

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANDRIELI ZANON RONSONI**

**COMPOSTOS BIOATIVOS EM DIFERENTES VARIEDADES DE MILHO PIPOCA  
PRÉ E PÓS PROCESSAMENTO**

**FRANCISCO BELTRÃO  
2023**

**ANDRIELI ZANON RONSONI**

**COMPOSTOS BIOATIVOS EM DIFERENTES VARIEDADES DE MILHO PIPOCA  
PRÉ E PÓS PROCESSAMENTO**

**Bioactive compounds in different varieties of popcorn pre and post processing**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Ellen Porto Pinto.

Coorientadora: Dra. Ellen Cristina Perin.

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANDRIELI ZANON RONSONI**

**COMPOSTOS BIOATIVOS EM DIFERENTES VARIEDADES DE MILHO PIPOCA  
PRÉ E PÓS PROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Alimentos da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 22/junho/2023

---

Ellen Porto Pinto

Doutorado

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2701056807446493>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ellen Cristina Perin

Doutorado

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4989640810465475>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ronan Carlos Colombo

Doutorado

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9154441878703076>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Luciano Lucchetta

Doutorado

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3307326587113225>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**FRANCISCO BELTRÃO  
2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Também quero expressar minha gratidão à minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Ellen Porto Pinto e coorientadora Dra. Ellen Cristina Perin, pela paciência e por compartilharem seus conhecimentos e experiências.

Em especial, gostaria de agradecer à minha família pelo amor incondicional e pelo apoio constante ao longo dessa jornada acadêmica.

Gostaria de agradecer a todos os professores e colegas que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho, por compartilharem conhecimentos, ideias e experiências ao longo desses anos. Suas discussões e ideias enriqueceram minha pesquisa e me ajudaram a expandir meu conhecimento.

Por fim, agradeço a todas as instituições, em especial a UTFPR – Campus Pato Branco, professores e colaboradores que forneceram recursos, materiais e dados para a realização deste trabalho. Sem o apoio de vocês, essa pesquisa não seria possível.

Sou imensamente grata a todos.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Milho pipoca com diferentes cores de pericarpo  | 16 |
| Figura 2 - Milho pipoca com pericarpo branco, amarelo, vermelho e preto  | 22 |
| Figura 3 - Pipoqueira Britânia Pop Time  | 23 |
| Figura 4 - Fritadeira elétrica ( <i>airfryer</i> ) Mondial Grand Family  | 23 |
| Figura 5 – Micro-ondas   | 24 |
| Figura 6 – Equipamentos (a) Bacia de vidro, (b) Pipoqueira de silicone e (c) Pacote de papel, utilizados nos processamentos com micro-onda | 24 |
| Figura 6 – Panela  | 25 |
| Figura 7 - Correlação de Pearson para análises antioxidantes em diferentes variedades de pipocas   | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultados dos parâmetros físicos dos métodos de expansão para cada variedade | 31 |
| Tabela 2 - Potencial antioxidante pelo método DPPH                                       | 35 |
| Tabela 3 - Potencial antioxidante pelo método FRAP                                       | 37 |
| Tabela 4 - Potencial antioxidante pelo método ABTS                                       | 38 |
| Tabela 5 – Estimativa do teor de Compostos fenólicos totais                              | 40 |
| Tabela 6 – Estimativa do teor de flavonoides totais                                      | 42 |

## RESUMO

Alimentos que contenham compostos bioativos com potencial antioxidante são altamente procurados nos dias atuais, devido aos seus benefícios à saúde. O milho pipoca é um alimento muito presente no dia a dia da população, porém visto de forma negativa em dietas, por ser considerado calórico e com poucos nutrientes. Compostos com potencial antioxidante estão presentes nas diferentes variedades de milho pipoca pigmentados. A quantidade de compostos é determinada principalmente pela cor do pericarpo do milho pipoca, diferentes cores podem fornecer quantidades específicas de determinado composto, como carotenoides e antocianinas. O processamento dos grãos pode resultar em degradação dos compostos, portanto, existe a necessidade de avaliar como esses compostos reagem as diferentes formas de processamento, entre elas, micro-ondas (recipiente de vidro, pacote de papel e pipoqueira de silicone), panela com óleo, *airfryer* e pipoqueira elétrica. Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados grãos de pipoca com pericarpo amarelo, branco, vermelho e preto. A obtenção do milho pipoca expandido foi testado e padronizado tempo, quantidade e temperatura para cada processamento. Para determinar o tempo final de expansão, foi levado em consideração um intervalo de 5 segundos entre a expansão de um grão e outro. A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos ABTS, FRAP e DPPH. Foram avaliados compostos fenólicos totais e flavonoides totais do milho pipoca antes e após o processamento. Nos grãos *in natura*, a variedade preta foi a que apresentou os maiores teores de compostos antioxidantes e a variedade branca, os menores. Pós processamento houve perda da atividade antioxidante em todas as variedades analisadas. Entre as variedades, a pipoca com pericarpo preto resultou nos maiores teores de antioxidantes encontrados na maioria dos métodos de processamento. A variedade branca apresentou os menores valores para a maioria dos processamentos. A panela com óleo foi a forma de expansão onde obteve-se pipocas com maior teor de compostos bioativos e atividade antioxidante, pequeno número de piruás e bom volume de expansão. A *airfryer* foi o equipamento que mais degradou os compostos bioativos, produziu maior número de piruás e menor volume de expansão.

**Palavras-chave:** pipoca; antioxidante; compostos bioativos; processamento.

## ABSTRACT

Foods that contain bioactive compounds with antioxidant potential are highly sought after today due to their health benefits. Popcorn corn is a food that is very present in the daily lives of the population, but seen negatively in diets, as it is considered caloric and low in nutrients. Compounds with antioxidant potential are present in different varieties of pigmented popcorn. The amount of compounds is mainly determined by the color of the popcorn pericarp, different colors can provide specific amounts of a certain compound, such as carotenoids and anthocyanins. The processing of grains can result in the degradation of compounds, therefore, there is a need to evaluate how these compounds react to different forms of processing, including microwaves, oil pans, airfryers and electric popcorn makers. For the development of this work, popcorn grains with yellow, white, red and black pericarp were used. Obtaining expanded popcorn was tested and standardized time, quantity and temperature for each processing. To determine the final expansion time, an interval of 5 seconds between the expansion of one grain and another was taken into account. Antioxidant activity was determined by ABTS, FRAP and DPPH methods. Total phenolic compounds and total flavonoids of popcorn were evaluated before and after processing. In fresh grains, the black variety had the highest levels of antioxidant compounds and the white variety, the lowest. After processing, there was a loss of antioxidant activity in all the analyzed varieties. Among the varieties, popcorn with black pericarp resulted in the highest levels of antioxidants found in most processing methods. The white variety showed the lowest values for most processing. The pan with oil was the form of expansion where popcorn with a higher content of bioactive compounds and antioxidant activity, small number of pirus and good expansion volume was obtained. The airfryer was the equipment that most degraded the bioactive compounds, produced the highest number of pirus and the lowest volume of expansion.

**Keywords:** popcorn; antioxidant; bioactive compounds; processing.



## SUMÁRIO

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>11</b> |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS</b>  | <b>13</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Objetivo geral</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Objetivos específicos</b>  | <b>13</b> |
| <b>3</b>   | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>  | <b>14</b> |
| <b>3.1</b> | <b>O milho</b>  | <b>14</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Milho pipoca</b>   | <b>14</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Variedades de milho pipoca</b>   | <b>15</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Composição do grão de milho pipoca</b>   | <b>17</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Compostos bioativos e atividade antioxidante</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>3.6</b> | <b>Compostos fenólicos</b>  | <b>19</b> |
| 3.6.1      | Flavonoides   | 19        |
| 3.6.2      | Ácidos fenólicos  | 19        |
| <b>3.7</b> | <b>Processamento de pipoca</b>  | <b>20</b> |
| <b>4</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b>   | <b>22</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Materiais</b>  | <b>22</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Padronização dos métodos de expansão</b>   | <b>27</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Compostos com potencial antioxidante</b>   | <b>27</b> |
| 4.3.1      | Obtenção do extrato   | 27        |
| 4.3.2      | Método de sequestro do radical livre DPPH   | 28        |
| 4.3.3      | Método FRAP   | 28        |
| 4.3.4      | Método de captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) ABTS | 29        |
| <b>4.4</b> | <b>Compostos Fenólicos Totais</b>   | <b>29</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Determinação de Flavonoides</b>  | <b>29</b> |
| <b>4.6</b> | <b>Análises estatísticas</b>  | <b>30</b> |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>   | <b>31</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Expansão dos grãos de milho pipoca</b>   | <b>31</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Compostos bioativos</b>  | <b>34</b> |
| 5.2.1      | Método DPPH   | 35        |

|            |                                  |           |
|------------|----------------------------------|-----------|
| 5.2.2      | Método FRAP                      | 36        |
| 5.2.3      | Método ABTS                      | 38        |
| 5.2.4      | Compostos fenólicos totais (CFT) | 40        |
| 5.2.5      | Flavonoides totais (FT)          | 41        |
| <b>5.3</b> | <b>Correlação de Pearson</b>     | <b>44</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>      | <b>45</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b>               | <b>47</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos os hábitos de consumo de alimentos pela população, que são um indicador de qualidade de vida, vêm sendo transformados, com um grande aumento da ingestão de alimentos ultra processados, os quais vêm sendo associados a uma má qualidade de vida e malefícios à saúde. Para Louzada (2015), os alimentos ultra processados causam impactos negativos para saúde, aumentando o valor energético da dieta, a quantidade de açúcares, de gordura saturada e gordura *trans*, além de diminuir a quantidade de fibras e de potássio. Monteiro *et al.* (2019) avaliaram estudos de base populacional, onde demonstraram que alimentos ultra processados possuem alta densidade energética, alto teor de açúcares, gorduras prejudiciais e sal, além de baixo teor de fibras dietéticas, proteínas, vitaminas e minerais.

Muito se tem discutido sobre o real efeito desses alimentos a longo prazo para saúde, gerando uma conscientização e busca da população, por alimentos naturais, com propriedades potencialmente funcionais e sabor agradável (LOUZADA, 2015; CAIVANO *et al.* 2017; BESERRA *et al.* 2020).

Esse é o caso do milho pipoca, apreciado por grande parte da população mundial, porém visto negativamente em dietas, por ser considerado calórico e escasso em nutrientes.

No entanto, contrariamente, a pipoca pode ser uma importante fonte alimentícia, em função de conter carboidratos, proteínas, ferro, fibras e compostos bioativos, como antocianinas, carotenoides, ácidos fenólicos e flavonoides, compostos estes majoritariamente com potencial antioxidante (CALLEGARO, 2005).

O milho pipoca pertence à espécie *Zea mays L.* e não possui uma origem definida, mas acredita-se que os índios norte-americanos já comiam pipoca muito antes da chegada de Cristóvão Colombo a este continente (MIRANDA *et al.* 2011).

A capacidade de expansão do milho pipoca é o principal parâmetro para avaliação de sua qualidade, apresentando relação direta com a maciez, sendo medida pela relação entre volume e massa (FILHO, 2016).

A expansão dos grãos ocorre durante o processamento, etapa na qual os grãos de pipoca são submetidos a elevadas temperaturas, possibilitando a perda de compostos termossensíveis e vitaminas presentes (BARBOSA; LOPES; PAES, 2016). Bioquimicamente, quando o grão é aquecido, a umidade em seu interior vai se

transformando em vapor, que, contido pelo pericarpo, aumenta a pressão no interior do grão (RUFFATO *et al.*, 2000).

Existem algumas formas de processamento da pipoca, entre elas, a pipoqueira de ar quente, fritadeira elétrica (*airfryer*), micro-ondas e panela com óleo. As três primeiras formas utilizam apenas ar quente para estourar o grão, através da umidade interna do mesmo. Já a panela com óleo é muito utilizada e eficaz, onde o óleo adicionado aumenta a transferência de calor, criando um gradiente de temperatura no alimento (BERK, 2009).

Alguns estudos têm mostrado que o processamento, por vezes, degrada compostos de interesse funcional, como os compostos bioativos que possuem atividade antioxidante, com inúmeros benefícios para a saúde. Entre os benefícios desses compostos destacam-se o auxílio na prevenção de doenças crônicas, danos celulares, envelhecimento e diabetes (XIA *et al.*, 2006). Paraginski *et al.* (2016) avaliaram a perda de atividade antioxidante no processamento de pipocas de diferentes cores de pericarpo, concluindo que pipocas expandidas sem a presença de óleo sofrem maior perda de compostos.

Existem estudos relacionados à composição e capacidade de expansão da pipoca, assim como sua capacidade calórica, porém, foram realizadas poucas pesquisas relacionadas à perda de compostos bioativos após o processamento em diferentes variedades de milho pipoca. Entre os trabalhos realizados, pode-se citar, Paraginski (2014) que avaliou os efeitos da cor do pericarpo e do processo de expansão sobre os parâmetros de avaliação sensorial e nutricional de grãos de pipoca e Barbosa; Lopes e Paes (2016) que avaliaram se existe perda de compostos bioativos após o processamento de milho pipoca de coloração preta e amarela.

Portanto, faz-se necessário a avaliação do efeito de diferentes processamentos, nos compostos bioativos e atividade antioxidante, em diferentes variedades de pipoca, a fim de compreender melhor o comportamento desses compostos frente aos diferentes processos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes técnicas de processamento sobre os compostos bioativos presentes no milho pipoca de distintas variedades.

### 2.2 Objetivos específicos

- Estimar os compostos bioativos e atividade antioxidante presentes em cada variedade de milho pipoca pré-processamento;
- Submeter as pipocas ao processo de cocção em pipoqueira de ar quente, fritadeira elétrica (*airfryer*), micro-ondas e panela com óleo;
- Avaliar os compostos bioativos e atividade antioxidante das pipocas após o processamento.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma espécie que pertence à família Poaceae, sendo que a espiga de milho mais antiga que se tem conhecimento foi descoberta em 6000 a.C. no vale do Tehuacán no México (PARAGINSKI, 2014).

Segundo Paraginski (2014), a origem do milho é até hoje muito discutida, porém, existem duas hipóteses para a sua possível origem. A primeira hipótese menciona que o milho se originou da seleção realizada pelo homem a partir do melhoramento de teosinto, uma planta da família Poaceae, com ciclo anual, originária do México e da Guatemala. A segunda hipótese defende que o milho e o teosinto diferenciaram-se de um mesmo ancestral, originando duas plantas com estruturas diferentes das encontradas atualmente. Porém, apesar dessas duas hipóteses sobre a origem do milho, há alguns milhares de anos o milho foi domesticado pelos indígenas americanos e foram realizados processos contínuos de melhoramento, originando as variedades e cultivares encontradas nos dias atuais.

O milho é cultivado em muitas partes do Mundo, entre eles, Estados Unidos da América, República Popular da China, Índia, Brasil, França, Indonésia e África do Sul, devido a sua grande adaptabilidade. É encontrado em climas tropicais, subtropicais e temperados e representado por variados genótipos, permitindo o seu cultivo desde o Equador até ao limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros (BARROS; CALADO, 2014).

Os cinco grupos de milho conhecidos são: pipoca, duro, dentado, farináceo e doce, que já existiam na América quando chegaram os colonizadores europeus. Estes grupos de milho apresentam importante função na alimentação, tanto animal quanto humana. Além disso, possui função indispensável no processo de rotação de culturas no plantio direto, fornecendo uma maior quantidade de palha e matéria orgânica para o sistema (PARAGINSKI, 2014; BARROS; CALADO, 2014)

#### 3.2 Milho pipoca

Segundo a Embrapa, o milho pipoca caracteriza-se por apresentar grãos duros e pequenos, composto de pericarpo, endosperma e embrião. Estoura em

condições de pressão de 135 psi e temperatura de 177 °C, expandindo, aproximadamente, 40 vezes seu volume inicial.

A produção de milho pipoca no Brasil se concentra nas regiões onde estão as grandes empresas empacotadoras desse grão, entre elas Nova Prata (RS) e Campos Novos do Parecis (MT) (PARAGINSKI, 2014). Além disso, outras regiões apresentam expressiva produção de milho pipoca, como Itumbiara (GO); Primavera do Leste (MT) e Itapetininga (SP) (SAWAZAKI, 2010).

Em 2020, o Brasil produziu cerca de 225 mil toneladas de milho pipoca, ocupando o terceiro lugar no *ranking* global, atrás dos EUA, com uma produção em torno de 560 mil toneladas e da Argentina, com produção em torno de 240 mil toneladas produzidas (BERTOLUCCI, 2022).

Segundo pesquisa publicada no portal SEGS (Portal Nacional de Seguros, Saúde, Veículos, Informática, Info, Ti, Educação, Eventos, Agronegócio, Economia, Turismo, Viagens, Vagas, Agro e Entretenimento) no ano de 2019, o Brasil é o segundo maior consumidor de pipocas do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos, com um consumo de aproximadamente 260 mil toneladas de pipoca, em 2018. Além disso, a expectativa é de que em 2024, o consumo dos brasileiros chegue a 385 mil toneladas (SEGS, 2019).

Segundo Paraginski (2014), o índice de capacidade de expansão (ICE) é o principal parâmetro para avaliar a qualidade do grão de milho pipoca, e está relacionado com a maciez e com o número de piruá (grão que não estoura). O ICE é medido pela relação entre o volume da flor de pipoca obtido com determinado volume de grãos utilizado, com unidade de mL g<sup>-1</sup>, sendo fundamental o controle de umidade e de danos mecânicos, para realizar tal medição.

Para amostras com umidade inferior a 13% é necessário realizar uma reidratação dos grãos, em câmara com umidade em torno de 70%, até atingir a umidade entre 13 a 14%, além disso, os grãos devem ser preparados, passando por peneiras de 12 a 13, sendo eliminados os grãos miúdos e avariados por fungos e pragas (SAWAZAKI, 2010).

### **3.3 Variedades de milho pipoca**

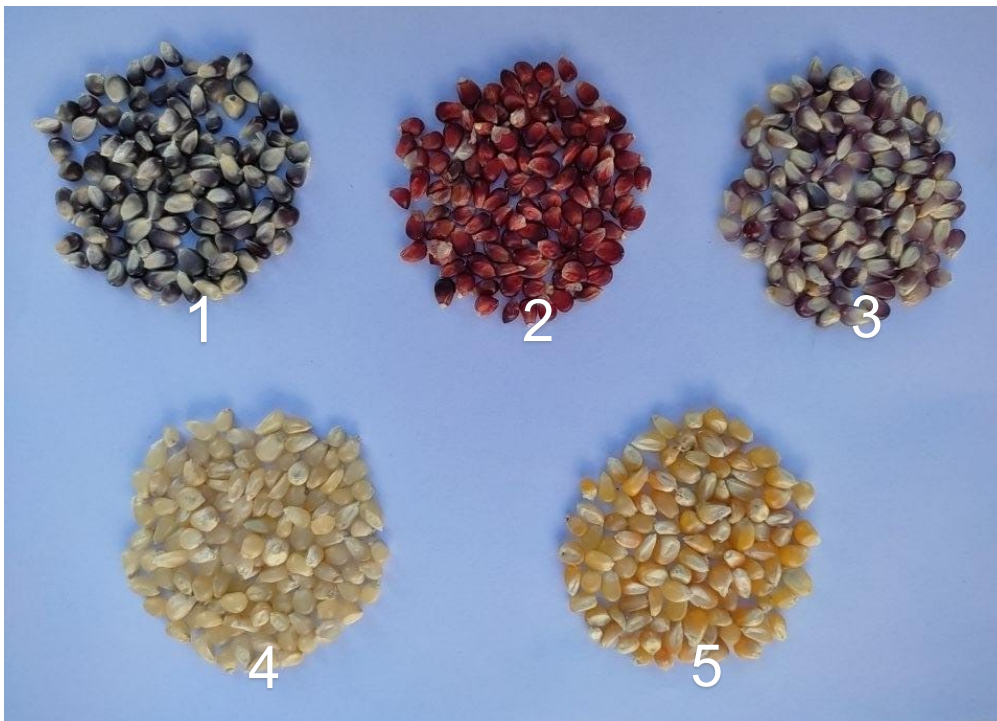
Os grãos de milho pipoca apresentam grande diversidade em relação aos formatos, tamanhos e colorações. Podem apresentar grãos redondos, chatos ou

pontiagudos e as colorações encontradas vão desde amarela, alaranjada, rosa, creme, vermelha, roxa, preta até azul (ROJAS, 2017). Essa grande diversidade apresenta como consequência um valor nutricional diferente.

Os grãos de milho pipoca com maior aceitação comercial são os redondos, tipo pérola, e com o endosperma alaranjado. Para consumo doméstico os grãos geralmente são pequenos (76 a 105 grãos em 100 gramas) e amarelos, e a pipoca é do tipo borboleta, considerada a mais macia (PARAGINSKI, 2014).

O grão amarelo é o mais comum encontrado e os grãos coloridos, como vermelho, roxo, azul e preto são produzidos apenas em pequenas quantidades, possuindo muitos metabólitos especializados, como compostos fenólicos e carotenoides (ŽILIC *et al.* 2012).

**Figura 1 - Milho pipoca com diferentes cores de pericarpo**



Milho pipoca com pericarpo preto (1); vermelho (2), roxo (3); branco (4) e amarelo (5).

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A grande variedade de genótipos de milho pipoca encontrada se deve ao melhoramento genético que é realizado por meio da criação de híbridos com características que sejam de interesse agrônomo e da indústria. No Brasil o melhoramento genético de milho pipoca iniciou-se em 1932, no Instituto Agrônomo



de Campinas (IAC), e em 1941 ocorreu o lançamento da primeira variedade nacional, o *South American Mushroom* (SAM) (COUTO *et al.* 2010).

O *South American Mushroom* é o milho de pipoca amarelo, derivado da *South American*, que foi introduzida nos Estados Unidos na década de 1920. O *Mushroom* é muito utilizado em programas de melhoramento genético para obtenção de linhagens híbridas (SAWAZAKI, 2000).

Žilić *et al.* (2012) em seu trabalho, citam algumas variedades de milho pipoca pigmentados analisadas, entre elas estão o milho branco, amarelo limão, amarelo, laranja, vermelho amarelado, vermelho, vermelho escuro, azul claro, azul escuro e multicolorido.

As análises realizadas por estes autores foram em grãos integrais sem processamento e os resultados encontrados demonstraram que diferentes colorações apresentam diferentes teores de antocianinas, carotenoides e flavonoides.

De acordo com o autor, compostos carotenoides foram encontrados em todas as colorações de grãos, variando em quantidade. Os maiores teores de carotenoides foram encontrados nos grãos de pericarpo amarelo, laranja, vermelho amarelado e vermelho, o que está de acordo com o esperado, visto que os carotenoides formam um grupo de pigmentos naturais com aproximadamente 700 representantes, os quais apresentam coloração amarela, laranja ou vermelha (MESQUITA *et al.* 2017).

Flavonoides foram encontrados em todas as colorações de grãos analisados, porém os maiores valores foram encontrados nas colorações azul claro e azul escuro.

As antocianinas foram encontradas em apenas algumas colorações, entre elas, as colorações vermelho amarelado e vermelho apresentaram uma pequena quantidade, grãos azul claro e multicoloridos apresentaram uma quantidade intermediária e os grãos de coloração mais escura, como vermelho escuro e azul escuro apresentaram uma maior quantidade deste composto (ŽILIC *et al.* 2012).

### **3.4 Composição do grão de milho pipoca**

De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), 100 gramas do grão de milho pipoca cru apresentam 355 kcal de energia; 8,78 g de umidade; 76,4 g de carboidratos totais; 10,0 g de proteínas; 3,47 g de lipídios; 11,2 g de fibra alimentar; 1,34 g de cinzas; 7,09 g de cálcio e 132 mg de magnésio.

A composição do milho pipoca processado com a adição de óleo e sem sal difere da composição do grão cru, com 436 kcal de energia; 2,82 g de umidade; 70,3 g de carboidratos totais; 9,93 g de proteínas; 15,9 g de lipídios; 14,3 g de fibra alimentar; 1,0 g de cinzas; 1,83 g de cálcio e 90,8 mg de magnésio (TBCA, 2022).

Além da composição já citada, o grão de milho pipoca apresenta propriedades potencialmente funcionais, caracterizadas pela presença de compostos bioativos, importantes componentes no auxílio à saúde. Žilić *et al.* (2012) correlacionaram a cor dos grãos sem processamento com a presença destes compostos, e verificaram que os níveis de antocianinas, flavonoides e ácidos fenólicos são variáveis de acordo com as cores dos grãos.

### **3.5 Compostos bioativos e atividade antioxidante**

Os compostos bioativos podem ser de origem animal ou vegetal e são definidos como nutrientes ou não nutrientes com ação metabólica ou fisiológica específica, com sua ingestão em quantidades suficientes, gerando benefícios à saúde (BRASIL, 2018).

Estas substâncias podem agir como antioxidantes, ativando enzimas, bloqueando a atividade de toxinas virais ou antibacterianas, inibindo a absorção de colesterol, diminuindo a agregação plaquetária ou destruindo bactérias gastrointestinais nocivas (QUEIROZ, 2012).

Dentre os compostos bioativos com alegadas propriedades funcionais estão os carboidratos não digeríveis (fibras solúvel e insolúvel), antioxidantes (como polifenóis, carotenoides, tocoferóis, tocotrienóis, fitoesteróis, isoflavonas, compostos organossulfurados), esteróides vegetais e fitoestrógenos (CHAVES, 2015).

Os antioxidantes são formados por vitaminas, minerais, pigmentos naturais e outros compostos vegetais e enzimas e estão presentes de forma natural, sendo extraídos de plantas, ou sintética, sendo adicionados aos alimentos (PEREIRA; CARDOSO, 2012).

Possuem a função de retardar o aparecimento dos fenômenos de oxidação, mantendo intactas características sensoriais, bloqueando o efeito danoso dos radicais livres, formados nas reações metabólicas (ANDREO; JORGE, 2006).

Alguns alimentos pigmentados, entre eles, vermelhos, laranjas, amarelos, roxos e azulados, de origem vegetal são considerados precursores da vitamina A, por

apresentarem compostos retinóicos essenciais e atividade anticarcinogênica, auxiliando na manutenção da saúde, com a inibição dos cânceres de cólon, esôfago, pulmão, fígado e mama (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009).

No presente trabalho, serão estudados os compostos antioxidantes de diferentes variedades de milho pipoca, entre eles, ácidos fenólicos e flavonoides.

### **3.6 Compostos fenólicos**

#### **3.6.1 Flavonoides**

Os flavonoides são o grupo mais numeroso de compostos fenólicos, encontrados em todo o reino vegetal e presentes principalmente na epiderme das folhas e na casca das frutas (HIDALGO *et al.* 2010).

Possuem em sua estrutura 15 carbonos, com dois anéis aromáticos ligados por uma ponte de três carbonos, C6–C3–C6. As principais subclasses de flavonoides dietéticos são os flavonóis, flavonas, flavan-3-ols, antocianidinas, flavanonas e isoflavonas (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009).

Possuem efeitos benéficos à saúde, entre eles destacam-se, atividade antioxidante, anti-inflamatória e antitumoral, poder de redução a fragilidade e permeabilidade capilares; inibição da destruição do colágeno e da agregação plaquetária (PEREIRA; CARDOSO, 2012).

Assim como outros alimentos de origem vegetal o milho apresenta compostos fenólicos e os flavonoides representam a maior classe entre os fenólicos com potencial antioxidante (GADELHA *et al.* 2018).

#### **3.6.2 Ácidos fenólicos**

Os ácidos fenólicos são substâncias que estão presentes no grupo dos compostos fenólicos.

Sua estrutura é caracterizada por um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos de hidroxila ou metoxila na molécula, que conferem propriedades antioxidantes tanto para os alimentos como para o organismo que os ingere (SOARES, 2002).

São divididos em três grupos, com o primeiro formado pelos ácidos fenólicos mais simples encontrados na natureza, composto pelos ácidos benzóicos, que possuem sete átomos de carbono. O segundo é formado pelos ácidos cinâmicos, que possuem nove átomos de carbono, sendo que sete são mais frequentemente encontrados no reino vegetal. As cumarinas são derivadas do ácido cinâmico por ciclização da cadeia lateral do ácido o-cumárico e formam o terceiro grupo (SOARES, 2002).

Segundo estudo realizado por Hung (2016) os ácidos fenólicos encontrados em genótipos de milho incluem p-hidroxibenzóico, ácidos vanílico, cafeico, siringico, p-cumáico, m-cumárico, o-cumárico e ferúlico, dos quais o ácido ferúlico é o fenólico predominante presente no milho.

### **3.7 Processamento de pipoca**

Durante o processamento, o grão de milho pipoca, em contato com o calor, estoura, expandindo-se. Segundo Matos *et al.* (2016) todo grão de milho é composto por pericarpo, endocarpo e embrião, local onde está contido o material genético, e possui em sua composição, predominantemente, amido e água, responsáveis pela expansão. Sendo que o milho de pipoca possui menor quantidade de água e pericarpo quatro vezes mais resistente do que o encontrado no milho comum (MATOS *et al.* 2016).

De acordo com o autor, ao colocar a pipoca na panela ou em outros equipamentos para o processamento, o calor gerado faz com que a água presente dentro do grão se transforme em vapor, que tenta sair e empurra a casca do pericarpo. Enquanto a água se transforma em vapor, o amido sólido começa a virar uma espécie de gelatina, aumentando de tamanho e como consequência, a soma da pressão do vapor d'água e do amido chegam a  $10 \text{ kg cm}^{-2}$ , uma pressão elevada que faz a casca romper, transformando o amido gelatinizado, em contato com o ar, em uma espuma branca sólida.

Os grãos de milho pipoca podem ser expandidos de diversas formas, sendo as mais usadas a panela com adição de óleo, micro-ondas e pipoqueira elétrica com e sem óleo. Neste trabalho, além das formas já citadas, será testada a forma de processamento em fritadeira elétrica sem óleo, conhecida popularmente como *Airfryer*.

O micro-ondas é um forno elétrico que aquece e cozinha alimentos pela exposição à radiação eletromagnética na faixa de frequência das micro-ondas (MO), cerca de 2450 MHz (SGANZERLA; LOPES, 2019).

A pipoqueira elétrica funciona transformando a agitação mecânica e energia elétrica em calor, por meio de um elemento gerador de calor de alta resistência que converte energia elétrica em energia térmica para aquecer o ar (MONTE; OSUOHA; OMORUYI, 2015).

A adição de óleo no processamento de pipoca promove um aquecimento mais uniforme dos grãos durante a expansão e proporciona uma resistência à saída de vapor de água gerado no interior dos grãos. Combinados, esses dois fatores permitem um aumento maior da temperatura interna dos grãos, melhorando a característica expansão (PARAGINSKI, 2014).

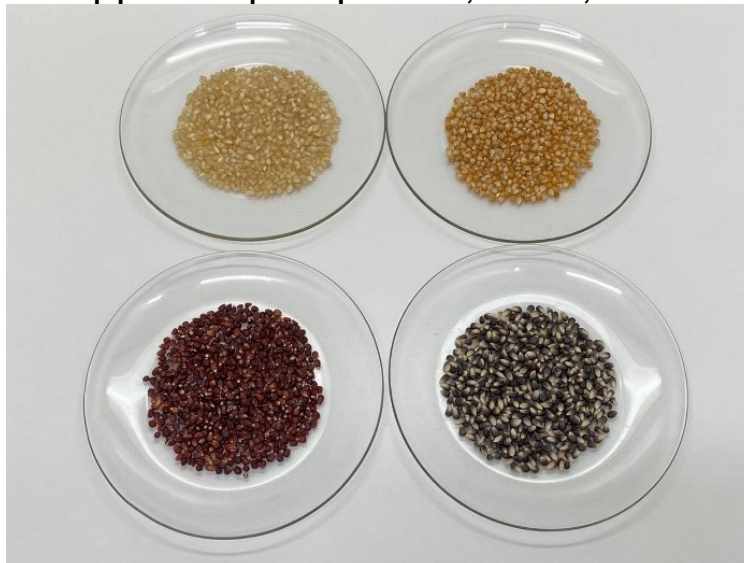
No entanto, o grão de pipoca pode não estourar por alguns motivos. O primeiro deles é a formação do piruá, que surge quando o pericarpo tem rachaduras ou quando é um pouco duro, então o vapor d'água escapa e a pipoca não estoura. Além disso, outro motivo para a pipoca não estourar é quando o grão tem quantidade de água diferente, a mais ou a menos, da composição esperada (MATOS *et al.* 2016).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

O estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - *Campus* Francisco Beltrão em parceria com o *Campus* Pato Branco. Para o presente estudo foram utilizados grãos de pipoca com pericarpo amarelo, branco, vermelho e preto (Figura 2), os quais foram adquiridos no município de Renascença, Paraná, Brasil.

**Figura 2 - Milho pipoca com pericarpo branco, amarelo, vermelho e preto.**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para cada variedade de milho pipoca foi avaliado o rendimento, o número de piruás, os compostos bioativos e a atividade antioxidante. Os compostos analisados foram compostos fenólicos totais e flavonoides totais. A atividade antioxidante foi avaliada pelo método de ABTS, DPPH e FRAP.

Foram avaliados os efeitos do processamento sobre os compostos bioativos presentes nas amostras. Para tal, foram utilizados 6 métodos de expansão (processamento) de grãos, realizados em duplicata. Os métodos incluem pipoqueira de ar quente, fritadeira elétrica (*airfryer*), micro-ondas com recipiente de vidro, micro-ondas com pacote de papel, micro-ondas com pipoqueira de silicone e panela com óleo. Em trabalho realizado por Paraginski *et al.* (2016) é citada a adição de 4% de óleo, em relação a massa de grãos, para os processos com inclusão de óleo, portanto,

o processamento em panela com óleo, os testes foram iniciados adicionando 4% de óleo de soja.

Para a expansão com pipoqueira de ar quente foi utilizada a pipoqueira Britânia Pop Time (Figura 3).

**Figura 3 - Pipoqueira Britânia Pop Time**



Fonte: Autoria própria (2023)

Para expansão em fritadeira elétrica (*airfryer*), foi utilizada a Mondial Grand Family 5,5 litros, que possui uma potência de 1900 W (Figura 4).

**Figura 4 - Fritadeira elétrica (*airfryer*) Mondial Grand Family**



Fonte: Autoria própria (2023)

A obtenção do grão expandido por micro-ondas ocorreu em três métodos diferentes, entre eles, recipiente de vidro (Figura 4), pacote de papel (Figura 5) e pipoqueira de silicone (Figura 6). O micro-ondas utilizado foi da marca Electrolux, com

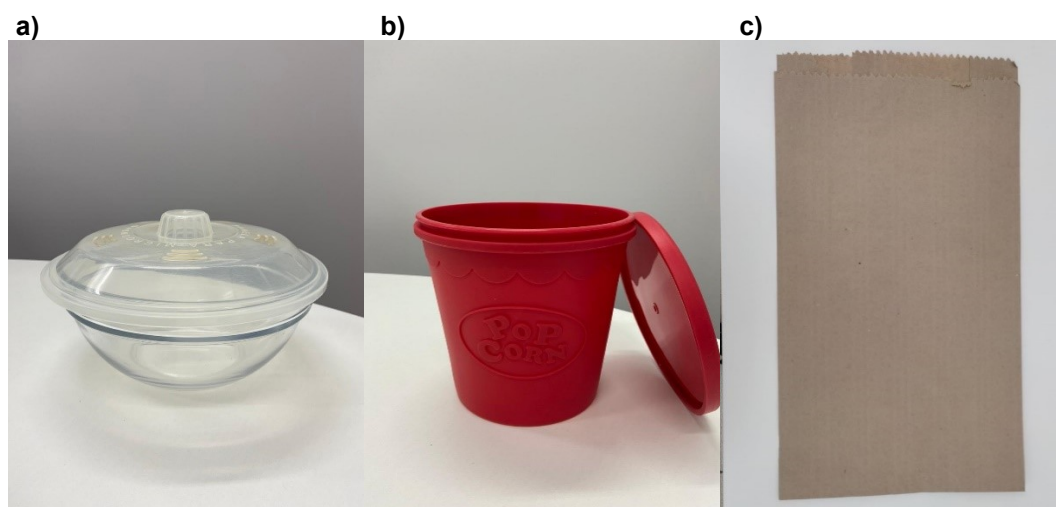
31 litros de capacidade e potência de 1000 W (Figura 5).

**Figura 5 – Micro-ondas**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

**6 – Equipamentos (a) Bacia de vidro, (b) Pipoqueira de silicone e (c) Pacote de papel, utilizados nos processamentos com micro-onda.**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para expansão dos grãos em panela com óleo foi utilizada panela MTA linha Belga de alumínio injetado, com capacidade de 2 litros, 5 mm de espessura e revestimento Cerâmico-Flon (Figura 8).



Figura 6 – Panela



Fonte: Autoria própria (2023)

A obtenção do milho pipoca expandido foi realizada baseando-se na metodologia descrita por Paraginski (2014), com adaptações. Os grãos foram expandidos nos diferentes equipamentos, com testes prévios para determinar tempo, temperatura e quantidade ideal para cada equipamento. O tempo final de expansão foi determinado considerando o tempo de 5 segundos entre a expansão de um grão e outro.

Após a expansão foram avaliadas características de rendimento de cada variedade, entre elas, número de piruás e volume do milho pipoca expandido.

Desse modo os tratamentos, de forma resumida, consistiram em:

**Quadro 1 - Resumo dos tratamentos que foram realizados no desenvolvimento deste projeto.**

| Variáveis independentes         |                             | Variáveis dependentes* |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Milho pipoca (cor do pericarpo) | Processamento               |                        |
| Amarelo                         | Pipoqueira de ar quente     |                        |
|                                 | <i>Airfryer</i>             |                        |
|                                 | Micro-ondas bacia de vidro  |                        |
|                                 | Micro-ondas pacote de papel |                        |

|          |                                    |  |
|----------|------------------------------------|--|
|          | Micro-ondas pipoqueira de silicone |  |
|          | Panela com óleo                    |  |
| Branco   | Pipoqueira de ar quente            |  |
|          | <i>Airfryer</i>                    |  |
|          | Micro-ondas bacia de vidro         | Atividade Antioxidante pelo método de ABTS |
|          | Micro-ondas pacote de papel        |  |
|          | Micro-ondas pipoqueira de silicone | Atividade Antioxidante pelo método de DPPH |
|          | Panela com óleo                    | Atividade Antioxidante pelo método de FRAP |
| Vermelho | Pipoqueira de ar quente            |  |
|          | <i>Airfryer</i>                    | Compostos Fenólicos Totais                 |
|          | Micro-ondas bacia de vidro         |  |
|          | Micro-ondas pacote de papel        |  |
|          | Micro-ondas pipoqueira de silicone | Flavonoides Totais                         |
|          | Panela com óleo                    |  |
| Preto    | Pipoqueira de ar quente            |  |
|          | <i>Airfryer</i>                    |  |
|          | Micro-ondas bacia de vidro         |  |
|          | Micro-ondas pacote de papel        |  |
|          | Micro-ondas pipoqueira de silicone |  |
|          | Panela com óleo                    |  |

\*Foram realizadas em todas as amostras

**Fonte: Autoria própria (2023)**

As metodologias das análises realizadas nos diferentes tratamentos estão descritas abaixo.

#### **4.2 Padronização dos métodos de expansão**

Foram realizados testes prévios para determinar as melhores formas de expansão para cada equipamento.

Para a *airfryer*, a melhor forma encontrada foi utilizar 50 gramas de grãos, por 15 minutos, a uma temperatura de 200 °C. Foi colocado papel alumínio para evitar que os grãos caiam entre as aberturas do cesto.

Na pipoqueira elétrica, determinou-se que a melhor forma é utilizar 80 gramas de grãos, por 3,40 minutos.

Na expansão em panela com óleo, foram considerados quatro parâmetros principais: quantidade de grãos, tempo, temperatura e quantidade de óleo. A melhor forma encontrada foi utilizar 80 gramas de pipoca, por 6 minutos, com 12 gramas de óleo (15%).

No caso da expansão em recipiente de vidro no micro-ondas, foi determinado que a melhor forma é utilizar 50 gramas de milho pipoca, adicionar 5 mL de água e aquecer por 3,35 minutos, em uma potência de 100 W.

Já a expansão em pacote de papel no micro-ondas requer 50 gramas de grãos, que devem ser aquecidos por 1,50 minutos, a uma potência de 100 W.

Por fim, na pipoqueira de silicone no micro-ondas, a melhor forma de expansão é utilizar 50 gramas de grãos, aquecidos por 2 minutos, a uma potência de 100 W.

#### **4.3 Compostos com potencial antioxidante**

Para determinar o potencial antioxidante das variedades de milho pipoca foram empregados os métodos de sequestro do radical livre DPPH, FRAP e ABTS. Além disso, foi estimado o teor total de compostos fenólicos e flavonoides.

##### **4.3.1 Obtenção do extrato**

O extrato foi obtido, com adaptações, da metodologia proposta por Horvat *et al.* (2020). Inicialmente, o conteúdo total de pipoca expandida obtido em cada processamento, excluindo os piruás, foi triturado em um liquidificador. Para os grãos *in natura* foram triturados 20 gramas em liquidificador. Em seguida, foram pesadas 0,5 gramas de amostra em tubos Falcon de 15 mL e adicionadas a 10 mL de metanol acidificado (0,1% HCl PA). Posteriormente, foram homogeneizadas em vórtex por 2 minutos e deixadas em banho ultrassônico durante 60 minutos. Após os 60 minutos, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 5 minutos. Em seguida, o sobrenadante foi recolhido e armazenado. Com o resíduo da centrifugação adicionou-se 5 mL do mesmo solvente, deixando em banho ultrassom por mais 30 min. Por fim, a amostra foi centrifugada nas mesmas condições e juntou-se os sobrenadantes.

#### 4.3.2 Método de sequestro do radical livre DPPH

Segundo Kedare e Singh (2011), esse método foi desenvolvido por Blois (1958), com o objetivo de determinar a atividade antioxidante usando o radical livre estável  $\alpha$ ,  $\alpha$ -difeníl- $\beta$ -picrilhidrazil.

O DPPH é um radical de nitrogênio orgânico, estável e de coloração violeta, com absorção entre 515-520 nm.

O método baseia-se na transferência de elétrons pela ação de um antioxidante ao radical DPPH, que quando reduzido a difeníl-picril-hidrazina, passa para a coloração amarela, e como consequência, ocorre a diminuição da absorção (PRADO, 2009).

A atividade antioxidante pelo método DPPH foi determinada com o uso do reagente Trolox 2000  $\mu$ M e etanol PA. A curva padrão foi formada com solução Trolox 1000  $\mu$ M e etanol. A mistura foi agitada em vórtex e a leitura realizada usando um espectrofotômetro a 517 nm, com o instrumento zerado com etanol. Os resultados foram expressos em mM de trolox  $\text{Kg}^{-1}$  amostra.

#### 4.3.3 Método FRAP

O método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) é o método de redução do ferro, onde o complexo férrico-tripiridiltriazina (Fe (III)-TPZ) é reduzido ao complexo ferroso (Fe (II)-TPZ), na presença de um antioxidante e em condições ácidas,

possuindo uma coloração azul intensa, com absorção máxima a 593 nm (SUCUPIRA, 2012).

A metodologia FRAP foi aplicada através da construção da curva padrão de sulfato ferroso e posterior análise utilizando solução do reagente FRAP, seguindo a metodologia descrita por Pulido *et al.* (2000). Sendo assim, a absorbância utilizada foi de 595 nm com expressão dos resultados em mM Fe<sup>+2</sup> g<sup>-1</sup>.

#### 4.3.4 Método de captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) ABTS

O preparo e aplicação do radical ABTS nos extratos seguiu a metodologia de Re *et al.* (1999). A curva padrão foi formada com a solução Trolox 2000 µM e etanol, para o branco. A absorbância foi medida com comprimento de onda de 734 nm com resultados expressos em mM TEAC g<sup>-1</sup> amostra (TEAC: capacidade antioxidante equivalente a Trolox).

### 4.4 Compostos Fenólicos Totais

Para determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) foi utilizada a metodologia descrita por Singleton *et al.* (1999) com uso do reagente Folin-Ciocalteu 2N e o carbonato de sódio 4%. Primeiramente foi construída a curva padrão utilizando ácido gálico, sendo obtida a sua equação da reta. Para esta análise a absorbância do extrato foi realizada em comprimento de 740 nm em espectrofotômetro (UV-Vis Bel Photonics, 2000 Piracicaba, Brasil) com os resultados expressos em miligramas de ácido gálico por grama (mg GAE g<sup>-1</sup>).

### 4.5 Determinação de Flavonoides

O teor de flavonoides totais foi determinado por metodologia descrita e adaptada por Park *et al.* (1998) e Singh *et al.* (2018), com o uso dos reagentes nitrato de alumínio 10% e acetato de potássio 1M.

A curva padrão foi formada por solução padrão de quercetina 2000 µg/mL<sup>-1</sup> e solução padrão diluída de 200 µg mL<sup>-1</sup>, com a curva analítica contendo 10, 25, 40, 70,

85, 100 e 150 ppm de quercetina e os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}$  de quercetina  $\text{g}^{-1}$ .

#### **4.6 Análises estatísticas**

A avaliação dos dados foi realizada por meio do teste de análise de variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey com nível de significância de 5%, utilizando o software SAS - Statistical Analyses System.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Expansão dos grãos de milho pipoca

Na tabela 1 estão apresentados os valores de rendimento e número de piruás de cada variedade de milho pipoca nos diferentes processamentos.

**Tabela 1 - Resultados dos parâmetros físicos dos métodos de expansão para cada variedade.**

| Variedade (pericarpo) | Processamento                      | Volume inicial (mL) | Volume final (mL) | Grãos pré processamento | Grãos pós processamento (piruás) | Peso inicial (grãos) (g) | Peso final (piruás) (g) |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Amarelo               | <i>Airfryer</i>                    | 65                  | 150               | 540                     | 389                              | 50                       | 39,39                   |
| Amarelo               | Micro-ondas recipiente de vidro    | 70                  | 1125              | 534                     | 130                              | 50                       | 9,51                    |
| Amarelo               | Micro-ondas pacote de papel        | 70                  | 750               | 520                     | 257                              | 50                       | 22,43                   |
| Amarelo               | Micro-ondas pipoqueira de silicone | 60                  | 1485              | 506                     | 27                               | 50                       | 2,56                    |
| Amarelo               | Panela com óleo                    | 110                 | 1135              | 905                     | 193                              | 80                       | 20,16                   |
| Amarelo               | Pipoqueira de ar quente            | 110                 | 1975              | 850                     | 140                              | 80                       | 10,11                   |
| Branco                | <i>Airfryer</i>                    | 60                  | 350               | 489                     | 347                              | 50                       | 31,36                   |
| Branco                | Micro-ondas recipiente de vidro    | 65                  | 1450              | 505                     | 37                               | 50                       | 2,42                    |
| Branco                | Micro-ondas pacote de papel        | 65                  | 1050              | 478                     | 149                              | 50                       | 13,42                   |
| Branco                | Micro-ondas pipoqueira de silicone | 65                  | 1500              | 490                     | 11                               | 50                       | 0,53                    |

**Continuação tabela 1 - Resultados dos parâmetros físicos dos métodos de expansão para cada variedade.**

|          |                                    |     |      |     |     |    |       |
|----------|------------------------------------|-----|------|-----|-----|----|-------|
| Branco   | Panela com óleo                    | 100 | 800  | 757 | 19  | 80 | 2,38  |
| Branco   | Pipoqueira de ar quente            | 100 | 2600 | 744 | 20  | 80 | 1,41  |
| Vermelho | <i>Airfryer</i>                    | 65  | 140  | 586 | 473 | 50 | 39,21 |
| Vermelho | Micro-ondas recipiente de vidro    | 65  | 1200 | 543 | 26  | 50 | 1,45  |
| Vermelho | Micro-ondas pacote de papel        | 60  | 940  | 562 | 103 | 50 | 8,02  |
| Vermelho | Micro-ondas pipoqueira de silicone | 60  | 1200 | 529 | 22  | 50 | 1,48  |
| Vermelho | Panela com óleo                    | 100 | 1250 | 853 | 36  | 80 | 3,71  |
| Vermelho | Pipoqueira de ar quente            | 100 | 1930 | 849 | 26  | 80 | 1,36  |
| Preto    | <i>Airfryer</i>                    | 60  | 130  | 553 | 339 | 50 | 35,46 |
| Preto    | Micro-ondas recipiente de vidro    | 65  | 1195 | 433 | 23  | 50 | 2,42  |
| Preto    | Micro-ondas pacote de papel        | 65  | 900  | 530 | 89  | 50 | 9,02  |
| Preto    | Micro-ondas pipoqueira de silicone | 60  | 1125 | 425 | 20  | 50 | 1,89  |
| Preto    | Panela com óleo                    | 100 | 1500 | 674 | 20  | 80 | 2,53  |
| Preto    | Pipoqueira de ar quente            | 100 | 2300 | 676 | 12  | 80 | 1,32  |

Fonte: Autoria própria (2023)



Com base nesses resultados, podemos concluir que cada método de expansão possui suas próprias características e impactos na pipoca final.

Os resultados encontrados no processamento em *airfryer* demonstram que o equipamento não se apresenta como uma boa forma de expansão do milho pipoca, visto que resultou em muitos grãos queimados, com grande número de piruás (61,30 – 80,72%) e os menores volumes de expansão.

Entre as possíveis causas dessa maior perda está o fato da *airfryer* não movimentar os grãos de milho pipoca durante seu preparo, como acontece nas outras formas de processamento, processo que auxilia a uniformizar a distribuição de calor a todos os grãos e garante que não irão queimar.

Os resultados obtidos na expansão por pipoqueira elétrica demonstram que o equipamento é muito eficaz, com grãos com grande volume, um dos maiores volumes encontrados, pouco número de piruás entre as variedades (1,77 - 16,47%) e nenhum grão queimado.

Esse resultado se mostrou dentro do esperado, uma vez que o equipamento foi desenvolvido para expandir os grãos nas condições ideais, usando ar quente.

A expansão em panela com óleo demonstrou-se eficiente. Nesse processamento obteve-se pouco número de piruás entre 2,51 - 21,33% nas diferentes variedades, bom volume e nenhum grão queimado.

Essa forma de expansão é muito eficiente, devido a presença de óleo. O óleo aumenta a transferência de calor (CELLA *et al.* 2002), uniformizando todos os grãos na mesma temperatura e conseqüentemente, resulta em poucos piruás e bom volume de expansão.

Na expansão em recipiente de vidro no micro-ondas a pipoca apresentou pouco número de piruás entre as variedades (4,79 - 24,34%), bom volume de expansão e alguns grãos queimados.

No método de expansão em pacote de papel no micro-ondas, foi observado um grande número de piruás entre as variedades de pipoca, variando de 16,80% a 49,42%. Além disso, algumas amostras apresentaram grãos queimados durante o processo de expansão. Outro ponto a ser considerado é que esse método resultou em um volume de expansão relativamente baixo para as amostras de pipoca.

A expansão da pipoca em pipoqueira de silicone no micro-ondas resultou em um bom volume de expansão para todas as variedades testadas. Além disso, foi observado um baixo número de piruás, variando de 2,25% a 5,34%, indicando uma

boa qualidade do processamento. No entanto, é importante ressaltar que em algumas variedades, algumas pipocas expandidas foram queimadas.

O micro-ondas é um equipamento que cozinha os alimentos pela exposição à radiação eletromagnética e essa radiação é absorvida pela matéria de maneiras diferentes dependendo do comprimento de onda e do estado da matéria, sólido, líquido ou gasoso (SGANZERLA; LOPES, 2019). Essas diferenças geram um meio com perdas, causa uma não uniformidade no aquecimento, gerando partes quentes e frias nos alimentos. E, como a duração do processo de aquecimento é curta, não há tempo para haver a difusão térmica entre as partes com diferentes temperaturas (MA *et al.*, 1995).

Nas diferentes formas de expansão em micro-ondas foi observada a presença de grãos queimados, situação que pode ser explicada pela existência de diferentes temperaturas na amostra.

Analisando os resultados, pode-se constatar que a pipoqueira elétrica é o equipamento mais eficiente na expansão dos grãos de pipoca, considerando o baixo número de piruás, bom volume das pipocas expandidas e que não queimou os grãos.

## 5.2 Compostos bioativos

Através da análise de variância (ANOVA) as variáveis e os processamentos se mostraram significativos, com valor  $F < 0,0001$ . Além disso, as interações entre as variáveis e os processamentos também se mostraram significativos.

Ao analisar os resultados encontrados, confirma-se que todas as formas de processamento afetaram os níveis de atividade antioxidante, compostos fenólicos e flavonoides. Diminuindo seu conteúdo em relação aos grãos *in natura*, com mudanças no impacto gerado sobre cada variedade em cada processo.

É possível que alguns fatores sejam os responsáveis por essa mudança. A temperatura de expansão pode ter sido um fator que propiciou essa diminuição, uma vez que o processamento pode degradar os compostos bioativos, elementos sensíveis a temperaturas muito altas (OLIVEIRA, 2014).

Além disso, de acordo com Coco Jr. e Vinson (2019), o pericarpo do grão de pipoca contém, em média, 98,3% do conteúdo fenólico total e 97,8% da capacidade antioxidante de toda a pipoca. Esse fato, elucidado a perda de parte dos compostos, já

que a maior parte está presente no pericarpo, afetado diretamente pelo calor de expansão e, ademais, grande parte é perdida e descartada pós processamento.

Segundo estudo realizado por Slavin *et al.* (2009), foram encontrados 25,4 mg 100 g<sup>-1</sup> de carotenoides em óleo de uma cultivar de soja amarela. De forma geral o processamento em panela com óleo mostrou-se com as menores perdas entre todas as variedades e análises realizadas. Fato que pode ser explicado pela adição de óleo de soja para a expansão dos grãos e assim agregação de compostos antioxidantes dos carotenoides presentes no óleo.

### 5.2.1 Atividade antioxidante pelo método DPPH

Os resultados para o a capacidade antioxidante pelo método DPPH estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2 - Potencial antioxidante pelo método DPPH (mM TE g<sup>-1</sup>) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7).**

| Processamento | Variedade (cor do pericarpo) |                       |                      |                      |
|---------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|               | Amarela                      | Branca                | Preta                | Vermelha             |
| <b>P1</b>     | 107,06 ± 1,80<br>a A         | 104,71 ± 0,62<br>ab A | 102,82 ± 0,27<br>b A | 107,12 ± 1,91<br>a A |
| <b>P2</b>     | 29,97 ± 0,05<br>c C          | 31,04 ± 0,65<br>b C   | 31,32 ± 0,12<br>b C  | 33,10 ± 0,07<br>a B  |
| <b>P3</b>     | 33,34 ± 0,20<br>a B          | 32,97 ± 0,24<br>a B   | 30,41 ± 0,14<br>b D  | 33,38 ± 0,18<br>a B  |
| <b>P4</b>     | 33,33 ± 0,15<br>a B          | 31,76 ± 1,22<br>a BC  | 32,25 ± 0,08<br>a B  | 33,20 ± 0,10<br>a B  |
| <b>P5</b>     | 33,20 ± 0,27<br>a B          | 32,85 ± 0,03<br>ab B  | 32,43 ± 0,20<br>b B  | 33,16 ± 0,09<br>a B  |
| <b>P6</b>     | 33,38 ± 0,11<br>a B          | 32,90 ± 0,07<br>bc B  | 32,43 ± 0,18<br>c B  | 33,21 ± 0,29<br>ab B |
| <b>P7</b>     | 33,25 ± 0,13<br>a B          | 32,91 ± 0,16<br>b B   | 32,21 ± 0,08<br>c B  | 33,18 ± 0,09<br>ab B |

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre processamentos.

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

Para o método de radical livre DPPH nota-se que as variedades amarela, branca e vermelha não possuem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) quando *in natura*, correspondendo aos maiores níveis de potencial antioxidante por este método, com

107,06; 104,71 e 107,12 mM TE g<sup>-1</sup>, respectivamente. Além disso, as variedades branca e preta se apresentam semelhantes, com a preta fornecendo o menor potencial por este método de 102,82 mM TE g<sup>-1</sup> (Tabela 1).

Após serem expandidas pelos diferentes processamentos é percebida a perda da atividade antioxidante, em todos os métodos, com uma diminuição entre 68,80 a 72,00%, elucidada pela sensibilidade dos compostos a temperaturas elevadas (OLIVEIRA, 2014). Porém, o processo que mais degradou os compostos, foi a *airfryer* e o método que obteve menor degradação foi a panela com óleo.

Em relação as variedades, os processos de expansão se mostraram muito semelhantes na quantidade de perda de compostos. De acordo com os resultados, as variedades amarela e branca possuem um potencial antioxidante igual para os processamentos P3, P4, P5, P6 e P7. A pipoca com pericarpo vermelho foi a que sofreu menos impactos com a mudança de processamento, com os processamentos não apresentando diferenças significativas de atividade antioxidante.

A variedade preta foi a que apresentou maiores diferenças entre processamentos, com P3, micro-ondas com recipiente de vidro, resultando no menor teor antioxidante encontrado. Isso se explica pela forma de atuação do micro-ondas. Nesse equipamento, a radiação é absorvida pela matéria de maneiras diferentes dependendo do comprimento de onda e do estado da matéria, no caso, sólido e líquido, ocasionando em perdas (SGANZERLA; LOPES, 2019).

Pelo método DPPH os processos P4, P5, P6 e P7 se mostraram semelhantes nas variedades, não possuindo diferenças estatísticas em relação ao teor de compostos antioxidantes.

Pela análise de dados dos processamentos e variedades observou-se que a análise do potencial antioxidante pelo método DPPH se mostrou muito semelhante entre si, com pouca variação. Além disso, a expansão por *airfryer* se mostrou com os menores valores encontrados, resultado das maiores perdas entre as variedades, 69,54 - 72,00%, o que pode ser consequência do maior tempo de exposição ao calor (15 minutos), entre todas as formas de expansão analisadas.

### 5.2.2 Método FRAP

No método de redução do ferro as variedades mostraram-se com potencial antioxidante muito diferentes, conforme pode-se observar na tabela 3.

**Tabela 3 - Potencial antioxidante pelo método FRAP (mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup>) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7).**

| Processamento | Variedade (cor do pericarpo) |                      |                      |                       |
|---------------|------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|               | Amarela                      | Branca               | Preta                | Vermelha              |
| <b>P1</b>     | 39,80 ± 0,45<br>d A          | 48,56 ± 0,18<br>c A  | 86,24 ± 0,10<br>a A  | 61,40 ± 1,98<br>b A   |
| <b>P2</b>     | 11,70 ± 0,37<br>c E          | 21,62 ± 0,55<br>a F  | 16,16 ± 0,18<br>bc C | 18,80 ± 3,54<br>ab BC |
| <b>P3</b>     | 19,58 ± 0,36<br>b CD         | 23,96 ± 0,21<br>a CD | 20,54 ± 0,37<br>b B  | 17,42 ± 0,54<br>c C   |
| <b>P4</b>     | 25,82 ± 0,10<br>a B          | 22,34 ± 0,27<br>b EF | 20,42 ± 0,63<br>c B  | 22,52 ± 0,52<br>b B   |
| <b>P5</b>     | 20,18 ± 0,63<br>b C          | 25,88 ± 0,36<br>a B  | 19,64 ± 0,45<br>b B  | 17,18 ± 0,10<br>c C   |
| <b>P6</b>     | 18,74 ± 0,55<br>b CD         | 22,94 ± 0,21<br>a DE | 13,70 ± 0,45<br>d D  | 17,66 ± 0,21<br>c C   |
| <b>P7</b>     | 18,68 ± 0,90<br>b D          | 24,26 ± 0,82<br>a C  | 10,64 ± 0,10<br>c E  | 10,88 ± 0,37<br>c D   |

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre processamentos.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A variedade de milho pipoca com pericarpo preto apresentou o maior potencial antioxidante por esse método, com 86,24 mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup>. Porém, também foi a variedade com a maior degradação após ser expandida, com uma diminuição de 76,18 a 87,66% entre as variedades, onde a pipoqueira elétrica resultou na maior diminuição e o micro-ondas com recipiente de vidro, micro-ondas com pacote de papel e micro-ondas pipoqueira de silicone resultaram, com médias estatisticamente iguais, na menor perda. A grande diminuição do potencial antioxidante para essa variedade pode ser explicada pela presença de antocianinas, pigmentos hidrossolúveis e sensíveis ao calor, responsáveis por grande parte da coloração azul, roxa, vermelha e laranja de muitas frutas, flores e folhas (FIGUEIREDO; CARVALHO, 2015).

A variedade branca foi a que obteve a menor redução do potencial antioxidante, com 48,56 mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup> *in natura* e degradação entre 46,70 e 55,48%, no micro-ondas com pacote de papel e *airfryer*, respectivamente.

O menor potencial antioxidante pelo método FRAP foi observado na variedade amarela, com 39,80 mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup> *in natura* e degradação entre 35,12 e 70,60%, no micro-ondas pipoqueira de silicone e *airfryer*, respectivamente.

A pipoca com pericarpo vermelho apresentou resultados divergentes das demais, com os maiores valores, nos grãos expandidos na *airfryer* (18,80 mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup>) e micro-ondas pipoqueira de silicone (22,52 mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup>), iguais estatisticamente. O menor valor encontrado foi na pipoqueira elétrica, com 10,88 mM Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup>.

Ao analisar os resultados pelo método FRAP, observa-se que o processamento do milho de pipoca utilizando a pipoqueira de silicone em micro-ondas resultou nas menores perdas de antioxidantes para maioria das variedades. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que o processo de cozimento em micro-ondas pode não proporcionar uma distribuição homogênea de calor, levando a diferentes temperaturas entre os grãos da mesma amostra. Essa variabilidade de temperatura pode ter influenciado na menor degradação dos antioxidantes, uma vez que alguns grãos possivelmente não atingiram a temperatura necessária para a perda significativa desses compostos.

### 5.2.3 Método ABTS

Na tabela 4, estão detalhadas as capacidades antioxidantes pelo método ABTS para cada variedade de milho pipoca, nos diferentes processamentos.

**Tabela 4 - Potencial antioxidante pelo método ABTS (mM TE g<sup>-1</sup>) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7).**

| Processamento | Variedade (cor do pericarpo) |                     |                     |                      |
|---------------|------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|               | Amarela                      | Branca              | Preta               | Vermelha             |
| <b>P1</b>     | 14,50 ± 0,34<br>ab A         | 10,60 ± 0,60<br>c A | 15,21 ± 0,11<br>a A | 13,75 ± 0,23<br>b A  |
| <b>P2</b>     | 7,45 ± 0,23<br>a C           | 6,40 ± 0,13<br>a B  | 4,37 ± 0,47<br>c E  | 6,02 ± 0,72<br>b CD  |
| <b>P3</b>     | 9,47 ± 0,23<br>a B           | 1,15 ± 0,39<br>d E  | 5,20 ± 0,23<br>b D  | 4,00 ± 0,34<br>c E   |
| <b>P4</b>     | 4,07 ± 0,01<br>c E           | 3,25 ± 0,65<br>c D  | 13,52 ± 0,23<br>a B | 5,87 ± 0,00<br>b CDE |
| <b>P5</b>     | 6,40 ± 0,57<br>b D           | 5,52 ± 0,11<br>c BC | 12,74 ± 0,11<br>a C | 5,20 ± 0,23<br>c DE  |
| <b>P6</b>     | 4,75 ± 0,23<br>c E           | 4,97 ± 0,23<br>c C  | 5,72 ± 0,13<br>b D  | 8,87 ± 0,13<br>a B   |
| <b>P7</b>     | 6,85 ± 0,26<br>a CD          | 1,90 ± 0,57<br>b E  | 3,62 ± 0,39<br>b E  | 7,75 ± 1,63<br>a BC  |

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre processamentos.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Pelo método ABTS as variedades amarela e preta são estatisticamente iguais, e tem os maiores valores de potencial antioxidante com 14,50 e 15,21 mM TE g<sup>-1</sup>, respectivamente. A pipoca com pericarpo branco foi a com menor potencial antioxidante, com 10,60 mM TE g<sup>-1</sup> e a vermelha apresentou valor intermediário de 13,75 mM TE g<sup>-1</sup>.

Após serem processadas todas as variedades diminuíram seu potencial antioxidante por esse método, devido a perda de compostos.

Entre as variedades, a amarela, obteve uma diminuição de 34,69 - 71,93% da capacidade antioxidante entre os processamentos, com o P3, micro-ondas com recipiente de vidro, possuindo o maior valor pós processamento e P4, micro-ondas pipoqueira de silicone, e P6, panela com óleo, com médias estatisticamente iguais, o menor valor encontrado.

Para a variedade branca, a perda ficou entre 39,62 - 89,15%, respectivamente *airfryer* e micro-ondas com recipiente de vidro, resultando na variedade com maior degradação pelo método ABTS.

Na variedade preta a diminuição foi de 11,11 - 76,20%, onde o método de expansão utilizando micro-ondas com pipoqueira de silicone resultou na menor atividade antioxidante e os métodos *airfryer* e pipoqueira elétrica, estatisticamente iguais, a maior atividade antioxidante.

Por fim, a variedade vermelha houve uma diminuição da atividade antioxidante de 35,49-70,91%, sendo os processamentos P3, P4 e P5 os que mais ocasionaram a diminuição do potencial antioxidante, e os métodos P6 e P7, os menos afetaram.

Após o processamento, as variedades amarela e vermelha mostraram os maiores teores de antioxidantes pelo método ABTS, o que pode ser atribuído à presença de carotenoides. Os carotenoides são um grupo de pigmentos naturais que incluem cerca de 700 compostos, apresentando uma ampla variedade de cores, como amarelo, laranja e vermelho (MESQUITA *et al.*, 2017). Esses pigmentos contribuem para o potencial antioxidante dessas variedades de milho de pipoca, resultando em valores mais elevados quando comparados a outras variedades processadas.

Em relação aos processos de expansão, não foi identificado um método que se destacasse como o mais degradante, uma vez que todos os métodos resultaram

em diminuição do teor de antioxidantes, porém de maneiras distintas para cada variedade de pipoca.

#### 5.2.4 Compostos fenólicos totais (CFT)

A estimativa do teor de compostos fenólicos totais presentes nas quatro variedades de milho pipoca, processadas nos diferentes equipamentos encontra-se na tabela 5.

**Tabela 5 – Estimativa do teor de Compostos fenólicos totais (CFT em mg EAG g<sup>-1</sup>) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7).**

| Processamento | Variedade (cor do pericarpo) |                    |                     |                     |
|---------------|------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|               | Amarela                      | Branca             | Preta               | Vermelha            |
| <b>P1</b>     | 5,56 ± 0,08<br>b A           | 4,17 ± 0,40<br>c A | 6,68 ± 0,47<br>a A  | 5,10 ± 0,17<br>b A  |
| <b>P2</b>     | 0,62 ± 0,01<br>b E           | 2,37 ± 0,36<br>a B | 2,46 ± 0,04<br>a C  | 2,30 ± 0,17<br>a C  |
| <b>P3</b>     | 2,25 ± 0,32<br>a D           | 2,30 ± 0,52<br>a B | 2,31 ± 0,20<br>a C  | 2,43 ± 0,03<br>a C  |
| <b>P4</b>     | 2,43 ± 0,29<br>a CD          | 2,30 ± 0,10<br>a B | 2,50 ± 0,04<br>a BC | 2,69 ± 0,40<br>a BC |
| <b>P5</b>     | 3,22 ± 0,56<br>a BC          | 2,83 ± 0,11<br>a B | 2,42 ± 0,02<br>a C  | 3,03 ± 0,62<br>a BC |
| <b>P6</b>     | 3,34 ± 0,18<br>a B           | 2,54 ± 0,01<br>b B | 3,05 ± 0,14<br>a B  | 3,31 ± 0,22<br>a B  |
| <b>P7</b>     | 2,29 ± 0,36<br>a D           | 2,36 ± 0,18<br>a B | 2,26 ± 0,13<br>a C  | 2,45 ± 0,03<br>a C  |

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre processamentos.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Ao avaliar o milho pipoca *in natura*, o maior teor de compostos fenólicos totais foi encontrado no milho pipoca com pericarpo preto, com 6,68 mg EAG g<sup>-1</sup>, seguida das variedades vermelha e amarela, com valores estatisticamente iguais, com 5,10 e 5,56 mg EAG g<sup>-1</sup>, respectivamente, e pôr fim, a variedade branca com 4,17 mg EAG g<sup>-1</sup>.

Após serem processadas nos diferentes equipamentos, todas as variedades diminuiram o teor de compostos fenólicos totais. Isso indica que os processos de



cozção podem reduzir o potencial antioxidante do milho de pipoca, provavelmente devido à degradação térmica de compostos antioxidantes como carotenoides, tocoferóis e fenólicos (DEWANTO *et al.* 2002).

Analisando os resultados é possível perceber que os teores de compostos fenólicos totais, nos diferentes equipamentos são estatisticamente iguais para as variedades analisadas, com exceção da variedade amarela no método de expansão por *airfryer*, que apresentou o menor valor de 0,62 mg EAG g<sup>-1</sup>, e da variedade branca expandida na panela com óleo, com 2,54 mg EAG g<sup>-1</sup>.

De acordo com os resultados, a variedade com a menor diminuição de compostos fenólicos foi a variedade branca, com diminuição entre 32,13 - 44,84% e a variedade com maior diminuição foi a variedade preta, entre 54,66 - 66,17%.

Em relação as formas de processamento, na variedade branca não houve diferença significativa entre processos, onde em todos os métodos aplicados houve uma diminuição dos compostos fenólicos totais. Para a variedade preta apenas o método P6, panela com óleo, apresentou uma maior redução.

Para a variedade amarela, os processamentos P5 (micro-ondas com pacote de papel) e P6 (panela com óleo) resultaram nos maiores teores de compostos fenólicos totais, com 3,22 mg EAG g<sup>-1</sup> e 3,34 mg EAG g<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses dois processamentos provocaram as menores reduções em CFT para essa variedade. Em contrapartida, o processamento P2 (*airfryer*) resultou no menor teor (0,62 mg EAG g<sup>-1</sup>) e provocou a maior redução.

A variedade vermelha foi a menos afetada pelos processamentos, mantendo teores relativamente altos de compostos fenólicos totais na maioria deles. Os maiores valores encontrados foram em P4, P5 e P6, todos estatisticamente com a mesma quantidade de compostos.

De modo geral, os grãos expandidos em P6, panela com óleo, mostraram-se com as menores perdas de compostos fenólicos nas diferentes variedades, com perdas de 30,09 a 54,34%. Esse fato pode ser explicado pela presença de compostos antioxidantes no óleo (SLAVIN *et al.* 2009) e pela liberação de compostos fenólicos para a pipoca expandida pela ação do calor, conforme descrito por Acosta-Estrada *et al.* (2014).

#### 5.2.5 Flavonoides totais (FT)

O teor de flavonoides encontrado nas variedades de milho pipoca analisadas foi muito variável, e em algumas formas de processamento não foram detectadas (Tabela 6).

**Tabela 6 – Estimativa do teor de flavonoides totais (FT em  $\mu\text{g}$  quercetina  $\text{g}^{-1}$ ) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7).**

| Processamento | Variedade (cor do pericarpo) |                         |                            |                           |
|---------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
|               | Amarela                      | Branca                  | Preta                      | Vermelha                  |
| <b>P1</b>     | 145,45 $\pm$ 0,00<br>c A     | 54,55 $\pm$ 0,00<br>d A | 221,21 $\pm$ 26,24<br>b A  | 327,51 $\pm$ 0,42<br>a A  |
| <b>P2</b>     | ND                           | 26,67 $\pm$ 5,25<br>b B | 5,45 $\pm$ 0,00<br>c E     | 175,80 $\pm$ 5,25<br>a D  |
| <b>P3</b>     | 14,55 $\pm$ 0,00<br>b C      | ND                      | 108,48 $\pm$ 13,89<br>a CD | 117,58 $\pm$ 13,89<br>a D |
| <b>P4</b>     | ND                           | 14,62 $\pm$ 0,08<br>b C | ND                         | 32,73 $\pm$ 0,00<br>a E   |
| <b>P5</b>     | 35,76 $\pm$ 5,25<br>b B      | ND                      | 141,82 $\pm$ 9,09<br>a BC  | 156,97 $\pm$ 13,89<br>a C |
| <b>P6</b>     | 29,70 $\pm$ 5,25<br>c B      | 14,55 $\pm$ 0,00<br>c C | 184,24 $\pm$ 29,22<br>b AB | 226,67 $\pm$ 5,25<br>a B  |
| <b>P7</b>     | ND                           | ND                      | 87,27 $\pm$ 9,09<br>b D    | 123,64 $\pm$ 9,09<br>a D  |

Médias  $\pm$  desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre processamento.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Nos grãos *in natura*, o milho pipoca que possui o maior teor de flavonoides é a vermelha, com 327,51  $\mu\text{g}$   $\text{g}^{-1}$ , seguida da variedade preta com 221,21  $\mu\text{g}$   $\text{g}^{-1}$ , possivelmente pela presença de antocianinas responsáveis por grande parte das colorações vermelha, roxa e azul presentes em frutas, vegetais e grãos (LEE *et al.* 2005). Em seguida, está a variedade amarela com 145,45  $\mu\text{g}$   $\text{g}^{-1}$  e pôr fim a branca com 54,55  $\mu\text{g}$   $\text{g}^{-1}$ , o menor teor encontrado.

Após os processamentos, não foram detectados flavonoides em algumas variedades expandidas por determinados equipamentos. Na variedade amarela expandida por *airfryer*, micro-ondas com pipoqueira de silicone e pipoqueira elétrica, não foram encontrados flavonoides. Na variedade branca expandida por micro-ondas bacia de vidro, micro-ondas com pacote de papel e pipoqueira elétrica também não

foram detectados flavonoides. E na variedade preta expandida por micro-ondas bacia de vidro, não foram encontrados flavonoides.

A ausência de flavonoides após os grãos serem submetidos aos diferentes processamentos pode ser decorrente das alterações térmicas a que estes foram expostos, pois o calor excessivo degrada os pigmentos dos alimentos (SANTOS *et al.* 2019).

O processamento em panela com óleo foi o único método em que os flavonoides foram detectados em todas as variedades de pipoca, embora tenha havido uma redução significativa em seus teores, variando de 16,82% a 79,58%, em comparação com a forma *in natura*. Além disso, esse método de processamento apresentou os maiores teores de flavonoides entre todos os processamentos realizados.

Para variedade amarela a expansão em micro-ondas com pacote de papel e panela com óleo obtiveram os maiores valores, com 35,76 e 29,70  $\mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente, sendo estatisticamente iguais.

A variedade branca *in natura* (P1) apresentou o menor teor de flavonoides totais entre as variedades analisadas, com 54,55  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Isso indica que essa variedade possui naturalmente menor concentração de flavonoides em comparação às demais. Após os processamentos, os teores de FT na variedade branca foram drasticamente reduzidos ou não detectados na maioria das condições. Onde a *airfryer* resultou no maior teor identificado, com 26,67  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

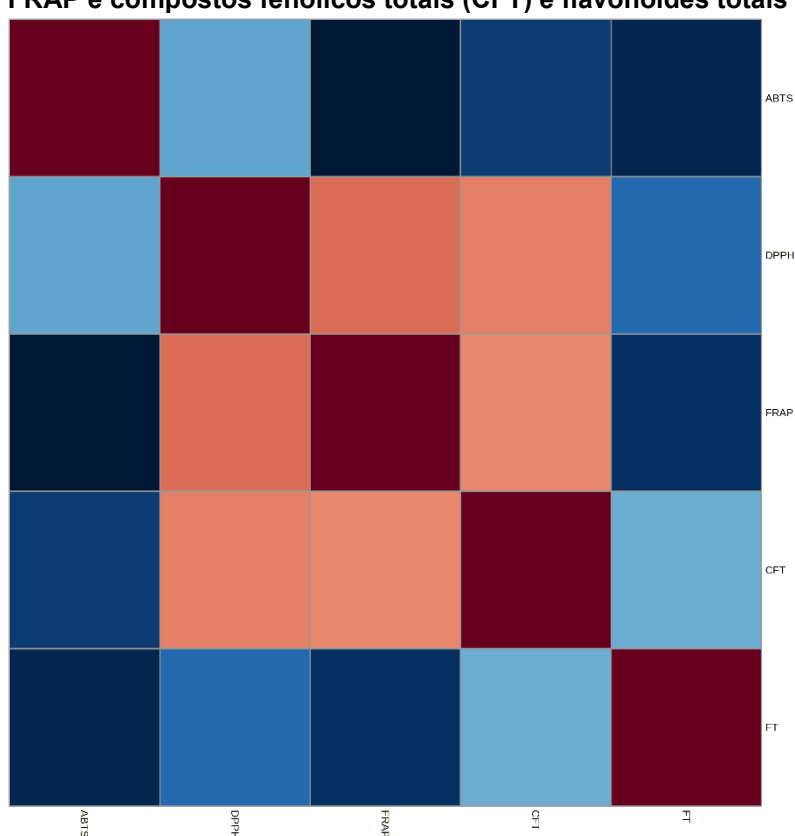
Para a variedade de pipoca com pericarpo preto, observou-se uma variação significativa nos resultados entre os diferentes processamentos. O menor valor de flavonoides foi encontrado ao utilizar a *airfryer*, com um teor de 5,45  $\mu\text{g g}^{-1}$ , representando uma diminuição de 97,54% em relação ao valor inicial. Essa redução pode ser atribuída à baixa estabilidade das antocianinas durante o aquecimento, conforme mencionado por Nayak *et al.* (2011). Além disso, para essa variedade, o grão expandido em panela com óleo apresentou um teor de flavonoides estatisticamente igual ao grão *in natura*.

Na variedade vermelha o maior valor foi encontrado no processamento em panela com óleo, com 226,67  $\mu\text{g g}^{-1}$ , possivelmente em virtude da presença de carotenoides no óleo e também no grão, e o menor teor de flavonoides foi encontrada na expansão em micro-ondas bacia de vidro, com 32,73  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

### 5.3 Correlação de Pearson

Através do coeficiente de correlação de Pearson, é possível avaliar a relação entre as análises e estimar o grau de correlação entre elas, como ilustrado na Figura 6.

**Figura 5 - Correlação de Pearson por HeatMap de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 a P7 - *in natura* (P1), Air Fryer (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7) das variáveis de atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP e compostos fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT).**



Fonte: Autoria própria (2023)

Pela correlação de Pearson os métodos DPPH/FRAP, FRAP/CFT e DPPH/CFT apresentam uma boa correlação, acima de 0,8, indicando que a atividade antioxidante presente na pipoca está atrelada ao seu conteúdo de compostos fenólicos totais, como já era esperado.

Através dessa correlação podemos observar que tanto o método FRAP quanto o método DPPH são bons métodos para determinar a capacidade antioxidante do milho pipoca pré e pós processamento.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o potencial antioxidante pelos diferentes métodos é possível determinar que o grão de milho pipoca *in natura* possui compostos bioativos, entre eles compostos fenólicos, representados pelos flavonoides.

A cor do pericarpo influencia no potencial antioxidante do milho pipoca. De modo geral, nos grãos *in natura*, a variedade preta foi a que apresentou os maiores teores de compostos antioxidantes, entre eles compostos fenólicos e flavonoides, e a variedade branca os menores, indicando que quanto mais pigmentado for o grão maior a atividade antioxidante.

Após serem processadas nos diferentes equipamentos, todas as variedades sofreram perda da atividade antioxidante, em menor ou maior grau, pela degradação dos compostos bioativos em função da elevada temperatura.

A variedade preta resultou nos maiores teores de antioxidantes encontrados na maioria dos métodos de processamento. A variedade branca apresentou os menores valores de potencial antioxidante para a maioria dos processamentos, possivelmente devido à sua menor concentração de carotenoides e antocianinas, compostos encontrados em alimentos com colorações que vão de amarelo a roxo.

Entre as formas de expansão do milho pipoca, a *airfryer* foi o equipamento que mais degradou os compostos bioativos estudados e conseqüentemente apresentou menor atividade antioxidante, produziu maior número de piruás, menor volume e queimou mais grãos, levando a ser considerada uma forma ruim de expansão.

A panela com óleo foi a forma de expansão onde obteve-se pipocas com maior teor de compostos bioativos e atividade antioxidante, pequeno número de piruás e bom volume de expansão sem queimar os grãos, portanto pode ser considerada uma boa forma de expansão. Entretanto, nesse processamento existem os malefícios associados ao óleo, como o alto valor energético.

Outra forma de processamento que pode ser considerada uma das melhores formas de expansão é a pipoqueira elétrica, visto que a pipoca obtida por esse método possui um bom teor de compostos bioativos e atividade antioxidante, pouco número de piruás e bom volume de expansão sem queimar os grãos e sem os malefícios associados a inclusão do óleo.

Com base nos dados obtidos pode-se concluir que o consumo de pipoca pode ser um aliado na promoção da saúde, se preparada da forma adequada, sendo fonte de compostos benéficos, mesmo após o processamento.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-AAL, E. S. M., HUCL, P. Composition and stability of anthocyanins in blue-grained wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 2174-2180, 2003.
- ACOSTA-ESTRADA, B. A., GUTIERREZ-URIBE, J. A., SERNA-SALDÍVAR, S. O. Fenólicos ligados em alimentos, uma revisão. **Food Chemistry**, v. 152, p. 46 – 55, 2014.
- BRASIL. Agência Nacional De Vigilância Sanitária – Anvisa. **Resolução nº 243**. Diário Oficial da União: Poder Executivo, 2018.
- B, D.; JORGE, N. **Antioxidantes naturais: técnicas de extração**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, Curitiba v. 24, n. 2, p. 319-336, jul./dez. 2006.
- BHAGAVATHY, S; SUMATHI, P. Evaluation of antigenotoxic effects of carotenoids from green algae *Chlorococcum humicola* using human lymphocytes. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, p. 109-117, 2012.
- BARBOSA, N. A.; LOPES, R. C. O.; PAES, M. C. D. **Compostos bioativos nos grãos de milho pipoca antes e após o processamento**. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, p. 1845-1848, 2016.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Universidade de Évora, escola de ciências e tecnologia, p. 52, 2014.
- BERK, Z. **Food process engineering and technology**. London: Academic. Cap.24, p. 583-589, 2009.
- BERTOLUCCI, M. F. **Análise da concentração e expansão da produção e do beneficiamento do milho-pipoca (*Zea mays* L. var. *everta* (Sturtev.) L. H. Bailey) no Brasil**. Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, p. 80, 2022.
- BESERRA, J. B.; SOARES, N. I. S.; MARREIROS, C. S.; CARVALHO, C. M. R. G.; MARTINS, M. C. C.; FREITAS, B. J. S. A.; SANTOS, M. M.; FROTA, K. M. G. Crianças e adolescentes que consomem alimentos ultraprocessados possuem pior perfil lipídico? Uma revisão sistemática. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n.12, p.4979-4989, 2020.
- BLOIS, M. S. **Antioxidant determinations by the use of a stable free radical**. Nature, v. 181, p. 1199-1200, 1958.
- CAIVANO, S.; LOPES, R. F.; SAWAYA, A. L.; DOMENE, S. M. A.; MARTINS, P. A. Conflitos de interesses nas estratégias da indústria alimentícia para aumento do consumo de alimentos ultraprocessados e os efeitos sobre a saúde da população brasileira. **Demetra: alimentação, nutrição & saúde**, v. 12, n. 2, p. 349-360, 2017.

CALLEGARO, M. G. K.; DUTRA, C. B.; HUBER, L. S.; BECKER, L. V.; ROSA, C. S.; KUBOTA, E. H.; HECKTHEUR, L. H. **Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho.** Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v. 25, p. 271-274, 2005.

CELLA, R. C. F., REGITANO-D'ARCE, M. A. B., & SPOTO, M. H. F. **Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 22, p. 111 – 116, 2002.

CHAVES, D. F. S. **Compostos bioativos dos alimentos.** São Paulo. Valéria Paschoal Editora Ltda., p. 340, 2015.

COCO JR., M. G., & VINSON, J. A. Analysis of Popcorn (*Zea mays* L. var. everta) for Antioxidant Capacity and Total Phenolic Content. Antioxidants. **Publisher of Open Access Journals**, 8(1), 22, 2019.

COUTO, M. F.; OLIVEIRA, E. C.; JÚNIOR, A. T. A.; JÚNIOR, S. P. F.; CANDIDO, L. S.; FREITAS, I. L. J. **Avaliação da Dissimilaridade Genética Entre Genótipos de Milho Pipoca Por Meio de Marcador ISSR.** XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Goiânia, p. 6, 2010.

CROZIER, A.; JAGANATH, I. B.; CLIFFORD, M. N. Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and effects on health. **Natural Product Reports**, v. 26, p. 1001-1043, 2009.

DEWANTO, V., WU, X., ADOM, K. K., & LIU, R. H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010-3014, 2002.

DUAN, X.; JIANG, Y.; SU, X.; ZHANG, Z.; SHI, J. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp Browning. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 4, p. 1365-1371, Apr. 2007.

FIGUEIREDO, H. R.; CARVALHO, V. R. **Alimentos funcionais: compostos bioativos e seus benefícios à saúde.** Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 9º Congresso Pós-Graduação UNIS, 2015.

FILHO, I. A. P.; CRUZ, J. C.; PACHECO, C. A. P.; COSTA, R. V. **Milho pipoca.** 2016. Disponível em:  
[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/equipe\\_editorial.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/equipe_editorial.html). Acesso em: 8 abr. 2022.

GADELHA, T. M.; COSTA, F. B.; NASCIMENTO, A. M.; SILVA, J. L.; BRITO, M. E. B. **Flavonoides e compostos fenólicos de milho verde produzido em sistema convencional de plantio.** III Simpósio Nacional de Estudos para a Produção Vegetal no Semiárido (SINPROVS), Campina Grande, 2018.



GAMARRA, F. M. C.; LEME, G. C.; TAMBOURGI, E. B.; BITTENCOURT, E.

**Extração de corantes de milho (*Zea mays* L.).** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 29, n. 1, p. 62-69, jan/mar 2009.

HAGIWARA, A. MIYASHITA, K.; NAKANISHI, T.; SANO, M.; TAMANO, S.; KADOTA T.; KODA, T.; NAKAMURA, M.; IMAIDA, K.; ITO, N.; SHIRAI, T. Pronounced inhibition by a natural anthocyanin, purple corn color, of 2-amino-1-methyl- 6-phenylimidazo [4,5-b] pyridine (PhIP)-associated colorectal carcinogenesis in male F344 rats pretreated with 1,2- dimethylhydrazine. **Cancer Letters**, v. 171, n. 1, p. 17-25, 2001.

HIDALGO, M.; MORENO, C. S.; TERESA, S. P. Flavonoid–flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. **Food Chemistry**, n. 121, p. 691–696, 2010.

KEDARE, B. S.; SINGH, R. P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. **Journal of Food Science and Technology**, p. 412-422, 2011.

HORVAT D, ŠIMIĆ G, DREZNER G, LALIĆ A, LEDENČAN T, TUČAK M, PLAVŠIĆ H, ANDRIĆ L, ZDUNIĆ Z. Phenolic Acid Profiles and Antioxidant Activity of Major Cereal Crops. **Antioxidants**. 2020; 9(6):527.

LEE, J. *et al.* Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. **Journal of AOAC international**, v. 88, n. 5, 2005.

LIMA, A. J. B. **Caracterização e atividade antioxidante de jabuticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg.].** Tese (Doutorado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 159, 2009.

LOPES, C. O.; DESSIMONI, G. V.; PINTO, N. A. V. D. Aproveitamento, composição nutricional e antinutricional da farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Alimentos e nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 669-775, out./dez. 2009.

LOUZADA, M. L. C.; MARTINS, A. P. B.; CANELA, D. S.; BARALDI, L. G.; LEVY, R. B.; CLARO, R. M.; MOUBARAC, J. C.; CANNON, G.; MONTEIRO, C. A. Alimentos ultraprocessados e perfil nutricional da dieta no Brasil. **Revista Saúde Pública**, v. 59, p. 11, 2015.

MA, L., PAUL, D. L., POTHECARY, N. M., RAILTON, C. J. Experimental validation of a combined electromagnetic and thermal ftd model of a microwave heating process. **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, v. 43, n. 11, p. 2565–2572, 1995.

MATOS, S. A.; NASCIMENTO, A. K. M.; PANZERA, A. C.; DA SILVA, M. A.; DIAS, V. N.C. F. **O ensino por investigação e a formação continuada de professores: pipoca e celular, dupla do estouro?** Associação Brasileira de Ensino de Biologia. Minas Gerais, p. 3385-3395, 2016.

MESQUITA, S. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. Carotenoides: Propriedades, Aplicações e Mercado. **Revista Virtual de Química**, v. 9, N. 2, p. 672-688, 2017.

MIRANDA, D. S.; SILVA, R. R.; TANAMATI, A. A. C.; CESTARI, L. A.; MADRONA, G. S.; SCAPIM, M. R. Avaliação da qualidade do milho-pipoca. **Revista Tecnológica**, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, p. 13-20, 2011.

MONTE, K. C.; OSUOHA, J. C.; OMORUYI, A. Otimização e Avaliação de Desempenho de Eletricidade Máquina de fazer pipoca operada. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, v. 28, n. 9, 2015.

MONTEIRO, C.; CANNON, G.; LEVY, R. B.; MOUBARAC, J.; LOUZADA, M.; RAUBER, F.; KHANDPUR, N.; CEDIEL, G.; NERI, D.; MARTINEZ-STEELE, E. Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. **Public Health Nutrition**, Cambridge University Press (CUP), v. 22, n. 5, p. 936-941, 12 fev. 2019.

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação, e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 3, n. 2, p. 109-122, 2006.

NAYAK, B., BERRIOS, JDJ, POWERS, JR, TANG, J. Efeito da extrusão na capacidade antioxidante e atributos de cor de extrudados expandidos preparados a partir de misturas de farinha de batata roxa e ervilha amarela. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 06, 2011.

OLIVEIRA, D. S. **Nova metodologia para extração de compostos fenólicos de vinho tinto e avaliação da estabilidade dos extratos obtidos**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, p. 150, 2014.

PARAGINSKI, R. T. **Efeitos da secagem e da incidência de defeitos na qualidade de grãos de milho, e do processamento na qualidade de grãos de milho pipoca**. 2014. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, p. 161, 2014.

PARAGINSKI, R. T.; SOUZA, N. L.; ALVES, G. H.; ZIEGLER, V.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Sensory and nutritional evaluation of popcorn kernels with yellow, white and red pericarps expanded in different ways. **Journal of Cereal Science**, p. 383-391, 2016.

PARK, Y. K.; IKEGAKI, M.; ABREU, J. A. S.; ALCICI, N. M. F. Estudo da preparação dos extratos de própolis e suas aplicações. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n.3, 1998.

PEREIRA, R. J.; CARDOSO, M. G. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n.4, p. 146-152, Nov. 2012.

PRADO, A. **Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais**. Dissertação [Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos] - Universidade de São Paulo, p. 107, 2009.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. S. Antioxidant Activity of Dietary Polyphenols As Determined by a Modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3396-3402, 2000.

QUEIROZ, E. R. **Frações da lichia: caracterização química e avaliação de compostos bioativos**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Agroquímica - Universidade Federal de Lavras, p. 123, 2012.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999.

ROJAS, B. B. **Diversidade e estrutura genética de variedades crioulas de milho pipoca conservadas por agricultores familiares dos municípios de Anchieta e Guaraciaba no extremo oeste de Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, p. 96, 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; **A guide to carotenoid analysis in foods**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, p. 54, 2001.

RUFFATO, S. CORRÊA, P. C. MARTINS, J. H. MANTOVANI, B. H. M. SILVA, J. N. **Efeito das condições de colheita, pré-processamento e armazenamento na qualidade do milho pipoca**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.3, p. 591-597, 2000.

SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J. MONTEIRO, S. S.; SILVA, V. M. A.; GOMES, J. P.; LUIZ, M. R.; VIEIRA, D. M. Avaliação da Degradação dos Compostos Bioativos do Fruto *Physalis* (P. peruviana) Durante o Processo de Secagem. **Research, Society and Development**, v. 9, n.1, p. 21, 2019.

SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; CASTRO, J.L.de; GALLO, P.B.; GALVÃO, J.C.C.; SAES, L.A. **Potencial de linhagens de populações locais de milho pipoca para síntese de híbridos**. *Bragantia*, v. 59, n. 2, p.143-151, 2000.

SAWAZAKI, E. **Milho pipoca**. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Goiânia: Universidade Federal de Goiânia, 2010.

SEGS – Portal Nacional de Seguros, Saúde, Veículos, Informática, Info, Ti, Educação, Eventos, Agronegócio, Economia, Turismo, Viagens, Vagas, Agro e Entretenimento - Pesquisa inédita revela potencial do mercado de pipoca no Brasil. Disponível em: < <http://www.segs.com.br/demais/178927-pesquisa-inedita-revela-potencial-do-mercado-depipoca-no-brasil> >. Acesso em: 20 maio 2021.

SGANZERLA, C.; LOPES, L. F. **Forno microondas com potência controlável.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, TCC (Graduação) Curso de Engenharia Eletrônica, Curitiba, p. 64, 2019.

SHEN, Y., JIN, L., XIAO, P., LU, Y., BAO, J. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 106-111, 2009.

SINGH, R., & RATHORE, D. (2018). Oxidative stress defence responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chilli (*Capsicum annum* L.) cultivars grown under textile effluent fertilization. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, p. 342-358, 2017.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. **Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent.** Methods in Enzymology, v. 299, p. 152-178, 1999.

SLAVIN, M., CHENG, Z., LUTHER, M., KENWORTHY, W., YU, L., 2009. Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Maryland-grown soybean lines with altered fatty acid profiles. **Food Chemistry**, v. 114, p. 20 -27, 2009.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, jan./mar. 2002.

SUCUPIRA, N. R.; SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; COSTA, J. N. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012.

TIAN, B.; XU, Z.; SUN, Z.; LIN, J.; HUA, Y. Evaluation of the antioxidant effects of carotenoids from *Deinococcus radiodurans* through targeted mutagenesis, chemiluminescence, and DNA damage analyses. **Biochimica et Biophysica Acta**, Alberta, v. 17, n. 6, p. 902-911, 2007.

UENOJO, M.; JÚNIOR, M. R. M.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

USP - Universidade de São Paulo. (2017). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA)**. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tbca/>>. Acesso em: 25/04/2022.

VAN HUNG, P. Phenolic Compounds of Cereals and Their Antioxidant Capacity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, p. 25-35, 2016.

XIA, X.; LING, W.; MA, J.; XIA, M.; HOU, M.; WANG, Q.; ZHU, H.; TANG, Z. An anthocyanin-rich extract from black rice enhances atherosclerotic plaque stabilization in apolipoprotein E-deficient mice. **Journal of Nutrition**, v. 136, p. 2220-2225, 2006.

ŽILIĆ, S.; SERPEN, A.; AKILLIOĞLU, G.; GÖKMEN, V.; VANĀETOVIĆ, J. Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 5, p. 1224-1231, 2012.