quinto dia de germinação, atestando que o processo germinativo elevou os níveis de resveratrol no broto de amendoim estudado; avaliando o extrato bruto do broto de amendoim, Limmongkon et al. (2018) encontraram o valor de 0,719 mg/100 g ms de resveratrol no broto com 48 h de germinação, semelhante, portanto ao resultado obtido no broto da cultivar BRS Havana; Yu et al. (2005), observaram uma elevação no teor de resveratrol após o processamento térmico da pele de grãos de amendoim,.

O trans-resveratrol não foi detectado nas amostras estudadas, ao contrário de Wu et

al. (2011) e Limmongkon et al. (2019), que registraram a presença de trans-resveratrol em brotos de amendoim durante o período germinativo, este último após um período de 9 dias de germinação.

Estudos anteriores apontam que o período de germinação aumenta o teor de resveratrol nos brotos de amendoim, que pode variar de acordo com as diferentes cultivares de amendoim e estados de desenvolvimento do broto. Além disso, diferentes partes dos brotos, como cotilédones, raízes e caules, também mostram diferentes quantidades de resveratrol (WANG et al., 2005; PAE et al., 2011; LIMMONGKON et al., 2017).

De acordo com Bagheri et al. (2016) e Yanagimoto et al. (2002) o aumento no teor de fenólicos após o processamento térmico pode estar relacionado ao aumento dos produtos da reação Maillard durante o aquecimento, pois estes apresentam estrutura do tipo fenólico e os derivados de Maillard possuem componentes como pirróis e furanos, o que pode contribuir para o aumento do total de compostos fenólicos de amostras secas.

Igualmente detectou-se a presença de flavonoides nas amostras, como a catequina, epicatequina, a quercitina, o campferol e as proantocianidinas. Entre os compostos relacionados aos flavonoides, as proantocianidinas (PAC) recebem atenção especial, pois extratos ricos em proantocianidina podem ser usados para inibir o início do câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade e, portanto, podem apresentar potencial para uso na fabricação de nutracêuticos e ingredientes alimentares funcionais (CAMARGO et al., 2015; CAMARGO et al., 2016).

A proantocianidina B₁ não foi detectada nos brotos de amendoim, apenas nas farinhas de todas as cultivares. A proantocianidina B₂ foi detectada apenas nos brotos das cultivares BR1 e L7 vermelho, entretanto foi detectada nas farinhas de todos os brotos, apresentando aumentos de teores. A proantocianidina A₂ foi detectada apenas nos brotos das cultivares BR1 e BRS havana, mas não foi detectada nas farinhas. Depois de observar esse mesmo comportamento após a secagem da pele do amendoim, Constanza et al. (2012) sugere que a secagem foi capaz de despolimerizar proantocianidinas de maior peso molecular para liberar compostos de baixo peso molecular.

Camargo et al. (2017) detectaram a presença de proantocianidinas na pele do amendoim, assim como de catequina (45,4 mg/100 g ms) e epicatequina (33,6 mg/100 g ms). A presença desses compostos nas amostras estudadas, mesmo que em baixas quantidades, pode estar relacionada a presença da pele nos cotilédones dos brotos.

Ainda de acordo com a Tabela 3, é possível observar um aumento na quantidade de catequina presente nas farinhas de todas as cultivares em relação aos brotos, mesmo

comportamento relativo ao efeito do aquecimento observado por Chandrasekara e Shahidi (2011) após a torrefação da castanha de caju.

A atividade antioxidante das farinhas de broto de amendoim foi avaliada por dois métodos, os ensaios de eliminação de radicais livres de DPPH e de ABTS, conforme resultados na Tabela 4.

Tabela 4 – Atividade antioxidante da farinha de brotos de três cultivares de amendoim

Ensaio	BR1	BRS havana	L7 vermelho
DPPH (g amostra/g DPPH bs)	38,72 ± 1,47	42,57 ± 2,34	36,76 ± 1,32
ABTS (µmol AAET/g de amostra bs)	38,39 ± 0,00	32,17 ± 0,97	45,24 ± 1,50

AAET – atividade antioxidante equivalente ao Trolox

Os valores de DPPH e ABTS das farinhas variaram de 38,72 a 42,57 g amostra/g DPPH bs e 32,17 a 45,24 µmol AAET/g amostra bs, respectivamente, sendo os maiores valores observados para DPPH na farinha da cultivar BRS havana, com 42,57 g amostra/g DPPH bs e ABTS na farinha da cultivar L7 vermelho com 45,24 µmol AAET/g amostra bs. A variação entre as cultivares deve-se as características intrínsecas de cada uma (LIMMONGKON et al., 2017).

Ambos os ensaios apresentaram valores próximos, comportamento esperado visto que os ensaios DPPH e o ABTS compartilham o mecanismo básico de detecção de atividades antioxidantes. Limmongkon et al. (2017) sugeriram que não existe um ensaio único para medir a atividade antioxidante geral, uma vez que ensaios individuais ilustram diferentes aspectos do comportamento antioxidante. Sendo assim, a avaliação da atividade antioxidante generalizada pode precisar de múltiplos ensaios para indicar o perfil antioxidante geral dos extratos vegetais.

De acordo com Yang et al. (2019) esse fenômeno pode estar relacionado ao conteúdo fenólico. Já foi demonstrado que existe uma correlação positiva entre a atividade antioxidante e o teor de fenólicos totais presentes em brotos de amendoim (YANG et al., 2019; ADHIKARI et al., 2018; LIMMONGKON et al., 2017). Especula-se que o resveratrol apresenta atividade antioxidante eficaz e eliminação de radicais *in vitro* (DELMAS et al., 2011). O maior valor de resveratrol foi observado na farinha da cultivar BRS havana, corroborando o maior valor observado no ensaio DPPH. De maneira geral, os menores valores de atividade antioxidante observados na amostra BR1, considerando as duas

metodologias, coincidem com menores teores de compostos fenólicos observados nessa cultivar.

Os resultados obtidos concordam com diversos estudos que confirmam que o broto de amendoim possui uma alta atividade antioxidante, Yang et al. (2019), Adhikari et al. (2018) e Limomngkon et al. (2017) estudaram a atividade antioxidante de brotos de amendoim durante o período de germinação, encontrando valores próximos aos obtidos neste estudo. Hsu et al. (2002) usaram brotos de amendoim em pó como antioxidantes em óleos obtidos a partir do cozimento da farinha de broto de amendoim e concluíram que as raízes do broto de amendoim forneceram antioxidantes potentes para a preservação dos óleos cozidos. Ahn et al. (2012) utilizaram o pó do broto de amendoim como antioxidante em iogurtes, e observaram que a atividade antioxidante do iogurte aumentou conforme a concentração de pó de broto de amendoim aumentou.

A Tabela 5 traz o teor de fibra bruta das farinhas de broto de amendoim. As amostras apresentaram teor de fibras em torno de 20% b.s. Não foram encontrados na literatura valores de fibra bruta para farinha de broto de amendoim. No entanto, os valores relatados nesse estudo foram superiores aos já encontrados para farinha de amendoim com baixo teor de gordura (3,7%) (ATASIE et al., 2009); no amendoim in natura (4,75%) (HEIRU et al., 2019). O enriquecimento de fibras em produtos alimentícios foi verificado por Innocent et al. (2020) ao adicionarem farinha de soja germinada em pasta de legumes fermentados, verificando aumento significativo ($p < 0,05$) no teor de fibras das pastas.

Tabela 5 – Teor de fibra bruta das farinhas de broto brotos de três cultivares de amendoim

	BR1	BRS havana	L7 Vermelho
Fibra bruta (% bs)	19,38 ± 0,97 a	20,88 ± 0,55 a	19,69 ± 0,70 a

A fibra é comumente adicionada aos alimentos para melhorar as propriedades funcionais, como retenção de água e óleo, aumentar a viscosidade, melhorar a textura e a sensação na boca (FOSCHIA et al., 2013). As farinhas de broto de amendoim apresentam alto teor de fibra bruta, podendo ser utilizadas como ingredientes funcionais ricos em fibra em formulações de produtos alimentícios.

Perfil de minerais

A Tabela 6 traz os valores do perfil de minerais presentes nas farinhas de broto de amendoim das três cultivares.

Tabela 6 - Perfil de minerais das farinhas de brotos de três cultivares de amendoim

Minerais (mg/100 g ms)	BR1	BRS havana	L7 vermelho
Na	147,97	66,29	141,70
Mg	509,99	542,68	560,60
P	766,16	935,66	716,58
K	974,98	1012,76	826,95
Ca	90,30	95,71	99,74
Mn	2,43	2,35	1,84
Fe	4,00	4,43	2,50
Cu	0,56	0,65	0,39
Zn	4,59	7,05	4,12

Dentre os minerais detectados, o potássio ocorreu em maior quantidade nas farinhas de todas as cultivares, chegando a 1012,76 mg/100 g de massa seca na farinha da cultivar BRS havana. Seguido pelo fósforo, que também apresentou maior valor para a cultivar BRS havana com 935,66 mg/100 g ms e pelo magnésio, que apresentou maior valor na farinha da cultivar L7 vermelho com 560,60 mg/100 g ms.

Aljuhaimi e Özcan (2018), estudando farinha de amendoim germinado, reportaram teores de 337,78 mg/100 g ms de fósforo e 214,32 mg/100 g ms de potássio. Rodrigues et al. (2013) relataram resultados semelhantes, em que entre os minerais presentes no amendoim o potássio ocorreu na maior quantidade (600 mg/100 g ms), seguido de Mg (250 mg/100 g ms) e cálcio (65 mg/100 g ms). Wallerstein et al. (1989), Wu et al. (1997) e Cho (1995) relataram que as sementes de amendoim são ricas em K, Ca, Mg, P e S. As amostras estudadas não apresentaram enxofre em sua composição, apresentando potássio, magnésio, fósforo e cálcio.

Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais

Na Figura 1 são apresentadas as cinéticas de degradação dos compostos fenólicos totais ao longo de 16 dias de armazenamento nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C, nas farinhas de brotos de amendoim das três cultivares.

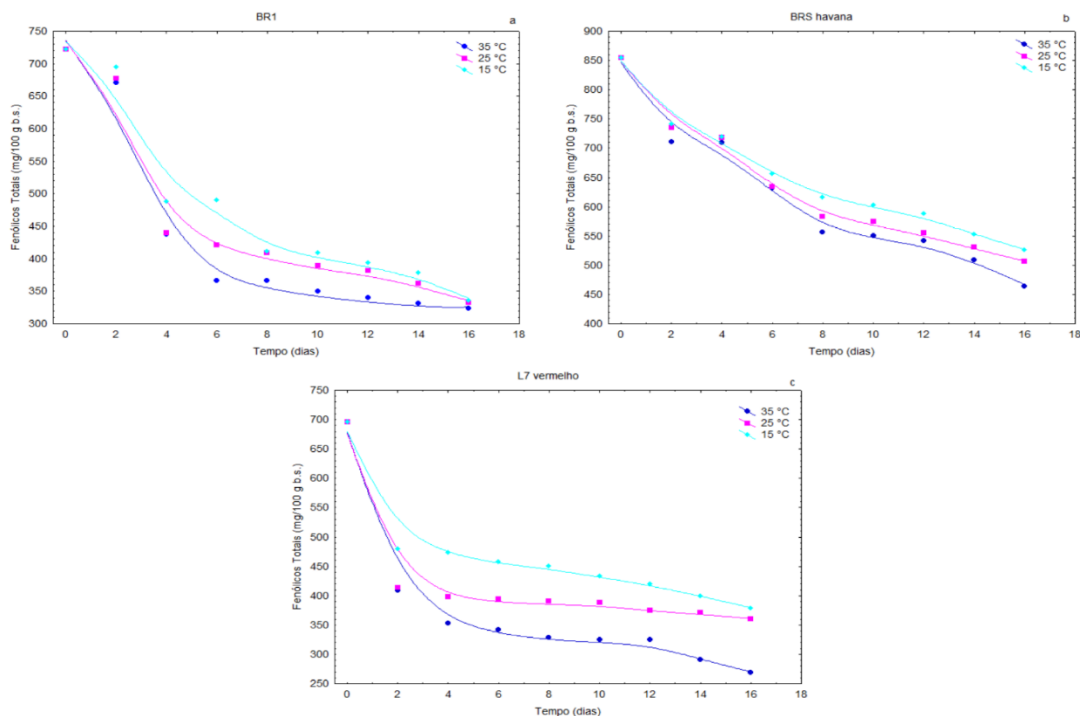


Figura 1 – Cinética de degradação dos compostos fenólicos totais de amostras de farinha de broto de amendoim: (a) Cultivar BR1; (b) Cultivar BRS Havana; e (c) Cultivar L7 Vermelho

O conhecimento da cinética de degradação, caracterizada pela constante da velocidade de reação (k), tempo de meia vida ($t_{1/2}$), quociente de temperatura (Q_{10}) e energia de ativação da reação (E_a) pode ajudar a minimizar a deterioração dos nutrientes e controlar os atributos de qualidade dos alimentos (VAN BOEKEL, 2008). Observa-se que o teor dos compostos fenólicos totais diminuiu com o decorrer do tempo de armazenamento para todas as temperaturas estudadas, com degradação mais acentuada nas maiores temperaturas. O teor dos compostos fenólicos totais das farinhas apresentou reduções de 45%, 50% e 61% na temperatura de armazenamento de 35 °C para as cultivares BR1, BRS Havana e L7 Vermelho, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado por Kim et al. (2018) ao determinarem a cinética de degradação de compostos fenólicos em maçãs, onde houve a redução de 78% dos compostos fenólicos na temperatura de armazenamento de 45 °C.

Os dados experimentais gerados da alteração no conteúdo dos compostos fenólicos totais foram ajustados a diferentes modelos cinéticos. As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os parâmetros cinéticos obtidos para ajustes em modelos cinéticos de reação de ordem de zero e de primeira ordem. Os resultados mostram que os valores da constante cinética da velocidade de reação (k) do modelo de ordem zero foram maiores em todas as amostras do

que os do modelo de primeira ordem, corroborando com os resultados de Rekas et al. (2017) em estudo da cinética de degradação de óleo de canola durante armazenamento.

Tabela 7 – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da farinha de brotos de amendoim da cultivar BR1

BR1					
Ordem	T (°C)	Parâmetros			
		k	A₀ (mg/100 g b.s.)	R²	θ_{1/2} (dia)
Zero	15	23,05	664,70	0,8309	14,41
	25	22,10	636,05	0,7444	14,39
	35	23,54	622,63	0,7113	13,22
		k (1/dia)	R²	θ_{1/2} (dia)	
Primeira	15	0,05	0,8613	13,22	
	25	0,05	0,7283	12,34	
	35	0,06	0,6721	10,94	

k -constante da velocidade de reação; A₀ – concentração inicial dos compostos fenólicos totais; R² - o coeficiente de determinação; θ_{1/2} - tempo de meia vida.

Tabela 8 – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da farinha de brotos de amendoim da cultivar BRS havana

BRS havana					
Ordem	T (°C)	Parâmetros			
		k (1/dia)	A₀ (mg/100 g b.s.)	R²	θ_{1/2} (dia)
Zero	15	18,31	797,30	0,9054	21,77
	25	19,97	792,24	0,9062	19,84
	35	21,51	786,37	0,9255	18,28
		k (1/dia)	R²	θ_{1/2} (dia)	
Primeira	15	0,03	0,8992	20,92	
	25	0,04	0,8881	18,81	
	35	0,04	0,8928	17,00	

k -constante da velocidade de reação; A₀ – concentração inicial dos compostos fenólicos totais; R² - o coeficiente de determinação; θ_{1/2} - tempo de meia vida.

Tabela 9 – Parâmetros cinéticos da degradação dos compostos fenólicos totais da farinha de brotos de amendoim da cultivar L7 vermelho

L7 vermelho					
Ordem	T (°C)	Parâmetros			
		k (1/dia)	A₀ (mg/100 g b.s.)	R²	θ_{1/2} (dia)
Zero	15	13,65	574,59	0,6509	21,04
	25	12,72	522,64	0,4445	20,54
	35	17,81	513,30	0,5792	14,41
Primeira		k (1/dia)	A₀	R²	θ_{1/2} (dia)
	15	0,0001	603,12	0,7253	22,01
	25	0,0001	586,20	0,5462	16,14
	35	0,0002	612,89	0,7639	9,21

k -constante da velocidade de reação; A₀ – concentração inicial dos compostos fenólicos totais; R² - o coeficiente de determinação; θ_{1/2} - tempo de meia vida.

Os valores do coeficiente de determinação (R²) de ambos os modelos foram semelhantes em todas as amostras estudadas, não podendo ser utilizados como base para a escolha de um melhor modelo de ajuste. Rekas et al. (2017), Kim et al. (2018), Beta e Hwang (2018) e Krichene et al. (2015) obtiveram melhores ajustes para o modelo de primeira ordem aos dados de degradação do óleo de canola, de maçãs moídas, de farinha de milho amarelo e de azeite de oliva, respectivamente. Embora os modelos apresentem valores baixos de ajustes para todas as amostras, ambos os modelos apresentam melhores ajustes aos dados da farinha de broto de amendoim cultivar BRS havana ($0,9054 \leq R^2 \leq 0,9255$, ordem zero; e $0,8881 \leq R^2 \leq 0,8992$, primeira ordem).

A constante cinética da velocidade de reação (k) é um indicador que prevê a velocidade da degradação térmica dos compostos em produtos alimentícios, valores baixos implicam em uma degradação mais lenta. É possível constatar que as constantes cinéticas de velocidade de reação aumentaram com o aumento da temperatura de armazenamento, o que implica numa maior degradação dos compostos fenólicos em temperaturas mais altas. Resultados similares foram obtidos por Rekas et al. (2017) durante o armazenamento de óleo de canola; por Kim et al. (2018) ao estudarem a cinética de degradação de compostos fenólicos em maçãs moídas; e por Ito et al. (2019) durante o armazenamento de farinha de arroz preto.

O tempo de meia vida, definido como o tempo em que o conteúdo dos compostos fenólicos totais decai pela metade, foi calculado a partir do valor de k. É possível observar que quanto maior o valor da constante de velocidade da reação de degradação, menor o tempo de meia vida do teor de fenólicos na amostra. Conforme o valor de k aumenta com o aumento da temperatura, eleva-se a degradação dos compostos, de forma que o tempo de meia vida dos compostos fenólicos totais das farinhas armazenadas a 15 °C foi maior que os das farinhas armazenadas a 35 °C, em todas as cultivares.

A farinha da cultivar BRS havana, apresentou um tempo de meia vida maior na temperatura de 35 °C em relação as demais cultivares, sendo superior ao período de 16 dias aplicados na realização do armazenamento.

A energia de ativação pode ser vista como a barreira energética que as moléculas precisam atravessar para que tenha início à reação e a proporção de moléculas que ultrapassam esse limiar aumenta com a temperatura, o que explica qualitativamente o efeito da temperatura nas taxas (VAN BOEKEL, 2008). A Tabela 10 traz os valores da energia de ativação da reação (E_a), e do quociente de temperatura Q_{10} .

Tabela 10 - Energia de ativação (E_a) da reação, coeficiente de determinação (R^2) e quociente de temperatura (Q_{10}) das farinhas de brotos de amendoim cultivares BR1, BRS havana e L7 vermelho

	E_a (kJ/mol)	R^2	Q_{10} (15-25 °C)	Q_{10} (25-35 °C)
BR1	6,97	0,9450	0,96	1,07
BRS havana	5,96	0,9994	1,08	1,09
L7 vermelho	31,47	0,9810	1,40	1,68

Os valores de E_a para as farinhas de broto de amendoim das cultivares BR1, BRS havana e L7 vermelho foram respectivamente de 6,97, 5,96 e 31,47 kJ/mol. De acordo com Zhou et al. (2017), uma alta E_a indica que a reação de degradação tem uma ativação mais difícil, é necessário um maior dispêndio de temperatura para que a reação ocorra e que essa é mais dependente dos aumentos de temperatura. Os valores de E_a da farinha da cultivar L7 vermelho foram superiores aos valores das demais amostras, indicando que a reação de degradação dos compostos fenólicos totais demanda mais energia para ocorrer, e que a amostra apresenta uma maior estabilidade em relação às demais. De acordo com Kim et al.

(2018) quanto menor a E_a para os compostos fenólicos, mais susceptível eles estarão a reações de degradação.

O fator Q_{10} representa o número de vezes que o conteúdo e a atividade mudam com uma mudança de 10 °C na temperatura. Os valores de Q_{10} para a degradação dos compostos fenólicos totais nas farinhas de broto de amendoim foram 0,96 (BR1), 1,09 (BRS havana) e 1,40 (L7 vermelho), para a faixa de 15-25 °C e de 1,07 (BR1), 1,08 (BRS havana) e 1,68 (L7 vermelho) para a faixa de 25-35 °C. Esse resultado indica que a cinética de degradação foi mais afetada pela temperatura na faixa de 25 a 35 °C, isto é, a degradação dos compostos fenólicos das amostras foi maior nessa faixa de temperatura. Ozsen e Erge (2013) encontraram valores de Q_{10} na faixa de 1,1 a 1,5 para a degradação de compostos fenólicos da polpa de morango, valores que corroboram com os obtidos para as farinhas das cultivares BRS havana e BR1.

Isotermas de adsorção de água

As Tabelas 11, 12 e 13 apresentam os valores dos parâmetros dos modelos de Adan e Shove, GAB, Henderson, Lang, Oswin, Peleg e Smith ajustados aos dados experimentais de adsorção de água a 25 °C, os coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da farinha de broto de amendoim cultivar BR1, BRS havana e L7 vermelho.

Peleg foi o modelo que apresentou melhor ajuste para as farinhas de todas as cultivares, com $R^2 = 0,9996$ e $P < 1,69$, seguido pelo modelo de GAB $R^2 = 0,9928$ e $P < 4,00$, podendo assim serem utilizados para prever as isotermas de adsorção de água das farinhas de amendoim cultivar BR1, BRS havana e L7 vermelho.

Sharma et al. (2018) relataram que o modelo de GAB se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais de adsorção de água de farinhas de grãos de milho foxtail (*Setaria italica* L.) germinados e processados em alta pressão a 10, 25 e 40 °C. Simah et al. (2016) obtiveram bons ajustes com o modelo de GAB aos dados de isotermas de adsorção da farinha do milho foxtail (*S. italica* L.), mas não obtiveram bons ajustes para o modelo de Peleg. Sobowale et al. (2019) obtiveram bons ajustes com o modelo de GAB aos dados experimentais das isotermas da farinha mista de sorgo com amendoim.

Tabela 11 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C da farinha de broto de amendoim da cultivar BR1

BR1						
Modelos	Parâmetros					
Adan e Shove	a	b	c	d	R²	P (%)
	-8,36	101,00	-231,33	169,30	0,9851	4,83
GAB	X_m	C	k		R²	P (%)
	2,63	3054598,9 7	0,95		0,9928	3,88
Henderson	b		a		R²	P (%)
	0,38		0,38		0,9070	11,16
Lang-Sthinberg-Smith	c₁		b₁		R²	P (%)
	-0,36		7,32		0,9086	11,45
Oswin	a		b		R²	P (%)
	4,93		0,58		0,9787	6,43
Peleg	k₁	n₁	k₂	n₂	R²	P (%)
	6,62	0,30	29,40	8,31	0,9996	0,94
Smith	a		b		R²	P (%)
	-0,36		-7,32		0,9086	11,45

Tabela 12 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de adsorção de água a 25 °C da farinha de broto de amendoim da cultivar BRS havana

BRS havana						
Modelos	Parâmetros					
Adan e Shove	a	b	c	d	R²	P (%)
	-12,00	117,91	-259,86	183,97	0,9795	6,99
GAB	X_m	C	k		R²	P (%)
	2,31	13828535,63	0,96		0,9935	3,99
Henderson	b		a		R²	P (%)
	0,39		0,39		0,8873	12,55
Lang-Sthinberg-Smith	c₁		b₁		R²	P (%)

		-0,82		7,09	0,8921	13,28	
		a		b	R²	P (%)	
Oswin		4,25		0,62	0,9803	7,04	
		k₁	n₁	k₂	n₂	R²	P (%)
Peleg		6,42	0,39	30,65	9,12	0,9985	1,68
		a		b	R²	P (%)	
Smith		-0,82		-7,09	0,8921	13,28	

Tabela 13 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C da farinha de broto de amendoim da cultivar L7 vermelho

L7 vermelho						
Modelos	Parâmetros					
	a	b	c	d	R²	P (%)
Adan e Shove	-15,26	137,84	-294,58	203,36	0,9762	5,78
	X_m	C	k		R²	P (%)
GAB	2,44	5.583.508,67	0,96		0,9940	3,90
	b		a		R²	P (%)
Henderson	0,38		0,38		0,8828	12,35
	c₁		b₁		R²	P (%)
Lang-Sthinberg-Smith	-0,79		7,37		0,8883	13,06
	a		b		R²	P (%)
Oswin	4,54		0,61		0,9799	6,34
	k₁	n₁	k₂	n₂	R²	P (%)
Peleg	6,76	0,37	31,24	9,15	0,9981	1,66
	a		b		R²	P (%)
Smith	-0,79		-7,37		0,8883	13,06

Os valores de X_m das farinhas de broto de amendoim variaram de 2,63 g/g (BR1), 2,31g/g (BRS havana) e 2,44 g/g (L7 vermelho). O teor de água na monocamada, X_m , correspondente à quantidade de água fortemente adsorvida na superfície da amostra seca, representativa de um teor de água crítico abaixo do qual o material apresenta maior estabilidade, com taxas de reações de deterioração insignificantes, é reiterado como o limite

seguro, conforme reiterado por Pérez-Alonso et al. (2006) e Moreira et al. (2008). Quanto maiores os valores de X_m maior a higroscopicidade do material (XU et al., 2019). Sharma et al. (2018) classificaram farinhas com X_m na faixa de 2–3 g/g como farinhas menos higroscópicas devido ao ganho de açúcares durante a germinação das sementes, relacionando esse comportamento com a composição e natureza do produto.

A constante C, associada às diferenças de potencial químico entre a monocamada e as camadas superiores, está relacionada ao calor da adsorção da água pela amostra. De acordo com Alpizar-reyes et al. (2017) supõe-se que fortes interações adsorvente-adsorvido sejam favorecidas em temperaturas mais baixas, sendo que quanto maior for o valor de c maiores serão essas interações.

Os valores de k para as farinhas de broto de amendoim variaram de 0,95-0,96 entre as cultivares estudadas. A constante k está relacionada à entalpia de sorção de água da multicamada, indicando uma medida das interações entre moléculas das multicamadas e o adsorvente. Quando os valores de k estão na faixa de 0,24 a 1,0, o modelo GAB descreve melhor as isotermas em forma de sigmóide (LEWICKI, 1997).

A Figura 2 traz as isotermas de adsorção de água da farinha do broto de amendoim a 25 °C para as cultivares BR1, BRS havana e L7 vermelho, com representação dos ajustes pelo modelo de Peleg. De acordo com a classificação de Brunauer et al. (1938), as isotermas de sorção das farinhas do broto de amendoim de todas as cultivares são do tipo II, com formato sigmoidal. Observa-se nas a_w entre 0,1 a 0,6, um pequeno aumento do teor de água para um grande aumento da a_w , indicando um comportamento menos higroscópico nesta faixa inicial.

As isotermas de adsorção de todas as farinhas podem ser divididas em: (1) região monocamada inicial (a_w inferior a 0,2), onde as moléculas de água são fortemente absorvidas, como um teor de água crítico acima do qual se iniciam as reações químicas, sendo também uma medida da disponibilidade de locais de sorção ativos; (2) região multicamada intermediária (a_w na faixa de 0,2-0,6), que causa oxidação lipídica e alterações físicas e (3) região final da água condensada (a_w maior que 0,6), que determina o crescimento microbiano (LABUZA; ALTUNAKAR, 2007).

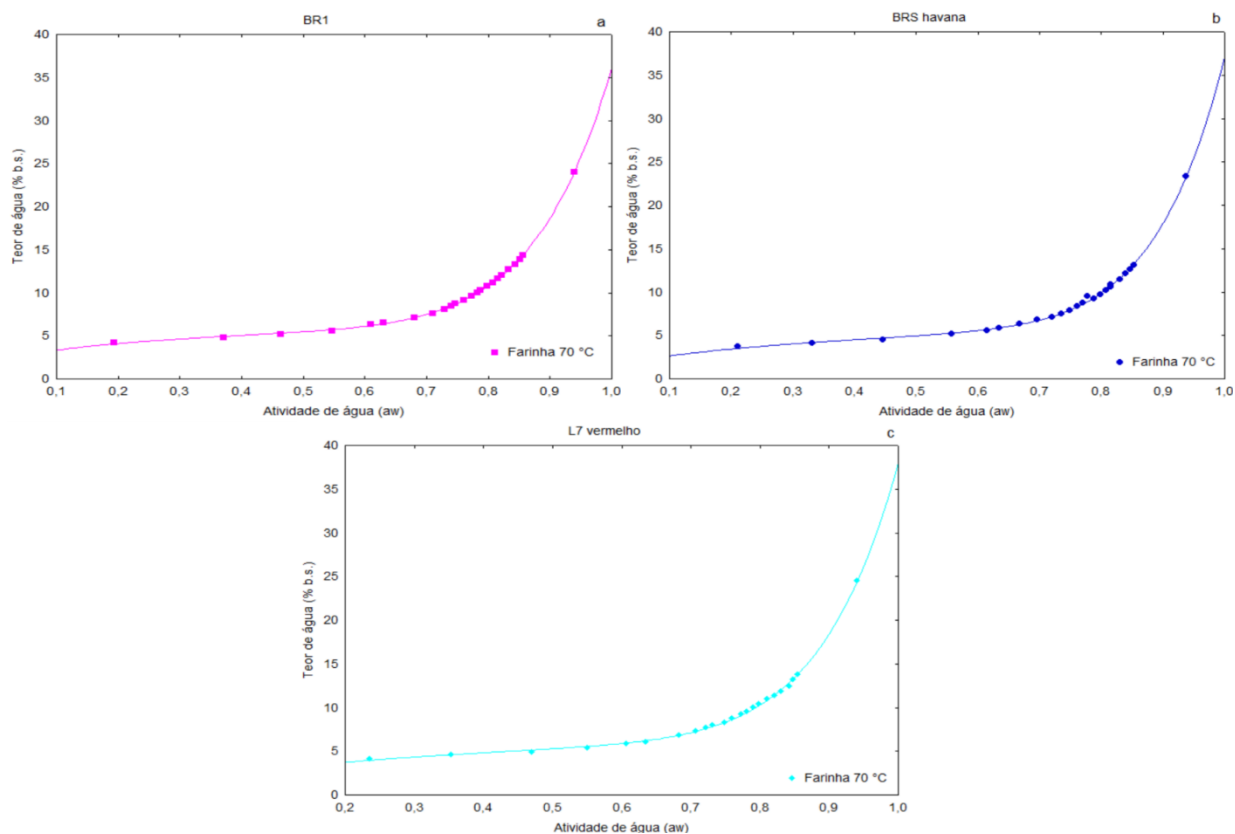


Figura 2 - Isotermas de sorção de água da farinha do broto de amendoim a 25 °C com representação dos ajustes pelo modelo de Peleg: (a) Cultivar BR1; (b) Cultivar BRS Havana; (c) Cultivar L7 Vermelho

Citotoxicidade

No ensaio de citotoxicidade constatou-se que no período de 24 h não foi detectado nenhum náuplio morto nos extratos das farinhas de broto de amendoim, em nenhuma das concentrações avaliadas. Com isso é possível afirmar que as amostras de farinhas de broto de amendoim das três cultivares estudadas não apresentaram citotoxicidade. Resultados semelhantes foram relatados para brotos de alfafa (*Medicago sativa*) e feno-grego (*Trigonella foenum-graecum*) por Frias et al. (2007); para brotos de rabanete e de brócolis por Martínez-Villaluenga et al. (2008); e para extratos a base de hexano do broto de amendoim por Kim et al. (2019).

CONCLUSÕES

As farinhas de broto de amendoim apresentaram alto teor de compostos fenólicos, inclusive resveratrol, superiores aos dos brotos antes do processo de secagem. As farinhas apresentaram alta atividade antioxidante, se mostraram ricas em fibras e em minerais e não

apresentaram citotoxicidade. A cultivar BR1 Apresentou menores teores de compostos fenólicos e menor atividade antioxidante que as cultivares BRS Havana e L7 Vermelho.

A cinética de degradação dos compostos fenólicos totais é ajustada por modelos de ordem zero e de primeira ordem; a estabilidade dos compostos fenólicos diminui com o aumento da temperatura de armazenamento; as cultivares BR1 e BRS havana são mais susceptíveis às reações de degradação e a degradação foi mais acentuada na faixa de temperatura de 25-35 °C.

As isotermas de sorção das farinhas do broto de amendoim de todas as cultivares são sigmoidais, do tipo II; os modelos de Peleg e GAB apresentaram melhores ajustes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, B.; DHUNGANA, S. K.; ALI, M. W.; ADHIKARI, A.; KIM, I. D.; SHIN, D. H. Resveratrol, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant potential of seeds and sprouts of Korean peanuts. **Food science and biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1275-1284, 2018.

AHN, Y. J.; GANESAN, P.; KWAK, H. Soo. Comparison of Nano powdered and powdered peanut sprout-added yogurt on its physicochemical and sensory properties during storage. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 32, n. 5, p. 553-560, 2012.

ALJUHAIMI, F.; ÖZCAN, M. M. Influence of oven and microwave roasting on bio properties, phenolic compounds, fatty acid composition, and mineral contents of nongeminated peanut and germinated peanut kernel and oils. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, p. e13462, 2018.

ALPIZAR-REYES, E.; CARRILLO-NAVAS, H.; ROMERO-ROMERO, R.; VARELAGUERRERO, V.; ALVAREZ-RAMÍREZ, J.; PÉREZ-ALONSO, C. Thermodynamic sorption properties and glass transition temperature of tamarind seed mucilage (*Tamarindus indica* L.). **Food and bioproducts processing**, v. 101, p. 166-176, 2017.

AOAC. **Crude Fiber Analysis in Feeds by Filter Bag Technique Ba 6a-05**. 2009

ATASIE, V. N.; AKINHANMI, T. F.; OJIODU, C. C. Proximate analysis and physicochemical properties of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 194-197, 2009.

BAGHERI, H.; KASHANINEJAD, M.; ZIAIIFAR, A. M.; AALAMI, M. Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 37, p. 106-114, 2016.

BETA, T.; HWANG, T. Influence of heat and moisture treatment on carotenoids, phenolic content, and antioxidant capacity of orange maize flour. **Food chemistry**, v. 246, p. 58-64, 2018.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American chemical society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CAMARGO, A. C.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; BIASOTO, A. C. T.; SHAHIDI, F. Enzyme-assisted extraction of phenolics from winemaking by-products: Antioxidant potential and inhibition of alpha-glucosidase and lipase activities. **Food chemistry**, v. 212, p. 395-402, 2016.

CAMARGO, A. C.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; GALLO, C. R.; SHAHIDI, F. Gamma-irradiation induced changes in microbiological status, phenolic profile and antioxidant activity of peanut skin. **Journal of Functional Foods**, v. 12, p. 129-143, 2015.

CAMARGO, A. C.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; RASERA, G. B.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; PRADO-SILVA, L.; ALVARENGA, V. O.; SHAHIDI, F. Phenolic acids and flavonoids of peanut by-products: Antioxidant capacity and antimicrobial effects. **Food chemistry**, v. 237, p. 538-544, 2017.

CHANDRASEKARA, N.; SHAHIDI, F. Effect of roasting on phenolic content and antioxidant activities of whole cashew nuts, kernels, and testa. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 9, p. 5006-5014, 2011.

CHO, K. S. Chemical compositions in the various plant types of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of the Korean Society of Food and Nutrition (Korea Republic)**, v. 22, n.5 p. 576 – 583, 1995.

CONSTANZA, K. E.; WHITE, B. L.; DAVIS, J. P.; SANDERS, T. H.; DEAN, L. L. Value-added processing of peanut skins: antioxidant capacity, total phenolics, and procyanidin content of spray-dried extracts. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 43, p. 10776-10783, 2012.

CRAPISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.

DELMAS, D.; AIRES, V.; LIMAGNE, E.; DUTARTRE, P.; MAZUÉ, F.; GHIRINGHELLI, F.; LATRUFFE, N. Transport, stability, and biological activity of resveratrol. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1215, n. 1, p. 48-59, 2011.

DUTRA, M. D. C. P.; RODRIGUES, L. L.; DE OLIVEIRA, D.; PEREIRA, G. E.; LIMA, M. S. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and

Mn. **Food chemistry**, v. 269, p. 157-165, 2018.

FOSCHIA, M.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A.; BRENNAN, C. S. The effects of dietary fiber addition on the quality of common cereal products. **Journal of Cereal Science**, v. 58, n. 2, p. 216-227, 2013.

FRÍAS, J.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; GULEWICZ, P.; PEREZ-ROMERO, A.; PILARSKI, R.; GULEWICZ, K.; VIDAL-VALVERDE, C. Biogenic amines and HL60 cytotoxicity of alfalfa and fenugreek sprouts. **Food chemistry**, v. 105, n. 3, p. 959-967, 2007.

GAN, R. Y.; LUI, W. Y.; WU, K.; CHAN, C. L.; DAI, S. H.; SUI, Z. Q.; CORKE, H. Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 59, p. 1-14, 2017.

HEIRU, M.; BULTOSA, G.; BUSA, N. Effect of grain teff, finger millet and peanut blending ratio and processing condition on weaning food quality. **Cogent Food & Agriculture**, v. 5, n. 1, p. 1671116, 2019.

HSU, W. C.; CHO, P. J.; WU, M. J.; CHIOU, R. Y. A Rapid and Small-Scale Method for Estimating Antioxidative Potency of Peanut Sprouts. **Journal of food science**, v. 67, n. 7, p. 2604-2608, 2002.

INNOCENT, O. N.; LUCY, E. N.; JOEL, N.; ANTHONY, U. N. Quality Characteristics of Soy-akamu Powder Formulated from Sorghum and Sprouted Soybean Flour Blends for Complementary Feeding. **World**, v. 3, n. 4, p. 48-57, 2019.

ITO, V. C.; ZIELINSKI, A. A. F.; DEMIATE, I. M.; SPOTO, M., NOGUEIRA, A.; LACERDA, L. G. Effects of gamma radiation on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds and antioxidant activity during storage of (*Oryza sativa* L.) black rice flour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, 2019.

KHANG, D.; DUNG, T.; ELZAAWELY, A.; XUAN, T. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. **Foods**, v. 5, n. 2, p. 27, 2016.

KIM, A. N., LEE, K. Y., KIM, H. J., CHUN, J., KERR, W. L., & CHOI, S. G. The Effects of Added Water and Grinding Temperature on Stability and Degradation Kinetics of Antioxidant Activity, Phenolic Compounds, and Ascorbic Acid in Ground Apples. **Journal of food science**, v. 83, n. 12, p. 3019-3026, 2018.

KIM, S. H.; YUK, H. J.; RYU, H. W.; OH, S. R.; SONG, D. Y.; LEE, K. S.; SEO, W. D. Biofunctional soyasaponin Bb in peanut (*Arachis hypogaea* L.) sprouts enhances bone morphogenetic protein-2-dependent osteogenic differentiation via activation of runt-related transcription factor 2 in C2C12 cells. **Phytotherapy Research**, v. 33, n. 5, p. 1490-1500, 2019.

KOEDUKA, T.; SUGIMOTO, K.; WATANABE, B.; SOMEYA, N.; KAWANISHI, D.; GOTOH, T.; HIRATAKE, J. Bioactivity of natural O-prenylated phenylpropenes from *Illicium anisatum* leaves and their derivatives against spider mites and fungal pathogens. **Plant Biology**, v. 16, n. 2, p. 451-456, 2014.

KRICHENE, D.; SALVADOR, M. D.; FREGAPANE, G. Stability of virgin olive oil phenolic compounds during long-term storage (18 months) at temperatures of 5–50 C. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 30, p. 6779-6786, 2015.

LABUZA, T. P.; ALTUNAKAR, B. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. **Water activity in foods: Fundamentals and applications**, v. 1, p. 109-154, 2007.

LERTKAEAO, P.; LIMMONGKON, A.; SRIKUMMOOL, M.; BOONSONG, T.; SUPANPAIBOON, W.; SURANGKUL, D. Antioxidative and neuroprotective activities of peanut sprout extracts against oxidative stress in SK-N-SH cells. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 1, p. 64-69, 2017.

LEWICKI, P. P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International journal of food science & technology**, v. 32, n. 6, p. 553-557, 1997.

LIMMONGKON, A.; JANHOM, P.; AMTHONG, A.; KAWPANUK, M.; NOPPRANG, P.; POOHADSUAN, J.; BOONSONG, T. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 332-338, 2017.

LIMMONGKON, A.; NOPPRANG, P.; CHAIKEANDEE, P.; SOMBOON, T.; WONGSHAYA, P.; PILAISANGSUREE, V. LC-MS/MS profiles and interrelationships between the anti-inflammatory activity, total phenolic content and antioxidant potential of Kalasin 2 cultivar peanut sprout crude extract. **Food chemistry**, v. 239, p. 569-578, 2018.

LIMMONGKON, A.; PANKAM, J.; SOMBOON, T.; WONGSHAYA, P.; NOPPRANG, P. Evaluation of the DNA damage protective activity of the germinated peanut (*Arachis hypogaea*) in relation to antioxidant and anti-inflammatory activity. **LWT**, v. 101, p. 259-268, 2019.

MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; FRÍAS, J.; GULEWICZ, P.; GULEWICZ, K.; VIDAL-VALVERDE, C. Food safety evaluation of broccoli and radish sprouts. **Food and chemical Toxicology**, v. 46, n. 5, p. 1635-1644, 2008.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. J.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta Medica**, v. 45, n. 5, p. 31-34, 1982.

- MORALES, F. J.; JIMÉNEZ-PÉREZ, S. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. **Food Chemistry**, v. 72, p. 119-125, 2001.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 4, p. 514-521, 2008.
- OZSEN, D.; ERGE, H. S. Degradation kinetics of bioactive compounds and change in the antioxidant activity of wild strawberry (*Fragaria vesca*) pulp during heating. **Food and bioprocess technology**, v. 6, n. 9, p. 2261-2267, 2013.
- PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. LIMA, M. S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food chemistry**, v. 228, p. 106-115, 2017.
- PAE, S. B.; HA, T. J.; LEE, M. H.; HWANG, C. D.; SHIM, K. B.; PARK, C. H.; BAEK, I. Y. Evaluation of characteristics of peanut sprout using Korean cultivars. **Korean Journal of Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 394-399, 2011.
- PÉREZ-ALONSO, C.; BERISTAIN, C. I.; LOBATO-CALLEROS, C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; VERNON-CARTER, E. J. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 753-760, 2006.
- RAO, H.; CHEN, C.; TIAN, Y.; LI, Y.; GAO, Y.; TAO, S.; XUE, W. Germination results in reduced allergenicity of peanut by degradation of allergens and resveratrol enrichment. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 50, p. 188-195, 2018.
- REKAS, A., ŚCIBISZ, I., SIGER, A., & WRONIAK, M. The effect of microwave pretreatment of seeds on the stability and degradation kinetics of phenolic compounds in rapeseed oil during long-term storage. **Food chemistry**, v. 222, p. 43-52, 2017.
- RODRIGUES, A. C.; STRÖHER, G. L.; DIAS, L. F.; SILVA, C. E.; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J. V.; SOUZA, N. E. Study of the mineral nutrient composition of three genotypes of peanuts. **Nutrition & Food Science**, v. 43, n. 1, p. 17-22, 2013.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996 - 1002, 2010.
- SEBEI, K.; GNOUMA, A.; HERCHI, W.; SAKOUHI, F.; BOUKHCHINA, S. Lipids,

proteins, phenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of seeds of peanuts (*Arachis hypogaea* L) cultivated in Tunisia. **Biological research**, v. 46, n. 3, p. 257-263, 2013.

SETIA, R.; DAI, Z.; NICKERSON, M. T.; SOPIWNYK, E.; MALCOLMSON, L.; AI, Y. Impacts of short-term germination on the chemical compositions, technological characteristics and nutritional quality of yellow pea and faba bean flours. **Food Research International**, v. 122, p. 263-272, 2019.

SHARMA, N.; GOYAL, S. K.; ALAM, T.; FATMA, S.; NIRANJAN, K. Effect of germination on the functional and moisture sorption properties of high-pressure-processed foxtail millet grain flour. **Food and bioprocess technology**, v. 11, n. 1, p. 209-222, 2018.

SIMHA, H. V.; PUSHPADASS, H. A.; FRANKLIN, M. E. E.; KUMAR, P. A.; MANIMALA, K. Soft computing modelling of moisture sorption isotherms of milk-foxtail millet powder and determination of thermodynamic properties. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 6, p. 2705-2714, 2016.

SOBOWALE, S. S.; ADEBO, O. A.; MULABA-BAFUBIANDI, A. F. Production of extrudate pasta from optimal sorghum-peanut flour blend and influence of composite flours on some quality characteristics and sorption isotherms. **Transactions of the Royal Society of South Africa**, v. 74, n. 3, p. 268-275, 2019.

VAN BOEKEL, M. A. J. S. Kinetic modeling of food quality: a critical review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 7, n. 1, p. 144-158, 2008.

WALLERSTEIN, I. S.; MERIN, U.; ROSENTHAL, I. Comparison of kernels of three Virginia-type peanut cultivars. **Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie= Food science+ technology**, v. 22, n. 4, p. 179-182, 1989.

WANG, G.; LEI, Z.; ZHONG, Q.; WU, W.; ZHANG, H.; MIN, T.; LAI, F. Enrichment of caffeic acid in peanut sprouts and evaluation of its in vitro effectiveness against oxidative stress-induced erythrocyte hemolysis. **Food chemistry**, v. 217, p. 332-341, 2017.

WANG, K. H., LAI, Y. H., CHANG, J. C., KO, T. F., SHYU, S. L., & CHIOU, R. Y. Y. Germination of peanut kernels to enhance resveratrol biosynthesis and prepare sprouts as a functional vegetable. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 2, p. 242-246, 2005.

WATERHOUSE, A. Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine. **American journal of Enology and Viticulture**, p 3-6, 2006.

WIN, M. M.; ABDUL-HAMID, A.; BAHARIN, B. S.; ANWAR, F.; SABU, M. C.; PAK-DEK, M. S. Phenolic compounds and antioxidant activity of peanut's skin, hull, raw kernel

and roasted kernel flour. **Pak. J. Bot**, v. 43, n. 3, p. 1635-1642, 2011.

WU, W. H.; LU, J. Y.; JONES, A. R.; MORTLEY, D. G.; LORETAN, P. A.; BONSI, C. K.; HILL, W. A. Proximate composition, amino acid profile, fatty acid composition, and mineral content of peanut seeds hydroponically grown at elevated CO₂ levels. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 45, n. 10, p. 3863-3866, 1997.

WU, Z.; SONG, L.; HUANG, D. Food grade fungal stress on germinating peanut seeds induced phytoalexins and enhanced polyphenolic antioxidants. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 11, p. 5993-6003, 2011.

XU, M.; JIN, Z.; SIMSEK, S.; HALL, C.; RAO, J.; CHEN, B. Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea. **Food chemistry**, v. 295, p. 579-587, 2019.

YANAGIMOTO, K.; LEE, K. G.; OCHI, H.; SHIBAMOTO, T. Antioxidative activity of heterocyclic compounds found in coffee volatiles produced by Maillard reaction. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 19, p. 5480-5484, 2002.

YANG, Q. Q.; CHENG, L.; LONG, Z. Y.; LI, H. B.; GUNARATNE, A.; GAN, R. Y.; CORKE, H. Comparison of the phenolic profiles of soaked and germinated peanut cultivars via UPLC-QTOF-MS. **Antioxidants**, v. 8, n. 2, p. 47, 2019.

YU, J.; AHMEDNA, M.; GOKTEPE, I. Effects of processing methods and extraction solvents on concentration and antioxidant activity of peanut skin phenolics. **Food chemistry**, v. 90, n. 1-2, p. 199-206, 2005.

YU, M.; LIU, H.; SHI, A.; LIU, L.; WANG, Q. Preparation of resveratrol-enriched and poor allergic protein peanut sprout from ultrasound treated peanut seeds. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 28, p. 334-340, 2016.

ZHOU, M.; CHEN, Q.; BI, J.; WANG, Y.; WU, X. Degradation kinetics of cyanidin 3-O-glucoside and cyanidin 3-O-rutinoside during hot air and vacuum drying in mulberry (*Morus alba* L.) fruit: A comparative study based on solid food system. **Food Chemistry**, v. 229, p. 574-579, 2017.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A germinação mostrou-se um processo eficaz para alterar a composição do amendoim, permitindo modular o teor de nutrientes e a síntese de compostos bioativos mediante o controle do tempo de germinação; o processo reduziu o teor de lipídios e de amido, enquanto os flavonoides e as antocianinas aumentaram e as proteínas apresentaram uma estabilidade. Açúcares totais e redutores, compostos fenólicos e taninos apresentaram valores maiores e menores que as amostras não germinadas, dependendo do tempo de germinação, que afetou de forma diferente o tipo de amostra – cotilédone ou broto – e a cultivar

O modelo de Aproximação da Difusão foi o que apresentou os melhores resultados em todas as condições avaliadas, apresentando os maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e os menores valores dos desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2); os brotos de amendoim apresentaram coeficientes de difusão efetivo na ordem de 10^{-10} m²/s, aumentando proporcionalmente com o aumento da temperatura de secagem; as propriedades termodinâmicas da secagem dos brotos de amendoim descreveram um processo não espontâneo, com valores positivos da variação de entalpia (ΔH) e da energia livre de Gibbs (ΔG) e valores negativos da variação de entropia (ΔS), com redução nos valores de entalpia e entropia com a elevação da temperatura de secagem.

A secagem dos brotos de amendoim aumentou os teores de lipídios, proteínas, ácido ascórbico e amido em relação ao material germinado; reduziu o teor de carotenoides, de fenólicos totais, e de taninos, e afetou os teores de antocianinas e flavonoides de forma diferente, conforme a cultivar; as temperaturas de secagem dos brotos de amendoim afetaram as propriedades físicas das farinhas deles obtidas, reduzindo a massa específica real e a molhabilidade e aumentando o índice de Carr, o fator de Hausner, a solubilidade, a higroscopicidade e o ângulo de repouso. As farinhas se apresentaram higroscópicas e de baixa fluidez.

As farinhas de broto de amendoim secas a 70 °C apresentaram alto teor de compostos fenólicos, inclusive resveratrol, superiores aos dos brotos antes do processo de secagem e alta atividade antioxidante, se mostraram ricas em fibras e em minerais e não apresentaram citotoxicidade. A cultivar BR1 Apresentou menores teores de compostos fenólicos e menor atividade antioxidante que as cultivares BRS Havana e L7 Vermelho.

A cinética de degradação dos compostos fenólicos totais das farinhas secas a 70 °C pode ser ajustada por modelos de ordem zero e de primeira ordem; a estabilidade dos compostos fenólicos diminui com o aumento da temperatura de armazenamento; as

cultivares BR1 e BRS havana são mais susceptíveis às reações de degradação e a degradação foi mais acentuada na faixa de temperatura de 25-35 °C.

As isotermas de sorção das farinhas do broto de amendoim de todas as cultivares farinhas secas a 70 °C são sigmoidais, do tipo II; os modelos de Peleg e GAB apresentaram melhores ajustes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEBOYE, A. S.; FAYEMI, O. E.; BAMGBOSE, A.; ADEWUNMI, A.; SOBOWALE, S. S. Towards the development of peanut–wheat flour composite dough: Influence of reduced-fat peanut flour on bread quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 1, p. e13385, 2018.
- ADHIKARI, B., DHUNGANA, S. K., ALI, M. W., ADHIKARI, A., KIM, I. D., & SHIN, D. H. Resveratrol, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant potential of seeds and sprouts of Korean peanuts. **Food science and biotechnology**, v.27, n.5, p.1275-1284, 2018.
- AGUIRRE, J.M.; GASPARINO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: [s.n.], 1999. p. 205.
- AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Peanut (*Arachis hypogaea L.*): A Prospective Legume Crop to Offer Multiple Health Benefits Under Changing Climate. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1325-1338, 2018.
- ALVES, V. F. **Cinética da degradação do ácido ascórbico em suco de laranja concentrado**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara.
- ALVES FILHO, O.; MASSARANI, G. **Secagem de produtos agrícolas: coletânea de trabalhos**. 2. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 1987. p. 502.
- ARAL, S.; BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus spp.*): effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food chemistry**, v. 210, p. 577-584, 2016.
- ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
- ARSLAN, N.; TOGRUL, H. The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, n. 2, p. 112-135, 2006.
- ARYA, S. S.; SALVE, A. R.; CHAUHAN, S. Peanuts as functional food: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 31–41, 2016.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 2009. 1115p.

AYRES, J. L.; BRANSCOMB, L. L.; ROGERS, G. M. Processing of edible peanut flour and grits. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 51, n. 4, p. 133, 1974.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; BRITO, E. S. Fundamentos de cinética de degradação e estimativa de vida de prateleira. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Editora Técnica, p. 77- 95, 2004.

BABU, A. K.; KUMARESAN, G.; RAJ, V. A. A.; VELRAJ, R. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 536-556, 2018.

BANKER, G. S.; ANDERSON, N. R. The theory and practice of industrial pharmacy 3, 1987, 293-345p.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Agroenergia: Amendoim**. Disponível em, <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fb123vn002wx5eo0sawqe3ex35v9p.html>, 2017.

BAU, H. M.; VILLAUME, C.; NICOLAS, J. P.; MÉJEAN, L. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean (*Glycine max*) seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 1, p. 1-9, 1997.

BEIGI, M. Influence of drying air parameters on mass transfer characteristics of apple slices. **Heat and Mass Transfer**, v.52, n.10, p.2213-2221, 2016.

BELGHITH, A.; AZZOUZ, S.; ELCAFSI, A. Desorption isotherms and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, n. 3, p. 407-419, 2016.

BENÍTEZ, V.; CANTERA, S.; AGUILERA, Y.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; DÍAZ, M. F.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of germination on starch, dietary fiber and physicochemical properties in non-conventional legumes. **Food Research International**, v. 50, n. 1, p. 64-69, 2013.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy** 3. ed. New York: Springer. 2014. p. 407.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, n. 1, p. 354-364, 2014.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRASIL. CBNP nº12. **Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos**. Normas Técnicas Especiais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 de Julho de 1978. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78.htm. Acesso em: 25 out. 2018.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried (*Amaranthus*) betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CRAPISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 1, p. 1501-1507, 1982.

CHANG, C. C.; LIN, K. Y.; PENG, K. Y.; DAY, Y. J.; HUNG, L. M. Resveratrol exerts anti-obesity effects in high-fat diet obese mice and displays differential dosage effects on cytotoxicity, differentiation, and lipolysis in 3T3-L1 cells. **Endocrine journal**, v. 63, n. 2, p. 169-178, 2016.

CHANG, K. C.; HARROLD, R. L. Changes in selected biochemical components, in vitro protein digestibility and amino acids in two bean cultivars during germination. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 3, p. 783-787, 1988.

CHAUHAN, A.; SAXENA, D. C.; SINGH, S. Total dietary fiber and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 939-945, 2015.

CHAVES, T. H.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; SOUZA, S. T. A.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico das sementes de pinhão-mansão. **Revista engenharia na agricultura-reveng**, v. 23, n. 1, p. 9-18, 2015.

CHIDANANDA, K. P.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D. S.; ALAGUSUNDARAM, K.; WHITE, N. D. G.; FIELDS, P. G. Respiration of pulses stored under different storage conditions. **Journal of stored products research**, v. 59, p. 42-47, 2014.

SOUZA, F. C. D.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; MARTINS, J. J. A.; MARTINS, J. N. Isotermas de dessecamento de folhas in natura de juazeiro e mororó. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 304-310, 2014.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M.; GAMA, F. J.; GOMES, J. P. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 67-74, 2014.

DARAMOLA, B.; ADEGOKE, G. O. Bitter Kola (*Garcinia kola*) seeds and health management potential. **In: Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention**. 2011. p. 213-220.

DAVIS, J. P.; PRICE, K. M.; DEAN, L. L.; SWEIGART, D. S.; COTTONARO, J. M.; SANDERS, T. H. Peanut oil stability and physical properties across a range of industrially relevant oleic acid/linoleic acid ratios. **Peanut Science**, v. 43, n. 1, p. 1-11, 2016.

DAVIS, J. P.; DEAN, L. L.; PRICE, K. M.; SANDERS, T. H. Roast effects on the hydrophilic and lipophilic antioxidant capacities of peanut flours, blanched peanut seed and peanut skins. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 539-547, 2010.

DAVIS, J. P.; GHARST, G.; SANDERS, T. H. Some rheological properties of aqueous peanut flour dispersions. **Journal of texture studies**, v. 38, n. 2, p. 253-272, 2007.

DHANUSHKODI, S.; WILSON, V. H.; SUDHAKAR, K. Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. **Resource-Efficient Technologies**, v. 3, n. 4, p. 359-364, 2017.

DOYMAZ, İ. Drying kinetics, rehydration and color characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 1, p. 25-35, 2017.

DOYMAZ, İ.; İSMAIL, O. Drying characteristics of sweet cherry. **Food and bioproducts processing**, v. 89, n. 1, p. 31-38, 2011.

DZIKI, D; GAWLIK-DZIKI, U. Processing of germinated grains. **Sprouted Grains**. AACC International Press, 2019. p. 69-90.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>>.

FELDMAN E. B. Assorted monounsaturated fatty acids promote healthy hearts. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, n. 6, p. 953–954, 1999.

FELLOWS, P. **Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas**. Zaragoza: Acribia, 1994. 549 p

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2018, 900p.

- FERREYRA, J. C.; KUSKOSKI, E. M.; LUIZ, M. B.; ARELLANO, D. B.; FETT, R. Emulsifying and foaming properties of peanut (*Arachis hypogaea L.*) flour. **Grasas Y Aceites**, v. 58, p. 264-269, 2007.
- FLORES, A. V.; BORGES, E. E. D. L.; GUIMARÃES, V. M.; ATAÍDE, G. D. M.; CASTRO, R. V. O. Germination of *Melanoxylon brauna schott* seed in different temperatures. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 1147-1154, 2014.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982.p. 181-207.
- FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 38, n. 4-6, p. 525-532, 1999.
- GADALLAH, M. G.; RIZK, I. R.; ELSHESHETAWY, H. E.; BEDEIR, S. H.; ABOUELAZM, A. M. Impact of Partial Replacement of Wheat Flour with Sorghum or Chickpea Flours on Rheological Properties of Composite Blends. **Journal of Agricultural and Veterinary Sciences**, v. 10, n. 1, p. 83-98, 2017.
- GALILI, G.; AVIN-WITTENBERG, T.; ANGELOVICI, R.; FERNIE, A. R. The role of photosynthesis and amino acid metabolism in the energy status during seed development. *Frontiers in plant science*, v. 5, p. 447, 2014.
- GAN, R. Y.; CHAN, C. L.; YANG, Q. Q.; LI, H. B.; ZHANG, D.; GE, Y. Y.; CORKE, H. Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. In: **Sprouted Grains**. AACC International Press, 2019. p. 191-246.
- GHARST, G.; CLARE, D. A.; DAVIS, J. P.; SANDERS, T. H. The effect of transglutaminase crosslinking on the rheological characteristics of heated peanut flour dispersions. **Journal of food science**, v. 72, n. 7, p. C369-C375, 2007.
- GILBERTSON, P. K.; BERTI, M. T.; JOHNSON, B. L. Borage cardinal germination temperatures and seed development. **Industrial Crops and Products**, v. 59, p. 202-209, 2014.
- GONELI, A. L. D.; ARAÚJO, W. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C. Drying kinetics of peanut kernels in thin layers. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 994-1003, 2017.
- GONELI, A. L.; CORRÊA, P. C.; DE OLIVEIRA, G. H.; RESENDE, O.; MAUAD, M. Moisture sorption isotherms of castor beans. Part 1: Mathematical modeling and hysteresis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 751-756, 2016.

GRAÇA, C. S.; BARBOSA, J. B.; SOUZA, M. Z.; MOREIRA, A. S.; LUVIELMO, M. M.; MELLADO, M. L. M. S. Addition of collagen to gluten-free bread made from rice flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, p.1-10, 2017.

GRESELE, P.; CERLETTI, C.; GUGLIELMINI, G.; PIGNATELLI, P.; DE GAETANO, G.; VIOLI, F. Effects of resveratrol and other wine polyphenols on vascular function: an update. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 22, n. 3, p. 201-211, 2011.

GULCIMEN, F.; KARAKAYA, H.; DURMUS, A. Drying of sweet basil with solar air collectors. **Renewable energy**, v. 93, p. 77-86, 2016

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. The definition and measurement of antioxidants in biological systems. **Free radical biology & medicine**, v. 18, n. 1, p. 125-126, 1995.

HAO, J.; WU, T.; LI, H.; WANG, W.; LIU, H. Dual effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the accumulation of γ -aminobutyric acid (GABA) and rutin in germinated buckwheat. **Food chemistry**, v. 201, p. 87-93, 2016.

HAUSNER, H. H. **Friction conditions in a mass of metal powder**. Polytechnic Inst. of Brooklyn. Univ. of California, Los Angeles, 1967.

HERMUND, D. B. Antioxidant Properties of Seaweed-Derived Substances. **In: Bioactive Seaweeds for Food Applications**. 2018. p. 201-221.

HORUZ, E.; BOZKURT, H.; KARATAŞ, H.; MASKAN, M. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 2, p. 425-436, 2018.

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

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - agosto 2019** (2019). Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/sao-paulo>>.

JAN, R.; SAXENA, D. C.; SINGH, S. Analyzing the effect of optimization conditions of germination on the antioxidant activity, total phenolics, and antinutritional factors of *Chenopodium* (*Chenopodium album*). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 256-264, 2017.

KARA, C.; DOYMAZ, İ. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of drying curves of apple pomace. **Heat and Mass Transfer**, v. 51, p.7, 983-989, 2015.

KHANG, D. T.; DUNG, T. N.; ELZAAWELY, A. A.; XUAN, T. D. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. **Foods**, v. 5, n. 2, p. 27, 2016.

KIM, H. J.; PARK, K. Jai.; LIM, J. H. Metabolomic analysis of phenolic compounds in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprouts treated with methyl jasmonate. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 10, p. 5707-5713, 2011.

KING, R. E.; BOMSER, J. A.; MIN, D. B. Bioactivity of resveratrol. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, n. 3, p. 65-70, 2006.

KNAUFT, D.A; OZIAS-AKINS, P. Recent methodologies for germplasm enhancement and breeding. In “**Advances in peanut science. American peanut research and education society**,” ed. by Pattee H.E. and Stalker H.T. Still water, Oklahoma, 1995, pp. 54-94.

KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, W. Taxonomia del género *Arachis* (*Leguminosae*). **Corrientes: Estudio Sigma SRL**, 1994. 186p.

KULKARNI, M. G.; AMOO, S. O.; KANDARI, L. S.; VAN STADEN, J. Seed germination and phytochemical evaluation in seedlings of *Aloe arborescens* Mill. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 148, n. 3, p. 460-466, 2014.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48-57, 2014

LAGOUGE, M.; ARGMANN, C.; GERHART-HINES, Z.; MEZIANE, H.; LERIN, C.; DAUSSIN, F.; GENY, B. Resveratrol improves mitochondrial function and protects against metabolic disease by activating SIRT1 and PGC-1alpha. **Cell**, v. 127, n. 6, p. 1109-1122, 2006.

LI, Y. C.; QIAN, H.; SUN, X. L.; CUI, Y.; WANG, H. Y.; DU, C.; XIA, X. H. The effects of germination on chemical composition of peanut seed. **Food Science and Technology Research**, v. 20, n. 4, p. 883-889, 2014.

LIMMONGKON, A.; JANHOM, P.; AMTHONG, A.; KAWPANUK, M.; NOPPRANG, P.; POOHADSUAN, J.; BOONSONG, T. Antioxidant activity, total phenolic, and resveratrol content in five cultivars of peanut sprouts. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 332-338, 2017.

LIN, J.Y.; TANG, C.Y. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. **Food Chemistry**, v.101, p.140-147, 2007.

LIU, B. The effect of yellow–brown and black soil on the germination of the peanut. **Acta Ecologica Sinica**, v. 36, n. 3, p. 200-204, 2016.

LOPES, R. M.; AGOSTINI-COSTA, T. S.; GIMENES, M. A.; SILVEIRA, D. Chemical composition and biological activities of *Arachis* Species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 4321-4330, 2011.

LOZANO-ISLA, F.; CAMPOS, M. L.; ENDRES, L.; BEZERRA-NETO, E.; POMPELLI, M. F. Effects of seed storage time and salt stress on the germination of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 118, p. 214-224, 2018.

MACHADO, E. C. F. A.; AMBROSANO, L.; LAGE, R.; ABDALLA, B. M. Z.; COSTA, A. **Nutraceuticals for Healthy Skin Aging**. In: Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging. 2017. p. 273-281.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of food engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MALEKJANI, N.; JAFARI, S. M.; RAHMATI, M. H.; ZADEH, E. E.; MIRZAEI, H. Evaluation of thin-layer drying models and artificial neural networks for describing drying kinetics of canola seed in a heat pump assisted fluidized bed dryer. **International journal of food engineering**, v. 9, n. 4, p. 375-384, 2013.

MALOMO, O. Effect of processing on component oligosaccharides of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Research and Reviews: Journal of Food and Dairy Technology**, v. 1, n. 1, p. 33-36, 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARTÍN, M. P.; NEPOTE, V.; GROSSO, N. R. Chemical, sensory, and microbiological stability of stored raw peanuts packaged in polypropylene ventilated bags and high barrier plastic bags. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 174-182, 2016.

MARTÍNEZ-MÁRQUEZ, A.; MORANTE-CARRIEL, J. A.; RAMÍREZ-ESTRADA, K.; CUSIDÓ, R. M.; PALAZON, J.; BRU-MARTÍNEZ, R. Production of highly bioactive resveratrol analogues pterostilbene and piceatannol in metabolically engineered grapevine cell cultures. **Plant biotechnology journal**, v. 14, n. 9, p. 1813-1825, 2016.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. J.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta Medica**, v. 45, n. 5, p. 31-34, 1982.

MORALES, F. J.; JIMÉNEZ-PÉREZ, S. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. **Food Chemistry**, v. 72, p. 119-125, 2001.

MOTEVALI, A.; YOUNJI, S.; CHAYJAN, R. A.; AGHILINATEGH, N.; BANAKAR, A. Drying kinetics of dill leaves in a convective dryer. **International Agrophysics**, v. 27, n. 1, p. 39, 2013.

NEMZER, B.; LIN, Y.; HUANG, D. **Antioxidants in sprouts of grains**. Sprouted Grains. AACC International Press, 2019. p. 55-68.

NEPOTE, V., GROSSO, N. & GUZMAN, C. Radical scavenging activity of extracts of argentine peanut skins (*Arachis hypogaea*) in relation to its trans-resveratrol content. **Journal of the Argentine Chemical Society**, 92, 41–49, 2004.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination – still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574-581, 2010.

NUTAKUL, W.; SOBERS, H. S.; QIU, P.; DONG, P.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D. J.; XIAO, H. Inhibitory effects of resveratrol and pterostilbene on human colon cancer cells: a side-by-side comparison. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 20, p. 10964-10970, 2011.

OGHBAEI, M.; PRAKASH, J. Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 1136015, 2016.

ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. Modeling the thin layer drying of fruits and vegetables: A review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v.15, n.3, p.599-618, 2016.

OTTO, D.; MEIER, M. S.; SCHLATTER, J.; FRISCHKNECHT, P. Selected Phenolic Compounds in Cultivated Plants: Ecologic Functions, Health Implications, and Modulation by Pesticides. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, p. 109-114, 1999.

PETROVSKI, G.; GURUSAMY, N.; DAS, D. K. Resveratrol in cardiovascular health and disease. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1215, n. 1, p. 22-33, 2011.

PETRY, V. J.; WEBER, P. E. Modelagem Matemática dos Processos de Transferência de Calor e Massa na secagem intermitente de Grãos de Soja. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 3, n. 1, 2015.

POLITI, F. A. SA. **Estudos farmacognósticos e avaliação de atividades biológicas de extratos obtidos das cascas pulverizadas de *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. (Humiriaceae)**. 2009. Tese de Doutorado. MS Thesis, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, Brazil.

PRINYAWIWATKUL, W.; BEUCHAT, L. R.; PHILLIPS, R. D.; RESURRECCION, A. V. Modelling the effects of peanut flour, feed moisture content, and extrusion temperature

on physical properties of an extruded snack product. **International journal of food science & technology**, v. 30, n. 1, p. 37-44, 1995.

QINZHU, Z.; YAN-LING, C.; DONG-XIAO, S.; TIAN, B.; YANG, Y.; SHAN, H. Process optimization and anti-oxidative activity of peanut meal Maillard reaction products. **LWT**, v. 97, p. 573-580, 2018.

RAJJOU, L.; DUVAL, M.; GALLARDO, K.; CATUSSE, J.; BALLY, J.; JOB, C.; JOB, D. Seed germination and vigor. **Annual review of plant biology**, v. 63, p. 507-533, 2012.

RANILLA, L. G.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Polyphenols and antioxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and peruvian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 1, p. 90-98, 2007.

Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Diretrizes para a análise de dados estatísticos e de dados de saúde processados em Brasília**, DF (1999).

BATE-SMITH, E. C. **Les Composées phenoliques des Vegetaux: P. Ribereau-Gayon, Dunod, Paris**, 1968. 254 pp., 56 Fr. 1968.

RISULEO, G. Resveratrol: Multiple Activities on the Biological Functionality of the Cell. **Nutraceuticals**. 2016. p. 453-464.

ROZAN, P.; KUO, Y. H.; LAMBEIN, F. Free amino acids present in commercially available seedlings sold for human consumption. A potential hazard for consumers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 3, p. 716-723, 2000.

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

PRITCHARD, S. L.; CHARLTON, W. L.; BAKER, A.; GRAHAM, I. A. Germination and storage reserve mobilization are regulated independently in Arabidopsis. **The Plant Journal**, v. 31, n. 5, p. 639-647, 2002.

SAAVEDRA, J.; CÓRDOVA, A.; NAVARRO, R.; DÍAZ-CALDERÓN, P.; FUENTEALBA, C.; ASTUDILLO-CASTRO, C.; GALVEZ, L. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 198, p. 81-90, 2017.

SADHU, S.; THIRUMDAS, R.; DESHMUKH, R. R.; ANNAPURE, U. S. Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*). **LWT-food Science and Technology**, v. 78, p. 97-104, 2017.

SAHDEV, R. K.; KUMAR, M.; DHINGRA, A. K. Development of empirical expression for thin layer groundnut drying under open sun and forced convection modes. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 19, n. 4, p. 152-158, 2018.

SAHIN, M.; DOYMAZ, İ. Estimation of cauliflower mass transfer parameters during convective drying. **Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 2, p. 507-517, 2017.

SALES, J.M.; RESURRECCION, A.V. Resveratrol in peanuts. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 54, 734–770, 2014.

SALGADO, J. **Alimentos funcionais**. Oficina de Textos, 2016.

HIZAJI, A. S.; MAGHSOUDLOU, Y.; JAFARI, S. M. Application of peleg model to study effect of water temperature and storage time on rehydration kinetics of air-dried potato cubes. **Latin American applied research**, v. 40, n. 2, p. 131-136, 2010.

SAMPAIO, R. M.; NETO, J. P. M.; PEREZ, V. H.; MARCOS, S. K.; BOIZAN, M. A.; DA SILVA, L. R. Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (*Diospyros kaki* cultivar FuYU). **Journal of food processing and preservation**, v. 41, n. 1, p. e12789, 2017.

SANGRONIS, E.; MACHADO, C. J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 116-120, 2007.

SHAHIDI, F. Antioxidants: Principles and applications. In: **Handbook of antioxidants for food preservation**. 2015. p. 1-14.

SHIN, E. C.; HUANG, Y. Z.; PEGG, R. B.; PHILLIPS, R. D.; EITENMILLER, R. R. Commercial runner peanut cultivars in the united states: Tocopherol composition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 21, p. 10289–10295, 2009.

SIBT-E-ABBAS, M.; BUTT, M. S.; SULTAN, M. T.; SHARIF, M. K.; AHMAD, A. N.; BATOOL, R. Nutritional and functional properties of protein isolates extracted from defatted peanut flour. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 4, p. 1533, 2015.

SILVA, R. N.; FIGUEIRÊDO, R. D.; QUEIROZ, A. D. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 30, p. 33-36, 2015

SILVA, T. R. G.; CORTELAZZO, A. L.; DIETRICH, S. M. C. Variation in storage compounds during germination and early plantlet growth of *Dalbergia miscolobium*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 10, n. 2, p. 119-124, 1998.

SIQUEIRA, V. C.; SILVA, F. P.; QUEQUETO, W. D.; JORDAN, R. A.; LEITE, R. A.; MABASSO, G. A. Desorption isotherms and isosteric heat of niger grains (*Guizotia abyssinica* (L. f.) Cass.). **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 12, n. 2, p. 124-133, 2018.

SURIYA, M.; BARANWAL, G.; BASHIR, M.; REDDY, C. K.; HARIPRIYA, S Influence of blanching and drying methods on molecular structure and functional properties of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) flour. **LWT-Food Science and Technology**, v. 68, p. 235-243, 2016.

TAHERI-GARAVAND, A; MEDA, V; NADERLOO, L. Artificial neural Network–Genetic algorithm modeling for moisture content prediction of savory leaves drying process in different drying conditions. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 11, n. 4, p. 232-238, 2018.

TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O; NOGUEIRA, G. A. **A cultura do amendoim**. Jaboticabal: UNESP, 2004. 220 p.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P. Time-temperature indicators. **Food Technology**, Oxford, v. 45, n. 10, p.70-82, 1996.

TELLONE, Ester et al. Resveratrol. In: Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements. **Academic Press**, 2019. p. 107-110.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.

TORKI-HARCHEGANI, M.; GHASEMI-VARNAMKHASTI, M.; GHANBARIAN, D.; SADEGHI, M.; TOHIDI, M. Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. **Heat and Mass Transfer**, v.52, n.2, p.281-289, 2016.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Research Service. **Food Data Central Search Results**. 2019b.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Research Service. **National nutrient database for standard reference release full report (all nutrients)**. 2019c.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Research Service. **World Agricultural Production**. 2019a.

WANG, L. M.; WANG, Y. J.; CUI, M.; LUO, W. J.; WANG, X. J.; BARBER, P. A.; CHEN, Z. Y. A dietary polyphenol resveratrol acts to provide neuroprotection in recurrent stroke

models by regulating AMPK and SIRT 1 signaling, thereby reducing energy requirements during ischemia. **European Journal of Neuroscience**, v. 37, n. 10, p. 1669-1681, 2013.

WANG, K. H.; LAI, Y. H.; CHANG, J. C.; KO, T. F.; SHYU, S. L.; CHIOU, R. Y. Y. Germination of peanut kernels to enhance resveratrol biosynthesis and prepare sprouts as a functional vegetable. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.53, n.2, p.242-246, 2005.

WANG, Q. (Ed.). **Peanuts: Processing Technology and Product Development**. Academic Press, 2016.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

WITHAKER, S. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media. A theory of drying porous media. **Adv. Heat Transfer**, v. 13, p. 119-200, 1977.

YOGENDRARAJAH, P.; SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHERE, F.; SAEGER, S.; MEULENAER, B. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (*Piper nigrum* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 177-188, 2015.

YU, M.; LIU, H.; YANG, Y.; SHI, A.; LIU, L.; HUI, H.; WANG, Q. Optimisation for resveratrol accumulation during peanut germination with phenylalanine feeding & ultrasound-treatment using response surface methodology. **International journal of food science & technology**, v. 51, n. 4, p. 938-945, 2016.

ZHAO, G.; LIU, Y.; ZHAO, M.; REN, J.; YANG, B. Enzymatic hydrolysis and their effects on conformational and functional properties of peanut protein isolate. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1438-1443, 2011.

ZUCARELI, V.; HENRIQUE, L. A. V.; ONO, E. O. Influence of light and temperature on the germination of *Passiflora incarnata* L. seeds. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 2, p. 162-167, 2015.