



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA  
MESTRADO EM ENERGIA

ALAN PATRICK DA SILVA SIQUEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO OTIMIZADO PARA PRODUÇÃO E  
CONSERVAÇÃO DE PIPOCA SALGADA UTILIZANDO ÁRVORE DE ESTADOS.**

SÃO MATEUS – ES

2018

ALAN PATRICK DA SILVA SIQUEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO OTIMIZADO PARA  
PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PIPOCA SALGADA UTILIZANDO  
ÁRVORE DE ESTADOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energia do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Energia, área de concentração em Engenharia, Tecnologia e Gestão.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Perini Muniz

Coorientador: Prof. Dr. José Rafael Cápua Proveti

SÃO MATEUS – ES

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)  
Bibliotecário: Filipe Briguiet Pereira – CRB-6 ES-000863/O

---

S615d Siqueira, Alan Patrick da Silva, 1981-  
Desenvolvimento de processo otimizado para produção e  
conservação de pipoca salgada utilizando árvore de estados /  
Alan Patrick da Silva Siqueira. – 2018.  
78 f. : il.

Orientador: Eduardo Perini Muniz.

Coorientador: José Rafael Cápua Proveti.

Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal  
do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Engenharia de produção. 2. Engenharia de alimentos. 3.  
Alimentos - Conservação. I. Muniz, Eduardo Perini, 1973-. II.  
Proveti, José Rafael Cápua. III. Universidade Federal do Espírito  
Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 620.9

---

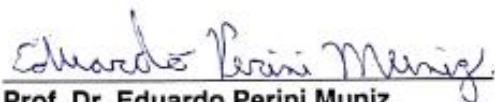
ALAN PATRICK DA SILVA SIQUEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO OTIMIZADO PARA A  
PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PIPOCA SALGADA UTILIZANDO  
ÁRVORES DE ESTADOS**

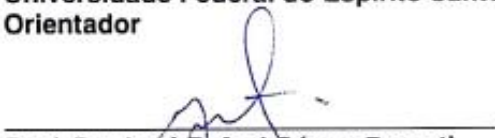
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia.

Aprovada em 20 de março de 2018.

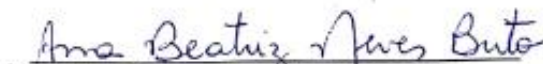
**COMISSÃO EXAMINADORA**



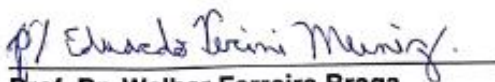
**Prof. Dr. Eduardo Perini Muniz**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



**Prof. Dr. José Rafael Cápua Proveti**  
Universidade Federal do Espírito Santo



**Profª. Drª. Ana Beatriz Neves Brito**  
Universidade Federal do Espírito Santo



**Prof. Dr. Walber Ferreira Braga**  
Universidade Federal da Integração  
Latino Americana

*“Porque DEUS amou ao mundo de tal maneira,  
que deu Seu Filho unigênito,  
para que todo aquele que nEle crer,  
não pereça, mas tenha a vida eterna.”*

*(João 3:16)*

*A Deus, criador e mantenedor da vida, doador dos dons que possuímos.*

*À minha esposa Rayani e nossas filhas, Alana e Lara Sophia, pela compreensão, amor e carinho ao longo desses anos.*

*Aos meus avós de coração, Arídia e Cel. Aristóbulo, pelo apoio e estímulo.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por todos os dons que nos concedeu, especialmente o de viver e ter esperança de dias melhores.

Ao meu orientador durante a maioria do curso, Prof. Dr. Leonardo Arrieche, pelo acolhimento do tema de pesquisa, transmissão de conhecimentos, orientações, cobranças e estímulo.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. José Rafael Cápua Proveti, pela recepção inicial ao PPGEN e especialmente por me fazer compreender a relação entre a proposta da pesquisa e eficiência energética.

Ao meu orientador para as etapas finais do programa, Prof. Dr. Eduardo Perini Muniz, especialmente em relação ao uso dos laboratórios, realização dos experimentos, análise e interpretação dos resultados.

Ao amigo e colega de trabalho, Prof. Dr. Renato Siqueira, pelas orientações na confecção da dissertação e apresentação dos resultados.

Ao Prof. Dr. Walber Ferreira Braga por ter aceito participar da banca de defesa de mestrado.

Ao Instituto federal do Espírito Santo, campus São Mateus, pela compreensão, apoio e flexibilização de horários, que possibilitaram o desenvolvimento do projeto paralelamente ao trabalho.

Aos colegas de curso do PPGEN pela cooperação, alegria, companheirismo, especialmente ao Lucas Pagoto Deoclécio e Jomar Ribeiro.

À toda a minha família e amigos pelo apoio, compreensão e incentivo durante a jornada.

## RESUMO

Este trabalho aplica a metodologia de árvore de estados para desenvolvimento de um processo de produção da pipoca salgada e sua conservação, nos critérios da eficiência energética. Os diversos níveis da árvore de estados são criados contemplando o que a literatura sugere como opção para cada etapa do processo.

As regras Heurísticas são aplicadas, a fim de obter-se um fluxograma próximo do ideal e seus vizinhos estruturais. Indica-se a melhor rota tecnológica para obtenção da pipoca salgada e conservada, segundo os seguintes critérios: qualidade, tempo de vida de prateleira, desempenho das embalagens e consumo consciente de energia.

A utilização do genótipo de milho-pipoca Zélia é apontada como a melhor opção de matéria prima. As operações subsequentes incluem a secagem solar, para adequação do teor de umidade dos grãos, aquecimento para expansão por gás liquefeito de petróleo (GLP), saborização por atomização e embalagem em plástico laminado, com atmosfera modificada.

Experimentos iniciais foram realizados com a finalidade de determinar o melhor estado da pipoca para se efetuar a embalagem, e uma vez obtido, experimentos definitivos permitiram analisar o desempenho de diferentes embalagens, em condições extremas de armazenamento, para diferentes materiais de embalagens disponíveis no mercado. Adicionalmente, foram feitos ensaios no infravermelho, comparando os espectros da pipoca e embalagens, antes e após os experimentos, proporcionando uma análise qualitativa das alterações sofridas por ambos ao longo do tempo.

**Palavras-Chave:** Pipoca salgada. Vida de prateleira. Árvore de estados. Conservação. Engenharia de alimentos. Engenharia de produção.



## ABSTRACT

This work applies the behavior tree methodology for the development of a process of salt popcorn production and its conservation, with the criteria of energy efficiency. The various levels of the behavior tree are created contemplating what the literature suggests as options for each stage of the process.

Heuristic rules are applied to obtain a flowchart close to the ideal and its structural neighbors. The best technological route to obtain the salted and preserved popcorn is indicated, according to the following criteria: quality, shelf life, packaging performance and energy-conscious consumption.

The use of the Zélia popcorn genotype is indicated as the best raw material option. Subsequent operations include solar drying, grain moisture adequacy, heating for expansion by liquefied petroleum gas (LPG), spray flavoring, and packaging in laminated plastic with modified atmosphere.

Initial experiments were carried out with the purpose of determining the best condition of the popcorn for packaging, and once obtained, definitive experiments allowed us to analyze the performance of different packages under extreme storage conditions for different packaging materials available in the market. In addition, infrared tests were performed comparing the spectra of the popcorn and packaging, before and after the experiments, providing a qualitative analysis of the changes undergone by both over time.

**Keywords:** Salt popcorn. Shelf Life. Behavior tree. Conservation. Food Engineering. Production engineering.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Milho-pipoca em corte.....	20
Figura 2.2 - Esquema da árvore de estados primitiva com os diversos subsistemas seguindo a regra de numeração horizontal para os fluxogramas .....	25
Figura 3.1 - Função Objetivo - Raiz da Árvore de Estados.....	28
Figura 3.2 - Esquema do Processo de produção da pipoca salgada conservada. ....	29
Figura 3.3 - Pipoqueira a ar quente Proctor Silex utilizada na expansão dos grãos de milho-pipoca.....	30
Figura 3.4 - Instrumentos para monitoramento da temperatura das amostras de pipoca. Sendo (a) e (b) termômetros infravermelhos e (c) câmera termográfica. ....	31
Figura 3.5 - Amostras de pipoca embaladas e seladas. ....	32
Figura 3.6 - Genótipo definido para geração das amostras .....	32
Figura 3.7 - Balança de precisão para medição de massa das amostras.....	35
Figura 4.1 - Rota tecnológica: Genótipos de milho-pipoca disponíveis ao processo.....	39
Figura 4.2 - Subsistema adequação de umidade. Com base em Celestino (2010) e Fellows (2006).....	40
Figura 4.3 - Subsistema método de expansão.....	41
Figura 4.4 - Subsistema saborização da pipoca expandida. ....	42
Figura 4.5 - Subsistema embalagem.....	44
Figura 4.6 - Árvore de estados para produção da pipoca salgada conservada. ....	45
Figura 4.7 - Fluxograma heurístico destacado em vermelho. ....	46
Figura 4.8 - Vizinho estrutural 1. ....	47
Figura 4.9 - Vizinho estrutural 2 .....	48
Figura 4.10 - Vizinho estrutural 3. ....	49
Figura 4.11 - Imagem termográfica das amostras de pipoca embaladas. ....	51
Figura 4.12 - Imagem termográfica das amostras de pipoca recém expandidas. ....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Variação da massa da pipoca desde o milho até o equilíbrio com o ambiente. ...	50
Gráfico 4.2 - Espectros das quatro diferentes amostras de pipocas expandidas, antes do empacotamento e armazenamento .....	53
Gráfico 4.3 - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e com adição posterior de tempero .....	54
Gráfico 4.4 - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e com adição posterior de tempero, com curvas sobrepostas. ....	55
Gráfico 4.5 - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e sem adição de tempero. ....	56
Gráfico 4.6 - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e sem adição de tempero sobrepostas.....	57
Gráfico 4.7 - Espectros das amostras de pipoca expandidas por fritura com imersão parcial. (a) com adição de tempero e (b) sem adição de tempero.....	58
Gráficos 4.8 - Comportamento da massa das amostras durante armazenamento. (a) PP Ar quente, (b) PEBD Ar quente, (c) LM Ar quente, (d) PP frito, (e) PEBD Frito, (f) LM Frito.....	59 e 60
Gráficos 4.9 - Variação percentual da umidade para pipoca expandida por Ar Quente armazenada em diferentes embalagens. (a) sem adição de tempero e (b) com adição de tempero. ....	63
Gráficos 4.10 - Variação percentual da umidade para pipoca expandida por fritura armazenada em diferentes embalagens: (a) sem adição de tempero e (b) com adição de tempero. ....	64
Gráficos 4.11 - Variação percentual da umidade para pipoca no tempo em diferentes embalagens: (a) LM, (b) PEBD e (c) PP. ....	66
Gráficos 4.12 - Espectros das embalagens ao início e final dos experimentos, sendo (a) Polipropileno, (b) Polietileno de baixa densidade e (c) Laminado, parte interna. ....	68 e 69

Gráfico B. 0.1 - Relação entre a massa inicial das amostras e ao ganho de umidade. .... 77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resultados de pesquisas relacionadas à conservação de snacks. ....	23
Tabela 2.2 - Umidades relativas das soluções salinas utilizadas.....	27
Tabela 3.1 - Níveis da árvore de estados.....	29
Tabela 3.2 - Abreviações utilizadas para composição dos nomes das amostras.....	34
Tabela 4.1 - Variação da massa das amostras de pipoca em gramas (g) para diferentes fases do processo de produção. ....	52
Tabela 4.2 - Resultados do armazenamento à 40 °C e 71 % de UR.....	61
Tabela 4.3 - Comparação do ganho de massa percentual médio entre todas as configurações de amostras .....	65
Tabela 4.4 - Valores calculados de umidade inicial para cada tipo e amostra. ....	67
Tabela A 0.1 - Dados mensurados e calculados ao longo do experimento .....	76

## LISTA DE ABREVIACÕES

PEBD	Polietileno de baixa densidade
PP	Polipropileno
LM	Embalagem laminada, composta de filme de PEBD e filme metálico
AQ	Expansão por ar quente
FR	Expansão por fritura com imersão parcial em óleo de soja
ST	Sem adição de tempero
CT	Com adição de tempero
FTIR	Espectrofotômetro no infravermelho com transformada de Fourier
PPGEN	Programa de Pós-Graduação em Energia
PP AQ ST 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polipropileno, expandida por ar quente e sem adição de tempero.
PP AQ CT 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polipropileno, expandida por ar quente e com adição de tempero.
PP FR ST 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polipropileno, expandida por fritura com imersão parcial em óleo de soja e sem adição de tempero.
PP FR CT 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polipropileno, expandida por fritura com imersão parcial em óleo de soja e com adição de tempero.
LM AQ ST 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem laminada, expandida por ar quente e sem adição de tempero.
LM AQ CT 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem laminada, expandida por ar quente e com adição de tempero.

LM FR ST 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem laminada, expandida por fritura com imersão parcial em óleo de soja e sem adição de tempero.
LM FR CT 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem laminada, expandida por fritura com imersão parcial em óleo de soja e com adição de tempero.
PEBD AQ ST 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polietileno de baixa densidade, expandida por ar quente e sem adição de tempero.
PEBD AQ CT 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polietileno de baixa densidade, expandida por ar quente e com adição de tempero.
PEBD FR ST 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polietileno de baixa densidade, expandida por fritura com imersão parcial em óleo de soja e sem adição de tempero.
PEBD FR CT 1, 2 e 3	Amostra de pipoca em embalagem de polietileno de baixa densidade, expandida por fritura com imersão parcial em óleo de soja e com adição de tempero.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	iviii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE ABREVIÇÕES</b> .....	xii
<b>SUMÁRIO</b> .....	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1. ASPECTOS GERAIS .....	16
1.2. OBJETIVOS E ETAPAS.....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
2.1. FORMAÇÃO DA PIPOCA.....	20
2.2. ÁRVORE DE ESTADOS.....	25
2.3. ARMAZENAMENTO EM ESTUFA.....	26
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	28
3.1. SÍNTESE DA ÁRVORE DE ESTADOS .....	28
3.2. EXPERIMENTOS PRELIMINARES .....	30
<b>3.2.1 Expansão e monitoramento da massa</b> .....	31
<b>3.2.2 Testes de embalagem</b> .....	31
3.3. EXPERIMENTOS PRINCIPAIS .....	32
<b>3.3.1. Preparo da pipoca</b> .....	32
<b>3.3.2. Adição de tempero</b> .....	33
<b>3.3.3. Embalagem</b> .....	33
<b>3.3.4. Ensaios no Infravermelho</b> .....	34



3.3.5. Pesagem inicial .....	35
3.3.6. Acondicionamento em estufa com atmosfera controlada.....	35
3.3.7. Pesagens periódicas .....	36
3.3.8. Secagem final .....	36
3.4. ANÁLISE DE DADOS .....	37
<b>4 RESULTADO: GERAÇÃO DA ÁRVORES DE ESTADOS .....</b>	<b>38</b>
4.1 SUBSISTEMAS ENVOLVIDOS.....	38
4.1.1. Rota Tecnológica .....	38
4.1.2. Subsistema para adequação de umidade .....	39
4.1.3. Subsistema Método de Expansão.....	40
4.1.4. Subsistema Saborização.....	41
4.1.5. Subsistema Conservação .....	42
4.1.6. Subsistema Embalagem .....	43
4.2 REPRESENTAÇÃO POR ÁRVORES DE ESTADOS .....	44
4.3 REGRAS HEURÍSTICAS.....	45
4.4. DEFINIÇÃO DOS VIZINHOS ESTRUTURAIIS .....	46
4.5. RESULTADOS: ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	49
4.5.1 Experimentos Iniciais.....	50
4.5.2 Experimento Principal.....	52
4.5.3 Análise das Embalagens .....	67
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>70</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>A. APÊNDICE A .....</b>	<b>76</b>
<b>B. APÊNDICE B.....</b>	<b>77</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Esse capítulo versa sobre os fatos que embasam e estimulam a pesquisa para o desenvolvimento científico do processo de produção, embalagem e armazenamento da pipoca salgada sob o ponto de vista da engenharia de processos, aqui também é descrito o objetivo do trabalho e as fases envolvidas para se atingir esses objetivos.

### 1.1. ASPECTOS GERAIS

O estilo de vida moderno, especialmente nas grandes cidades, tem alterado diversos hábitos comportamentais da população, com especial destaque para o consumo de alimentos. Atualmente, busca-se maior praticidade e agilidade, o que abre mercado para a indústria de alimentos práticos e prontos para consumo. Além disso, a crescente preocupação com a saúde direciona a indústria alimentícia para o aprimoramento de suas formulações e processos.

Na correria da jornada diária de trabalho, os alimentos industrializados vêm ao encontro da necessidade de uma alimentação rápida e prática, que possa ser carregada no “bolso”, sem necessidade de refrigeração, e que dê energia até a hora das refeições principais. Os chamados *snacks* atendem a essa necessidade da vida moderna. No entanto, são lanches muito menores que uma refeição regular e, normalmente, não são associados a uma alimentação saudável.

Esse fato está mudando gradualmente, devido a uma maior conscientização das pessoas em adquirir hábitos saudáveis e uma alimentação mais natural. Os *snacks*, historicamente, eram vendidos em carrinhos de rua, na saída de entretenimentos e em centros comerciais. Os exemplos mais notórios são o amendoim, a pipoca e os churros. Esses *snacks* antigos foram substituídos pela indústria alimentícia ao longo de décadas, por opções normalmente cheias de açúcar e gordura vegetal hidrogenada. Um exemplo são as bolachinhas recheadas, um fenômeno mercadológico nos anos de 1990, devido ao barateamento do seu processo produtivo e conveniência do transporte e consumo.

Com a conscientização por uma alimentação mais saudável, novos *snacks* têm surgido no mercado, com um apelo promocional canalizado à população que deseja ser saudável. Barras de cereais integrais com menor teor de açúcar (mas com maltodextrina na formulação), barras de frutas vermelhas secas, além de misturas de nozes e castanhas, com opções orgânicas e livres de glúten e lactose, são as estrelas da atualidade. Dentre os *snacks* antigos, o amendoim e a pipoca estão renascendo como opções para a indústria alimentícia. São alimentos integrais e sempre tiveram grande aceitação comercial.

Entretanto, a pipoca salgada, em virtude da absorção de umidade do ar em um tempo relativamente curto, perde suas características desejáveis como alimento. Assim, o seu consumo como lanche de bolso não é adequado, pois são rapidamente perdidas, já que murcham e se degradam. O seu consumo fica restrito ao preparo caseiro ou em cinemas, com opções carregadas de gordura e sal. O excesso desses últimos ingredientes diminui o seu potencial de alimento saudável. De acordo com Roger (2006), o milho é um excelente alimento e até mesmo indicado para combate a algumas enfermidades intestinais. Os benefícios da pipoca estão associados ao seu alto teor de fibras, antioxidantes, vitaminas do complexo B, e minerais como magnésio, potássio e manganês. Se bem mastigadas, para que possam ser bem digeridas, o lanche pode conter níveis ainda mais altos de antioxidantes do que algumas frutas e legumes.

Segundo Rinaldi *et al.* (2007) e Freitas Júnior *et al.* (2006), a produção americana de milho-pipoca foi superior a 500 mil ton./ano e é a maior do mundo. Cerca de 68 % dessa produção é destinada a pipoca para micro-ondas, evidenciando a busca por agilidade de preparo desse alimento. O Brasil é apontado como segundo maior produtor mundial (80 mil ton./ano), embora a produção voltada para micro-ondas não seja tão expressiva quanto a daquele país. Apesar disso, sua produção, que ainda é complementada por meio de importação, indica a potencialidade do mercado nacional de pipoca.

Estudo sobre hábitos alimentares dos americanos demonstra que salgadinhos do tipo *snacks*, feitos a partir da extrusão do milho, são relevantes para suprimento de nutrientes na dieta de americanos idosos (CLAIRE *et al.*, 2007). Recentemente houve o lançamento de pipoca salgada pronta para consumo no mercado alimentício mundial, como *snacks*, demonstrando a viabilidade de produção e conservação desse alimento. Nesse sentido, é relevante a análise da otimização de tais processos, que são o conjunto de operações necessárias para transformar/modificar as características das matérias-primas do produto final (PERLINGEIRO, 2005).

Mesmo que um produto já esteja em livre produção, depara-se com a realidade de que existem vários métodos para produzir o mesmo produto. O melhor método ainda não foi descoberto. Um trabalho não pode ser realizado em apenas uma rota tecnológica. (THAKORE e BHATT, 2007). Deve existir uma busca constante por otimização dos processos, fundamentando-se em processos anteriores, imaginação e conhecimento dos processos existentes (PERLINGEIRO, 2005). Nessa busca, o fator econômico é o que muitas vezes decide a melhor rota. (THAKORE e BHATT, 2007).

O desenvolvimento de um processo tecnicamente e economicamente viável para produzir, embalar e armazenar esse alimento, conservando e mantendo suas características originais que permita a comercialização em escala industrial, pronta para o consumo, relaciona-se diretamente com eficiência energética. Pode ser classificado como eficiência energética o processo que aumente a durabilidade de um produto, estendendo sua vida de prateleira, visando o mínimo consumo de energia e custo possível, além de excelente qualidade. Esse processo é caracterizado por diversas transformações energéticas e está associado a produção de alimento, que é combustível básico dos organismos humanos.

A matéria prima principal para a produção da pipoca salgada é o milho-pipoca, que tem sido estudado substancialmente nos últimos anos. Esses estudos mostram que um dos fatores de maior influência na capacidade de expansão do milho-pipoca é a umidade do grão e apresentam resultados que são referências para o presente trabalho. Outros fatores, como o genótipo também são considerados, por terem influência direta na obtenção de melhor índice de capacidade de expansão (ICE). Esse índice expressa numericamente a razão entre o volume da pipoca expandida e o volume das sementes de milho-pipoca que lhe deram origem, expresso em  $\text{mL} \times \text{mL}^{-1}$ , ou ainda em  $\text{g} \times \text{mL}^{-1}$ .

Adicionalmente à análise de umidade e genótipo, é estudada a forma mais eficiente e eficaz de se expandir o milho de pipoca, a que proporciona melhor expansão, relacionando-se diretamente com sua textura, aparência e sabor. Além de uma expansão eficiente, a pipoca salgada necessita de um processo de conservação e embalagem que evite a absorção da umidade do ar e a conseqüente degradação. Proporcionando maior vida de prateleira e facilitando todo o processo de logística, como armazenamento e transporte. Portanto, esse trabalho apresenta plena relevância do ponto de vista da engenharia de processos, dos critérios da eficiência energética e contribui para a busca constante de melhorias.

## 1.2. OBJETIVOS E ETAPAS

O presente trabalho aplica a técnica de desenvolvimento de árvore de estados para conceber um processo e obter o fluxograma próximo ao ótimo, para produção da pipoca salgada conservada, nos critérios da eficiência energética e qualidade. A otimização é obtida por meio dos métodos heurístico e evolutivo.

Os experimentos se concentraram no sentido de fornecer dados que permitissem selecionar a condição ótima de embalagem e o material de sua composição, proporcionando maior vida de prateleira ao menor custo possível, conforme a proposta de eficiência energética para essa situação.

Através da engenharia de processos podemos identificar uma alternativa possível para solução do problema em questão, já que as múltiplas tecnologias disponíveis podem levar a diversas soluções. Para se atingir a proposta desse estudo, foram definidas as seguintes fases:

1. Seleção da matéria prima a ser estudada e o produto desejado;
2. Estudo dos subsistemas envolvidos no processo de confecção e armazenamento da pipoca salgada;
3. Elaboração da árvore de estados;
4. Experimentos preliminares para: ratificar a absorção de umidade pela pipoca expandida, definição da condição ideal de empacotamento, confirmação da capacidade de mensurar as grandezas envolvidas, material a ser utilizado como embalagem e instrumentos para monitoramento das variáveis;
5. Experimentos definitivos para avaliar o desempenho das embalagens;
6. Aplicação de regras heurísticas para definição do fluxograma próximo ao ideal;
7. Sinalização dos vizinhos estruturais (método evolutivo).

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção são expostos dados de trabalhos que se relacionam com tema pesquisado e contribuem para melhor compreensão do objeto de estudo e as atividades envolvidas.

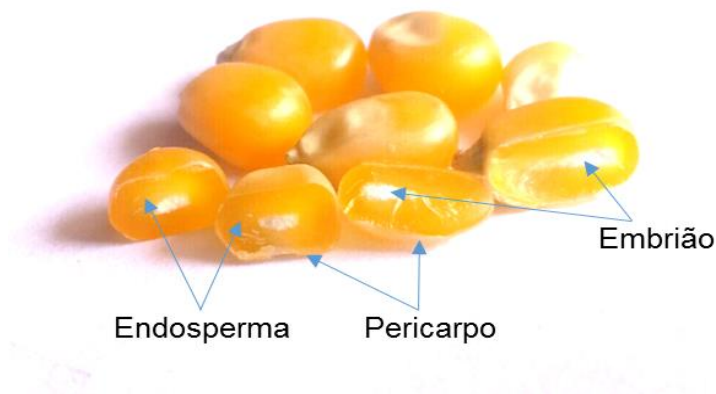
Diversas referências serão aqui apresentadas para subsidiar as decisões tomadas em cada subnível da árvore de estados. Em cada caso, as informações relevantes àquela etapa, serão referenciadas, justificando as escolhas realizadas.

#### 2.1. FORMAÇÃO DA PIPOCA

O milho-pipoca, mesmo em suas variedades, é diferente dos outros genótipos de milho que são consumidos cozidos, assados, triturados, etc. Possui características peculiares que permitem a formação da pipoca. Seu tamanho é menor que o milho convencional, possui certa quantidade de amido e umidade em seu interior e tem o pericarpo mais duro e resistente.

A Figura 2.1 apresenta o milho-pipoca em corte e inteiro, identificando as principais partes de sua composição física.

**Figura 2.1** - Milho-pipoca em corte.



**Fonte:** O autor.

Devido às constantes pesquisas com milho-pipoca e conseqüente surgimento de novos genótipos, oriundos de modificações genéticas e cruzamento entre diversidades, há a necessidade de avaliação constante do desempenho dessas variações da espécie. Um parâmetro que, repetidas vezes, tem sido avaliado e ratificada sua influência sobre a qualidade da pipoca é o teor de umidade do grão de milho, antes do processo de expansão. Isso porque a umidade do interior do grão, submetida à alta temperatura (superior a 180 °C) transforma-se em vapor, elevando a pressão interna, que é contida pelo pericarpo, até ao ponto de sua ruptura. Esse efeito de aumento de pressão a alta temperatura equivale a um processo de extrusão do amido, pois quando o pericarpo se rompe, atinge-se novamente a pressão atmosférica e os vapores se expandem gerando a pipoca. Pericarpos de baixa qualidade ou danificados por trincas e furos não suportam a elevação da pressão interna e conseqüentemente geram os grãos não “estourados”, popularmente conhecidos como “piruás”. (BRACCINI *et al.*, 2005)

Atualmente, existe disponibilidade das seguintes cultivares de milho-pipoca no mercado de sementes:

- Variedade RS 20, de grãos tipo pérola amarelo alaranjado;
- Híbridos IAC 112 grãos tipo pérola, de cores laranja brilhante e laranja forte;
- IAC 125, grãos tipo pérola, de cores laranja brilhante e laranja forte;
- Híbrido Zélia, de cor amarela, e
- Híbrido Jade, de cor amarela. (Embrapa, 2016)

A análise de desempenho de três genótipos: BRS – ângela, IAC – 112 e Zélia foi realizada, indicando melhor desempenho para o genótipo Híbrido Zélia. (BRACCINI *et al.*, 2005)

Há registro de dezenas de variações de milho-pipoca, muitas delas patenteadas e de propriedade de empresas privadas, entretanto muitas não se tornam economicamente viáveis, devido ao baixo desempenho ou pouca resistência às pragas que afetam as plantações.

Para que um processo seja viável é fundamental que a matéria prima esteja disponível e seja de boa qualidade, com logística favorável. Os resultados de avaliação de desempenho apresentados, apontam o genótipo híbrido Zélia com os melhores resultados, além de ser um genótipo com produção nacional e disponibilidade no mercado. (EMBRAPA, 2016)

Para se obter um produto de qualidade e avaliar seu desempenho, nesse quesito, é importante ressaltar o que alguns estudos têm revelado. O principal parâmetro de desempenho definido para a pipoca é a capacidade de expansão (CE) e se relaciona diretamente com o sabor, a textura e a aparência. O CE está relacionado à crocância da pipoca. Para pesquisa realizada sobre aceitação de algumas espécies de milho-pipoca comercializados no Brasil e alguns híbridos produzidos em laboratórios de universidades, em média, as notas na análise sensorial foram “gostei moderadamente”, revelando boa aceitação das amostras. (DORACI *et al.*, 2011)

Outro fator avaliado é a pressão da atmosfera em que ocorre a expansão. Há influência da pressão sobre a expansão e grãos não estourados, quanto menor a pressão externa, melhor é o desempenho do milho-pipoca e menor a quantidade de grãos não “estourados”. (QUINN *et al.*, 2005).

Avaliando métodos efetivos de promover a expansão e que permitissem a classificação da qualidade do milho, Matta e Viana (2001) concluíram que pipocadores a ar quente e microondas podem ser utilizados para avaliação de CE. Shimoni *et al.* (2002) utilizaram um pipocador a ar quente e obtiveram expansão máxima de 47,9 mL/g, que é um excelente resultado. Em diversos experimentos se utilizou a pipoqueira elétrica com controle de temperatura desenvolvida pela EMBRAPA com a umidade dos grãos, antes do estouro, ajustada para 13%. As amostras foram submetidas a uma temperatura constante de 280 °C por um período de dois minutos (DORACI *et al.*, 2011). Outro estudo sobre diferentes métodos de coqueição apresenta a vantagem de se utilizar o GLP (gás liquefeito de petróleo) como combustível (PATEL *et al.*, 2016).

A análise de diferentes marcas de milho para pipoca comercializados no Brasil revelou teor de umidade entre 11,66 %  $\pm$  0,24 à 12,17 %  $\pm$  0,25 e índice de expansão de 38,5 a 40,0 g<sup>-1</sup> mL (DORACI *et al.*, 2011);

A secagem do milho-pipoca é mais crítica do que a secagem de milho comum, pois pode ocorrer a redução na sua capacidade de expansão em face do aumento da temperatura de secagem e do teor de umidade inicial dos grãos (na ocasião da colheita). Caso a secagem ocorra de forma rápida (em altas temperaturas) e seguida de um resfriamento rápido, podem ocorrer trincas internas no endosperma dos grãos (SAWASAKI, 1986);



A formação de trincas nos grãos é, em geral, influenciada por diversos fatores como os teores de umidade inicial e final dos grãos, o método de secagem, a temperatura do ar de secagem e o tipo de milho (KRUG *et al.*, 1996);

Avaliação de 5 genótipos variando a umidade de 8 a 20% mostrou que a 14% obteve melhor desempenho, maior expansão e menor quantidade de grãos não estourados. (GOKMEN, 2004)

Para o milho amarelo: O calor isostérico líquido aumenta com a diminuição da umidade e diminui com o aumento da temperatura. O calor isostérico líquido também é maior para a dessorção do que a adsorção a baixos teores de umidade. (SAMAPUNDO *et al.*, 2006);

Variou-se a umidade de 6,7 a 16,5 % e se obteve melhor resultado com 15,5 % de umidade (SHIMONI, 2002), e o grau ótimo de umidade para a obtenção da máxima expansão é de 12,8 % para BRS-Ângela, 13,1 % para IAC-112 e 12,7 % para Zélia. A umidade de 13 %, que coincide com o teor de água com que o milho é comercializado, é a melhor umidade para embalar sementes de milho-pipoca (BRACCINI *et al.*, 2005).

Como pode ser observado nos resultados listados, há variação do teor de umidade adequado a cada genótipo e, portanto, para que o processo de produção de pipoca salgada seja otimizado, faz-se necessário inserir a etapa de adequação da umidade do grão ao nível ideal. Isso é necessário não apenas para proporcionar melhor expansão, mas também auxiliar na conservação dos grãos. A redução de água livre do alimento eleva a pressão osmótica de seu meio e, conseqüentemente, a proliferação de microrganismos é contida. Em adição, também nessa situação, enzimas que provocam alterações perdem sua atividade (EVANGELISTA, 2008).

Para o processo de secagem dos grãos, há diversas opções. Entretanto, alguns fatores devem ser considerados antes da escolha efetiva do método a ser utilizado. Os grãos de milho-pipoca não podem sofrer abrasão ou serem expostos à elevada pressão, pois isso danificaria seu pericarpo e afetaria negativamente o desempenho, gerando menor expansão e maior quantidade de grãos não expandidos. Um efeito também nocivo para esses grãos é a variação brusca de temperatura ou a exposição a temperaturas de secagem elevadas.

Tomando como base as limitações mencionadas, pode-se restringir os diversos meios de secagem propostos por Celestino (2010) e Fellows (2006) às cinco opções seguintes: Secador de bandeja com convecção forçada, Secador solar, Estufa de secagem com convecção natural, Secador de tambor rotativo e Secador de leito de partículas móveis.

Estudos demonstram que saborizar durante a expansão afeta a capacidade de expansão da pipoca, gerando flocos menores e impregnados com pedaços do pericarpo, além de aumentar a quantidade de grãos não expandidos (GOKMEN, 2004). Adicionalmente à influência negativa sobre a expansão, saborizar nesse momento também impede que se use uma forma de expansão em batelada, para grandes quantidades e, em seguida, se tenha variação de sabores. A expansão da pipoca em grandes quantidades reduz o custo de produção e o consumo de combustível, favorecendo maior eficiência energética nessa etapa do processo.

**Tabela 2.1** - Resultados de pesquisas relacionadas à conservação de *snacks*.

**Pesquisas relacionadas à conservação de alimentos à base de milho**

<b>Resultado</b>	<b>Autor - Ano</b>
<i>Snacks</i> extrudados são menos higroscópicos a temperaturas mais elevadas.	WANI e KUMAR, 2016
A umidade é uma variável que afeta a crocância dos <i>snacks</i> , especialmente quando maior que 4%.	MAZUMDER <i>et al.</i> , 2007
A oxidação de lipídios ou ranço é também um problema recorrente na tentativa de preservação de produtos alimentícios ricos em gordura.	BECHTEL, 2002; BELITZ <i>et al.</i> , 2009
A rancidez também pode levar à descoloração e à fraca aparência visual.	BELITZ <i>et al.</i> , 2009
Existe uma correlação direta entre a oxidação lipídica e as alterações sensoriais dos produtos de lanche durante o tempo de armazenamento.	TIWARI <i>et al.</i> , 2011
A aplicação de antioxidantes naturais em produtos de lanche, para prevenir ou reduzir a oxidação lipídica e preservar a qualidade sensorial dos produtos é recomendada para reduzir os problemas	SHAVIKLO <i>et al.</i> , 2011

**Fonte:** O autor.

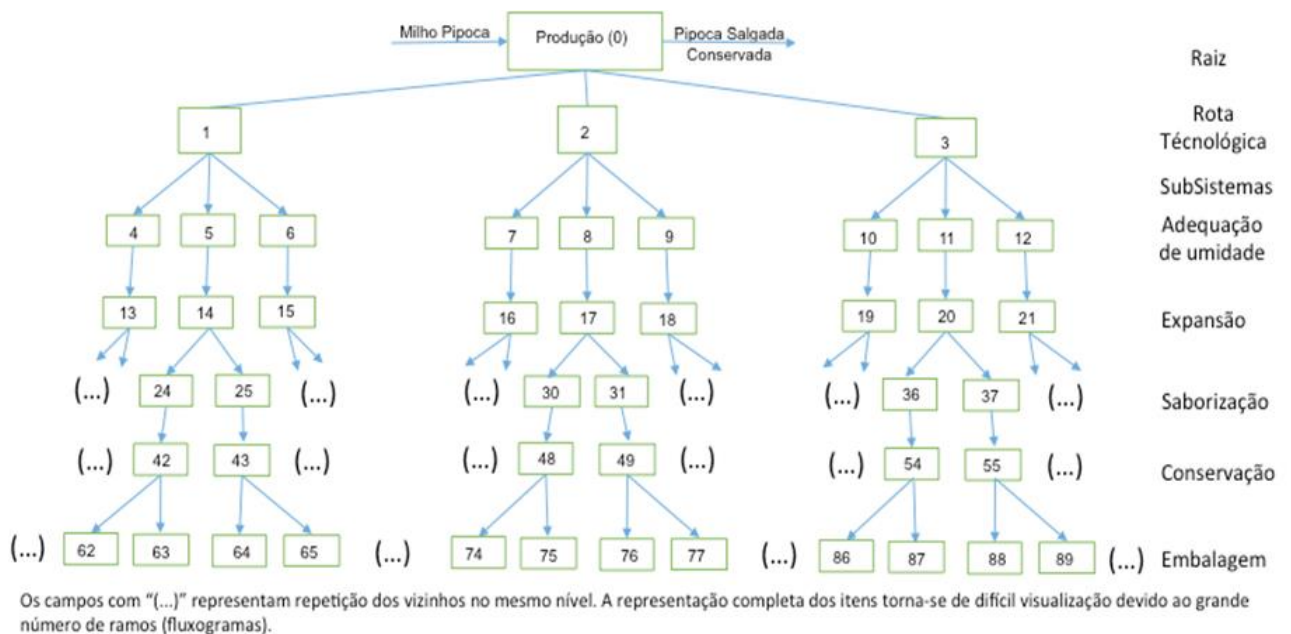
Uma vez que a pipoca esteja expandida, inicia-se o processo de retrogradação do amido, que se encontra exposto a uma atmosfera rica em umidade. Logo, estudos têm sido realizados sobre armazenagem de *snacks* de milho extrudados (SHAVIKLO *et al.*, 2015), e o calor

isostérico líquido para a desorção e adsorção do milho (SAMAPUNDO *et al.*, 2006). A oxidação de lipídios é também um problema importante na preservação de produtos alimentícios ricos em gordura (BECHTEL, 2002; BELITZ *et al.*, 2009). Estudos nesse sentido têm permitido melhor conhecimento e mapeamento desse processo de degradação, como pode ser visualizado na Tabela 2.1.

## 2.2. ÁRVORE DE ESTADOS

A árvore de estados (Figura 2.2) é uma técnica que permite o desenvolvimento de fluxogramas ótimos para execução de determinado processo, considerando as diversas possibilidades de equipamentos em cada etapa. Cada uma dessas etapas recebe o nome de subnível da árvore de estados. A raiz da árvore apresenta a função objetivo e corresponde ao nível “0”. (MENEGUELO *et. al.* 2016)

**Figura 2.2** - Esquema da árvore de estados primitiva com os diversos subsistemas seguindo a regra de numeração horizontal para os fluxogramas.



**Fonte:** O autor.

Para Perlingeiro (2005), mediante a aplicação das regras heurísticas pode-se, baseando-se em bibliografias, nas experiências e práticas de um determinado processo, respeitando a

função objetivo, e os critérios para obtenção de um processo ótimo em cada nível, selecionar um fluxograma apontado como referência, ou que mais se aproxime do ideal, para, a partir dele, encontrar os vizinhos estruturais, que serão alternativas do fluxograma referência para aquele processo, diferindo apenas em algum nível do ideal.

A Figura 2.2 é uma etapa primária de desenvolvimento da árvore de estados. O seu completo desenvolvimento, com o detalhamento dos processos envolvidos em cada subsistema e os dados da literatura que embasaram as regras Heurísticas na definição do que seria a melhor alternativa em cada caso, são apresentados no capítulo geração da árvore de estados.

### 2.3. ARMAZENAMENTO EM ESTUFA

Para o estudo em questão foi necessário prover um ambiente com temperatura e umidade controlados e a estufa foi o equipamento utilizado. Entretanto, havia a necessidade de se controlar a umidade no interior da estufa e dentre os métodos diretos e indiretos usuais para a determinação da umidade de equilíbrio tem-se o método gravimétrico estático. Neste método direto, a temperatura e a atividade da água contida no ar são mantidas constantes até que o conteúdo de umidade da amostra atinja o valor de equilíbrio. O uso de soluções salinas é mais comum devido a segurança no manuseio e pela maior facilidade em manter a umidade relativa constante. Se ocorrer evaporação da água, certa quantidade do sal em solução precipita, mas a umidade relativa não varia, pois, a solução continua saturada. Se a solução saturada ganhar umidade do ar, a quantidade de sal deixada em excesso no fundo do recipiente garante a saturação da solução. Nesse caso, a umidade absorvida do ar solubilizará esse sal precipitado (LABUZZA *et al.*, 1985).

Soluções salinas distintas proporcionaram diferentes valores de umidades relativas a cada valor de temperatura utilizada. As soluções salinas e suas respectivas umidades relativas, em função da temperatura, estão relacionadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2** - Umidades relativas das soluções salinas utilizadas.

<b>Solução Salina</b>	<b>25°C</b>	<b>30°C</b>	<b>40°C</b>	<b>45°C</b>	<b>50°C</b>
LiCl	0,113	0,113	0,112	0,111	0,111
CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> K	0,225	0,216	0,204	0,195	0,192
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,328	0,324	0,318	0,314	0,312
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,437	0,435	0,432	0,431	0,429
NaNO <sub>2</sub>	0,645	0,635	0,616	0,603	0,597
NaCl	0,753	0,750	0,748	0,747	0,746
KCl	0,843	0,834	0,818	0,808	0,802

**Fonte:** (LABUZZA *et al.*, 1985).

As informações obtidas por essa revisão bibliográfica resumem os resultados de trabalhos, até o momento, que se relacionam com a pesquisa aqui desenvolvida e fornecem subsídio teórico para os experimentos. Descrevem o estado da arte para o milho-pipoca e a produção de *snacks*, tendo-o como matéria prima. Esses resultados embasarão a pesquisa para o desenvolvimento da árvore de estados e permitirão a definição do fluxograma heurístico, além da definição dos vizinhos estruturais, que representarão os processos alternativos para a produção da pipoca salgada e sua adequada embalagem.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

Para obtenção da pipoca salgada com vida de prateleira longa o suficiente, que permita todos os trâmites da logística, desde a produção até o consumo final, nos critérios propostos nesse trabalho, foi decidido aplicar a técnica de árvore de estados para estabelecer um fluxograma que se aproximasse do ideal aplicado a esse processo. Portanto, a primeira etapa da metodologia foi realizar a síntese da árvore de estados.

Adicionalmente, foram realizados experimentos preliminares, como segunda etapa, com a função de identificar alteração da massa devido à absorção de umidade e à capacidade de se mensurar esse fenômeno. Nessa etapa, buscou-se também definir uma temperatura adequada para empacotamento da pipoca expandida.

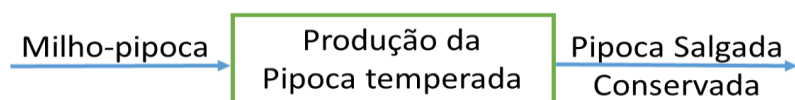
Os experimentos principais se concentraram em comparar o desempenho de diferentes materiais usados como embalagem na conservação do produto, sob condições extremas de armazenamento. Paralelamente foi verificada a influência do método de expansão, da massa inicial e da adição ou não de tempero sobre a absorção de umidade pela pipoca.

Os dados obtidos nos experimentos são analisados e discutidos, como quarta etapa, evidenciando as conclusões que foram possíveis e suas implicações sobre as regras heurísticas até então assumidas.

#### 3.1. SÍNTESE DA ÁRVORE DE ESTADOS

A função objetivo dessa árvore de estados pode ser visualizada na Figura 3.1.

**Figura 3.1** - Função Objetivo - Raiz da Árvore de Estados.

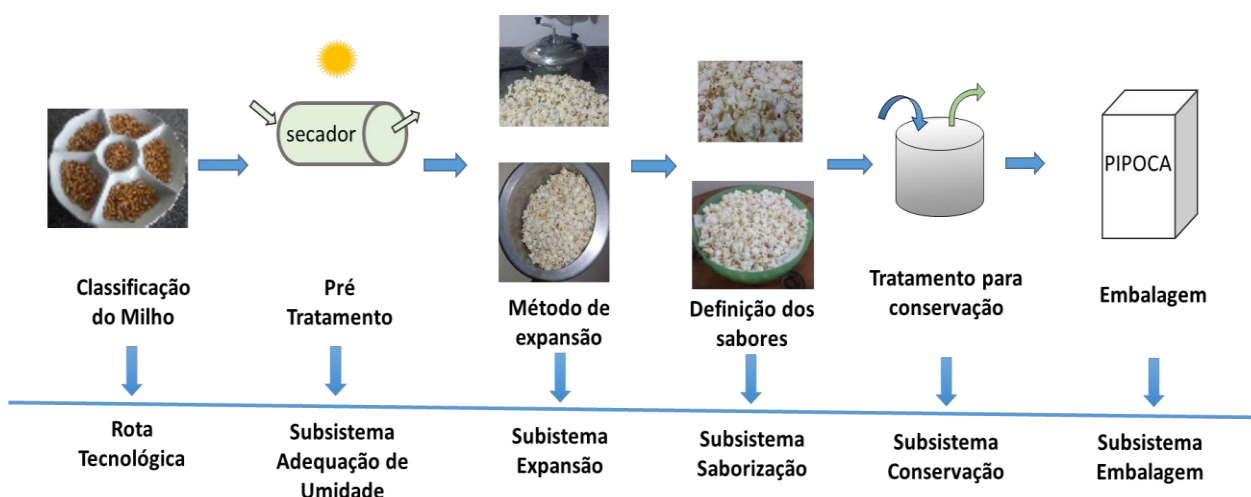


**Fonte:** O autor.

A metodologia consistirá em definir os subsistemas aplicáveis ao processo de produção da pipoca salgada conservada, mediante revisão bibliográfica, definir os tipos de processos e equipamentos que podem ser aplicados ao estudo em cada etapa; criação da árvore de estados; aplicação das regras Heurísticas para seleção do fluxograma próximo ao ótimo; e finalmente, a definição dos vizinhos estruturais, que também podem ser soluções plausíveis.

Para se atingir o objetivo, as etapas envolvidas foram identificadas mediante a pesquisa bibliográfica e a experiência, conforme ilustra a Figura 3.2, em que é possível visualizar a rota tecnológica e os diversos subsistemas envolvidos.

**Figura 3.2** - Esquema do Processo de produção da pipoca salgada conservada.



**Fonte:** O autor.

Portanto, a árvore de estados terá os níveis e a estrutura representados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Níveis da árvore de estados.

Pipoca Salgada Conservada
Rota Tecnológica
Subsistema - Adequação de Umidade
Subsistema - Expansão
Subsistema - Saborização
Subsistema - Conservação
Subsistema - Embalagem

**Fonte:** O autor.

### 3.2. EXPERIMENTOS PRELIMINARES

Foram realizados experimentos prévios afim de se obter dados que permitissem o planejamento dos experimentos principais e ratificar a absorção de umidade pela pipoca expandida, definir a condição ideal de empacotamento, confirmar a capacidade de mensurar as grandezas envolvidas, materiais a serem utilizados como embalagem e instrumentos para monitoramento das variáveis.

Os grãos de milho-pipoca foram expandidos em pipoqueira de ar quente da marca Proctor Silex com potência de 1250 W, mostrada na Figura 3.3.

**Figura 3.3** - Pipoqueira a ar quente Proctor Silex utilizada na expansão dos grãos de milho-pipoca.



**Fonte:** O autor.

A temperatura das amostras foi medida por termômetro infravermelho, que embora possua baixa acurácia,  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ , fornece resposta de leitura praticamente imediata, necessária a realidade da pesquisa em questão. Uma imagem e registro da distribuição de temperatura logo após a embalagem foi gerada através de uma câmera termográfica marca TESTO modelo 880, a Figura 3.4 mostra os instrumentos utilizados na medição de temperatura.



**Figura 3.4** - Instrumentos para monitoramento da temperatura das amostras de pipoca. Sendo (a) e (b) termômetros infravermelhos e (c) câmera termográfica.



Fonte: O autor.

### 3.2.1 Expansão e monitoramento da massa

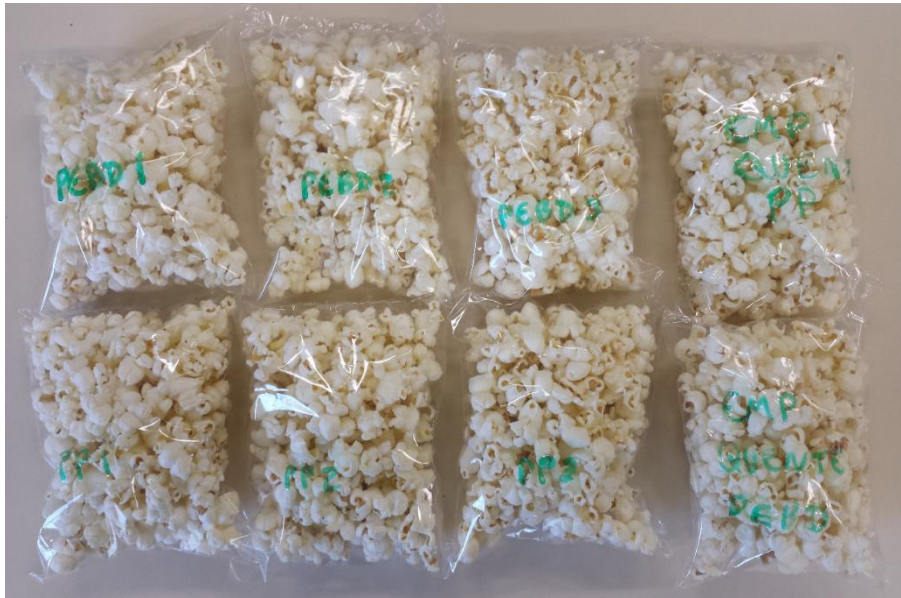
Para obter informações sobre o estado ideal em que se efetuar a embalagem, foram monitoradas a temperatura e a massa da pipoca quente, realizando resfriamento natural por exposição ao ar ambiente (com temperatura e umidade relativas de 25 °C e 75%, respectivamente) sobre balança de precisão e com leitura de termômetro infravermelho. O procedimento foi filmado para registrar a variação da massa e temperatura no tempo e determinar até que ponto a umidade evapora e a partir de qual temperatura a pipoca volta a absorver umidade do ar, aumentando sua massa. O procedimento foi realizado em triplicata.

Através desse procedimento esperava-se obter o ponto ideal para embalagem da pipoca, uma vez que o ponto de menor massa deveria coincidir com o de menor teor de umidade, principal fator de redução da vida de prateleira.

### 3.2.2 Testes de embalagem

As pipocas expandidas ao ar quente foram acondicionadas e seladas em embalagens PEBD e PP, com o menor volume possível, apenas o suficiente para contê-las sem deformá-las. Foram produzidas e monitoradas oito amostras, sendo 6 com foco no ganho de massa e as outras 2 para verificação da possibilidade de realizar a embalagem a quente e monitoramento do aspecto da superfície da embalagem quanto às deformações e acúmulo de vapor de água internamente. As amostras podem ser visualizadas na Figura 3.5.

**Figura 3.5** - Amostras de pipoca embaladas e seladas.



Fonte: O autor.

### 3.3. EXPERIMENTOS PRINCIPAIS

Consistiram em preparo da pipoca, adição de tempero, embalagem, pesagem inicial, ensaios iniciais no infravermelho, acondicionamento em estufa com atmosfera controlada, pesagens periódicas, ensaios finais no infravermelho e secagem para determinação da massa de sólido seco.

#### 3.3.1. Preparo da pipoca

Foi realizada a expansão do genótipo com as seguintes características: Grupo: duro, Classe: amarelo, Tipo: 1, conforme ilustra a Figura 3.6, porque apresenta reconhecida qualidade, sabor e está disponível nos mercados da região a um custo acessível.

**Figura 3.6** - Genótipo definido para geração das amostras.



Fonte: O autor.

A expansão se deu por dois métodos: fritura por imersão parcial em óleo de soja refinado e aquecimento a GLP em pipoqueira manual e por ar quente.

### **3.3.2. Adição de tempero**

Essa etapa consistiu em adicionar à parte da pipoca recém expandida, tempero pronto para o consumo, comercializado comumente em supermercados. A composição do tempero era de: Sal, farinha de milho enriquecida com ferro e ácido fólico, salsa, manjerona, óleo vegetal de palma, pimenta-do-reino, condimento preparado de alho-poró, condimento preparado de aipo, cebola, alho, realçador de sabor glutamato monossódico, antiemético dióxido de silício, acidulante ácido cítrico e aromatizantes. Com a finalidade de produzir amostras temperadas e não temperadas, dos diferentes métodos de expansão. O objetivo foi identificar se a adição de tempero influencia no processo de absorção da umidade pela pipoca.

### **3.3.3. Embalagem**

Após a expansão, as pipocas foram imediatamente acondicionadas em embalagens PP (polipropileno), PEBD (polietileno de baixa densidade) e Laminadas de PEBD + metal (laminado de polietileno de baixa densidade com filme metálico). Em seguida, as embalagens de PP e PEBD foram lacradas com auxílio de seladora manual marca PLASMAQ modelo SMC 30 com potência de 130 W. As embalagens laminadas foram seladas através do fecho *zip lock*, já presente nas mesmas. A selagem proporcionada pelo *zip lock* foi testada previamente e se mostrou eficiente para impedir o fluxo de ar ou água por seu intermédio. A quantidade de pipoca em cada embalagem foi diferente, com massas variando entre 10 e 20 g aproximadamente. Variando-se o material da embalagem, o método de expansão e a adição, ou não, de tempero, foram produzidas 12 amostras diferentes. Como os experimentos foram realizados em triplicata, chegou-se a 36 amostras no total.

As amostras foram identificadas de acordo com o seguinte critério: material da embalagem / método de expansão / adição de tempero / N° sequencial.

A Tabela 3.2 mostra as abreviações utilizadas e seu significado para a composição dos nomes das amostras.

**Tabela 3.2** - Abreviações utilizadas para composição dos nomes das amostras

Abreviação	Significado
LM	Laminado (composição de filmes de PEBD + metálico)
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PP	Polipropileno
AQ	Expansão por Ar Quente
FR	Expansão por fritura com imersão parcial
ST	Sem tempero
CT	Com tempero

**Fonte:** O autor.

Sendo assim, a amostra PP AQ ST 1 significa: amostra de pipoca armazenada em polipropileno, expandida por ar quente, sem adição de tempero e é a número 1 com essa característica. Além da primeira, tem-se a PP AQ ST 2 e a PP AQ ST 3.

A Tabela A 0.1, no apêndice A relaciona todas as amostras e os dados característicos de cada uma ao longo do experimento.

### 3.3.4. Ensaios no Infravermelho

Ao se produzir as amostras de pipoca principais, foram separadas amostras extras para serem analisadas ao FTIR (Espectrofotômetro no infravermelho com transformada de Fourier) e registrar-se o espectro de cada tipo de pipoca produzido no experimento. O instrumento utilizado foi um Espectrofotômetro no Infravermelho com Transformada de Fourier ou FTIR (*Fourier Transformad Infrared*) da marca *Cary 630 FTIR Agilent Technologies*, trabalhando na escala espectral de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com pelo menos 20 scans e 2  $\text{cm}^{-1}$  de precisão. Utilizou-se o acessório de reflexão total atenuada (ATR – *attenuated total reflection*) com cristal de diamante.

Foram produzidas quatro amostras, sendo elas: Expansão por ar quente, sem tempero; expansão por ar quente, com tempero; expansão por fritura com imersão parcial sem tempero e expansão por fritura com imersão parcial com tempero.

Os diferentes espectros gerados para uma mesma amostra foram combinados para se gerar um espectro médio e permitir a comparação com o espectro médio gerado ao final do experimento, possibilitando uma análise qualitativa da composição da pipoca e sua alteração ao final do tempo de armazenamento.

As embalagens também foram ensaiadas no FTIR, sendo realizados pelo menos três ensaios para cada material de embalagem, com pelo menos 20 *scans*. Os ensaios foram

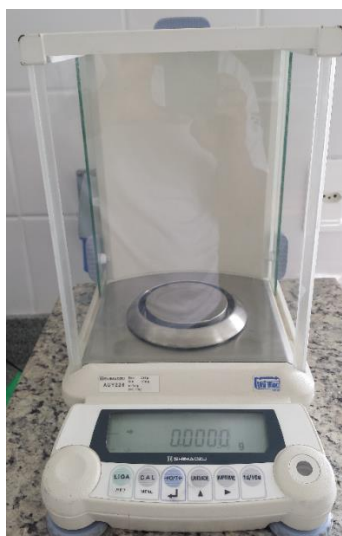
realizados antes do armazenamento em estufa e após o armazenamento, para comparar os espectros médios inicial e final e detectar possíveis reações ou alterações do material durante o armazenamento nas condições do experimento. Os espectros comparando os resultados obtidos serão apresentados no capítulo quatro, juntamente com os outros resultados dessa análise.

### 3.3.5. Pesagem inicial

Devidamente acondicionadas nas diversas embalagens, as amostras foram pesadas, para medição da massa inicial. Esse foi o principal parâmetro monitorado ao longo do tempo para determinar o desempenho das embalagens.

O instrumento utilizado foi uma balança de precisão, conforme Figura 3.7, da marca Shimadzu, modelo AUY220, com precisão de 1mg e faixa de medição entre 10 mg e 220 g, instalada no laboratório de caracterização química de materiais, no prédio do PPGEN.

**Figura 3.7** - Balança de precisão para medição de massa das amostras



**Fonte:** O autor.

### 3.3.6. Acondicionamento em estufa com atmosfera controlada

Para simular uma condição de armazenamento extrema, as amostras foram acondicionadas em estufa, sob temperatura de  $40,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de aproximadamente  $70,9\% \pm 3,5\%$ . Essa condição foi mantida pelo método gravimétrico estático, através de uma solução saturada de cloreto de potássio, conforme proposto por Labuzza *et al.* (1985). A escolha da temperatura e umidade, assim como parte dos

experimentos definitivos, está baseada no trabalho de Flores *et al.* (2015) que estudou a influência do fenômeno de sorção de água na vida de prateleira de *snacks* da terceira geração, e em condições climáticas similares às de nossa região geográfica.

### 3.3.7. Pesagens periódicas

A medição da massa foi realizada diariamente nos primeiros dias e após 10 dias passou a ser realizada a cada dois dias e a partir do 25º dia foi estendida para uma semana, por se verificar a estabilização das amostras. Foi utilizada a balança de precisão do laboratório de caracterização física dos materiais, no prédio do PPGEN, que se encontrava ao lado da estufa e facilitou a logística, além de reduzir interferências sobre as amostras.

Devido à diferença entre a massa inicial das amostras, para tornar possível a comparação entre elas, os dados medidos foram normalizados e calculado o ganho de massa percentual, conforme a Equação 1.

Onde:

$$GM = \frac{(M_a - M_i)}{(M_i)} \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

$GM$  = ganho de massa percentual (%)

$M_a$  = massa de pipoca no momento da medição (g)

$M_i$  = massa de pipoca no início do experimento (g)

### 3.3.8. Secagem final

Após a estabilização das amostras, as embalagens foram abertas, as pipocas acondicionadas em novo recipiente que permitisse a secagem em estufa e ensaiadas no FTIR.

As embalagens iniciais e as utilizadas para a secagem foram pesadas no início e fim dos processos, de forma a se detectar variações em suas massas. As pipocas foram submetidas ao processo de secagem por 24 horas à temperatura de 105 °C e tiveram sua massa medida ao término da secagem, para se determinar a massa de sólido seco de cada amostra e a partir destas, calcular o teor inicial de umidade. A Equação para cálculo do teor inicial de umidade foi a Equação 2.

$$U_i = \frac{(M_i - M_{SS})}{(M_i)} \cdot 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$U_i$  = umidade inicial da pipoca (%)

$M_i$  = massa de pipoca no início do experimento (g)

$M_{SS}$  = massa de pipoca após a secagem – sólido seco (g)

### 3.4. ANÁLISE DE DADOS

As medições realizadas ao longo do tempo para monitorar o ganho de umidade pelas amostras forneceram dados que estão devidamente tabulados, tratados e apresentados no capítulo 4: Resultados: Análise Experimental. Permitindo o refinamento nas regras Heurísticas empregadas na construção da árvore de estados desse trabalho.

Para cálculo do desvio padrão entre os valores obtidos em cada caso analisado foi utilizada a Equação 3.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$S$  = desvio padrão

$n$  = tamanho da amostra

$\bar{x}$  = média da amostra

$x$  = valor da amostra

## CAPÍTULO 4

### RESULTADO: GERAÇÃO DA ÁRVORES DE ESTADOS

A síntese de um processo está baseada na seleção dos equipamentos e definição do fluxograma-base que trace o caminho entre a matéria prima e o produto desejado. Existem diversas respostas para essa questão. Para uma análise mais completa das tecnologias a serem empregadas nas fases do processo estudado, foi sistematizado, por meio da construção de uma árvore de estados, a representação de todas as rotas tecnológicas, subsistemas, e as alternativas em cada um deles, conforme pesquisa na literatura.

#### 4.1 SUBSISTEMAS ENVOLVIDOS

##### 4.1.1. Rota Tecnológica

Para o processo em questão, a rota tecnológica relaciona-se aos tipos de genótipos disponíveis para gerar a pipoca. Temos disponíveis as seguintes variedades: RS 20, Híbridos IAC 112, IAC 125, Híbrido Zélia e o Híbrido Jade. De acordo com pesquisas realizadas pela EMBRAPA (EMBRAPA, 2016), o genótipo híbrido Zélia apresentou melhor desempenho quando comparado aos outros disponíveis no mercado, além de ser um genótipo com produção nacional e disponibilidade de mercado.

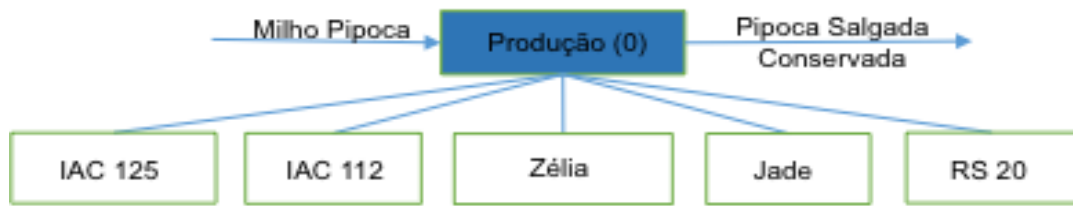
O trabalho de Braccini (2005), avaliando os genótipos BRS – ângela, IAC – 112 e Zélia, também indicou melhor desempenho para o genótipo Híbrido Zélia.

Dessa forma, o genótipo Híbrido Zélia figura como melhor rota tecnológica.

Na Figura 4.1 é mostrado um esquema com as rotas tecnológicas disponíveis para confecção da árvore de estados.



**Figura 4.1** - Rota tecnológica: Genótipos de milho-pipoca disponíveis ao processo.



**Fonte:** O autor.

#### 4.1.2. Subsistema para adequação de umidade

A qualidade do milho-pipoca depende substancialmente do teor de umidade desse grão, pois como descrito anteriormente, a umidade participará diretamente no processo de expansão. Desse modo, trabalhos recentes se propuseram a estudar o assunto, obtendo resultados expressivos que foram apresentados na revisão bibliográfica e justificam a inserção de um sistema que adeque a umidade dos grãos para melhor eficiência do processo de expansão.

Como a proposta desse trabalho se parametriza por critérios da eficiência energética e custo, deve-se selecionar o secador que atenda à demanda requerida com menor consumo de energia e custo possíveis. Haveria a possibilidade do emprego de biomassa no processo de aquecimento. Contudo, se geraria altas temperaturas e grãos de milho secos à lenha podem apresentar contaminação acima do permitido (Lima *et al.*, 2017). Alternativamente, Sivakumar *et al.* (2016) fala sobre o uso de energia solar em secadores de leito fluidizado e Gulcimen *et al.* (2016) relata a viabilidade do uso de secador solar, para teores de umidade em torno de 10%. Assim, a utilização de energia solar em um secador que não afete a qualidade do pericarpo com choques, pressões excessivas, variações bruscas de temperaturas e, ainda, permita elevação do teor de umidade do grão, quando necessário, ao circular ar úmido pelo leito ou bandejas, figura como a mais adequada, a Figura 4.2 mostra esquematicamente as opções envolvidas nesse subnível.

**Figura 4.2** - Subsistema adequação de umidade. Com base em Celestino (2010) e Fellows (2006).



**Fonte:** O autor.

#### 4.1.3. Subsistema Método de Expansão

Esse subsistema consiste em fornecer calor suficiente ao milho para que ele realize a expansão. Miranda *et al.* (2003) definem a capacidade de expansão (CE) dos grãos de milho-pipoca como a relação entre o volume de pipoca e o volume de grãos ou, ainda, a relação entre o volume de pipoca e a massa de grãos. Assim, a pipoca de melhor qualidade é a que apresentar a maior capacidade de expansão e melhor textura.

Segundo Quinn *et al.* (2005), a pressão no ambiente de estouro da pipoca influencia na maior expansão e redução dos grãos não estourados. Entretanto, a manutenção de pressão inferior à atmosférica na câmara de expansão, demanda complexidade de equipamentos e gasto energético que aumentariam o custo e não justificariam, do ponto de vista dessa abordagem, a melhora no desempenho.

De acordo com o exposto, há a necessidade de pesquisas mais específicas relacionada a esse tema. É desejável comparar o custo da expansão da pipoca por vias elétricas: microondas, ar quente e panela elétrica e por GLP, aplicados à realidade nacional. O esquema da Figura 4.3 resume os níveis do subsistema de expansão considerados neste trabalho, com base nos trabalhos de Matta e Viana (2001), Shimoni *et al.* (2002), Doraci *et al.* (2011) e Patel *et al.* (2016).

**Figura 4.3** - Subsistema método de expansão

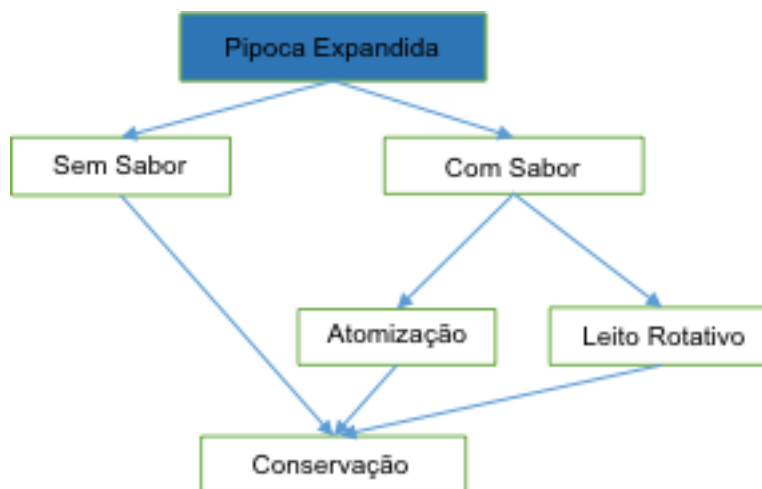
**Fonte:** O autor.

#### 4.1.4. Subsistema Saborização

Devido à diversificação do mercado consumidor é conveniente dispor no processo da opção de se produzir a pipoca saborizada e sem sabor. A pipoca sem sabor, após expansão, segue diretamente para o processo de conservação. O consumidor com limitações no uso de ingredientes, ou que deseje saborizar com outros condimentos e especiarias, terá a opção de o fazer no momento do consumo. A pipoca saborizada precisa receber condimentos que devem aderir à sua superfície. Assim, necessita de contato físico com esses ingredientes em um processo de mistura.

Entretanto, devido à natureza da superfície dos flocos de pipoca, que possuem baixa resistência mecânica, a utilização de alguns métodos tradicionais mencionados na literatura não é viável. Por exemplo, o leito rotativo, não se mostra plausível para a manutenção da qualidade, pois pode ocorrer quebra dos flocos, tornando-os pequenos e esfarelados. Portanto, o processo de atomização é uma solução preferida em relação aos demais. Na Figura 4.4 apresenta-se um esquema que resume os níveis do subsistema de saborização, propostos neste estudo.

**Figura 4.4** - Subsistema saborização da pipoca expandida.



**Fonte:** O autor.

#### 4.1.5. Subsistema Conservação

A manutenção das características sensoriais após a produção é fundamental para determinação da vida de prateleira. Pesquisas diversas foram realizadas com o propósito de conhecer melhor a influência de diversas variáveis sobre a degradação dos alimentos. A Tabela 2.1 resume os resultados típicos obtidos em variadas pesquisas nesse sentido. Embora os experimentos não tenham sido realizados com pipoca expandida, o foram com *snacks*, que são salgadinhos à base de milho. Esses passam por um processo de extrusão e possuem composição similar à da pipoca, tendo o amido como principal componente. Os resultados também se referem à oxidação de lipídios, que estão entre os componentes do produto analisado.

As principais ações no sentido da conservação da pipoca salgada devem se concentrar em evitar contato com a umidade e reduzir a concentração de oxigênio da atmosfera de armazenamento. O subsistema de embalagem tem uma função fundamental nesse sentido. Entretanto, é necessária uma ação combinada, por meio da adição de substâncias antioxidantes e antiulectantes.

#### 4.1.6. Subsistema Embalagem

Para esse subsistema, mediante pesquisa bibliográfica, identificou-se a utilização de quatro tipos de embalagens, aplicadas a esse segmento de alimentos, que precisam manter a crocância como uma de suas principais características (*snacks*, batatas fritas, entre outros), com variação principal dos elementos das camadas que as constituem. Essas embalagens são compostas por filmes plásticos e definidas pelas siglas: PEBD (polietileno de baixa densidade), PPO (polipropileno orientado), Laminado (junção de dois ou mais filmes com objetivo de melhorar as propriedades desejadas), Coextrudado (extrusão simultânea de duas ou mais camadas de diferentes polímeros para formar um único filme). (FELLOWS, 2006)

O estudo comparativo do desempenho entre as embalagens de Polietileno de baixa densidade (LDPE) e embalagem laminada (LP) de PE-AL-PP (poliester-alumínio-polipropileno) concluiu que elas podem ser utilizadas para armazenar *snacks* por até quatro meses a 25°C, com melhores resultados para LP, indicando, inclusive, menor absorção de umidade. (WANI e KUMAR, 2016)

Outro estudo, realizado por Shaviklo et. al. (2015) também demonstrou ser possível armazenar salgadinhos de milho extrudados tipo *snack*, enriquecidos com camarão em pó para aumentar o teor proteico, durante seis meses a temperatura de 27 °C.

Do ponto de vista comercial, um estudo sobre a influência do tamanho da embalagem e o consumo, demonstrou que as dimensões da embalagem influenciam o consumo, mesmo quando o sabor do produto não é muito agradável. Esse resultado, inclusive, aponta que para fomentar o consumo de alimentos saudáveis, pode-se fornecer embalagens maiores. (WANSINK e KIM, 2005)

Considerando o que os estudos recentes indicam, complementados pela pesquisa bibliográfica, para embalagem da pipoca pronta, salgada ou sem sabor, deve-se utilizar embalagem laminada composta de diversos filmes, com atmosfera modificada, principalmente visando a ausência de umidade e O<sub>2</sub>.

A Figura 4.5 ilustra a estrutura do subsistema embalagem, mostrando o que a literatura sugere como materiais de embalagens já comercializadas e aplicadas a alimentos de diversos tipos, inclusive os *snacks*.

**Figura 4.5** - Subsistema embalagem.



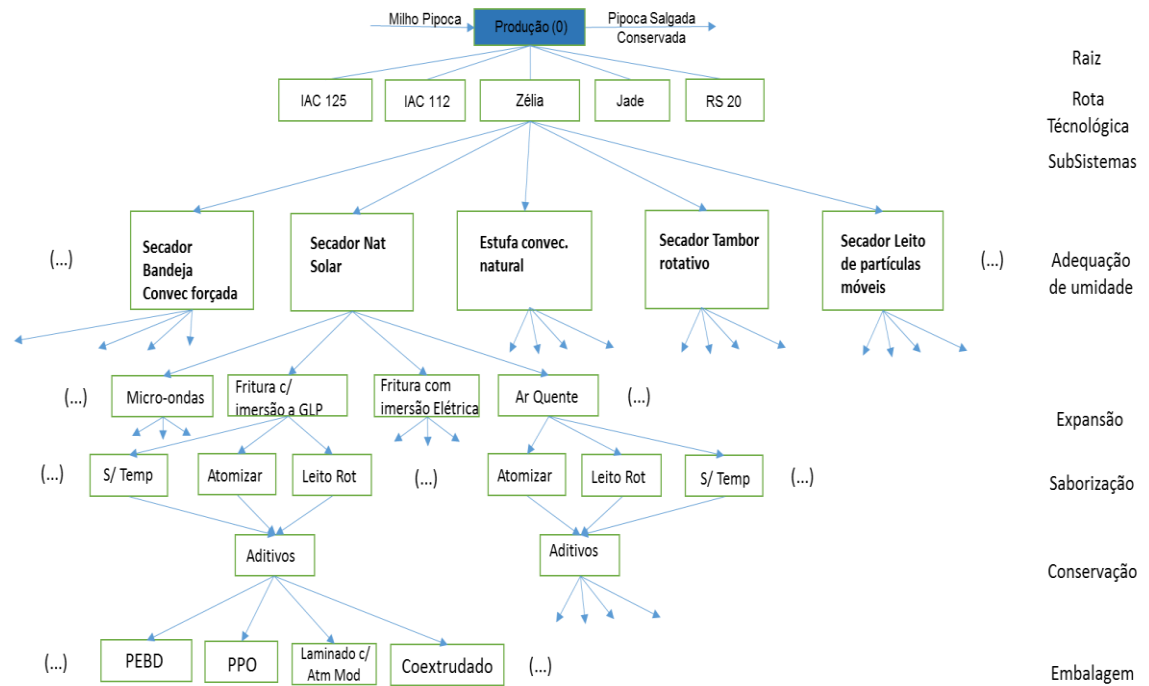
Fonte: O autor.

## 4.2 REPRESENTAÇÃO POR ÁRVORES DE ESTADOS

Os fluxogramas gerados na etapa de síntese, são, nesse capítulo, submetidos à análise heurística e evolutiva, para identificar aquele que exibe o melhor desempenho.

A árvore de estados, mostrada na Figura 4.6, sintetiza o que foi desenvolvido ao longo de todo este trabalho, sendo a junção da raiz, da rota tecnológica e dos diversos subníveis. Ela apresenta todos os fluxogramas possíveis para obtenção da pipoca salgada conservada. Em cada nível pode-se visualizar as variações dos equipamentos e métodos aplicáveis a cada etapa do processo. Os campos com “(…)” representam repetição dos vizinhos no mesmo nível. A representação completa dos itens torna-se de difícil visualização devido ao grande número de ramos (fluxogramas) possíveis, 1200 no total.

**Figura 4.6 -** Árvore de estados para produção da pipoca salgada conservada.



Os campos com “(...)” representam repetição dos vizinhos no mesmo nível. A representação completa dos itens torna-se de difícil visualização devido ao grande número de ramos (fluxogramas).

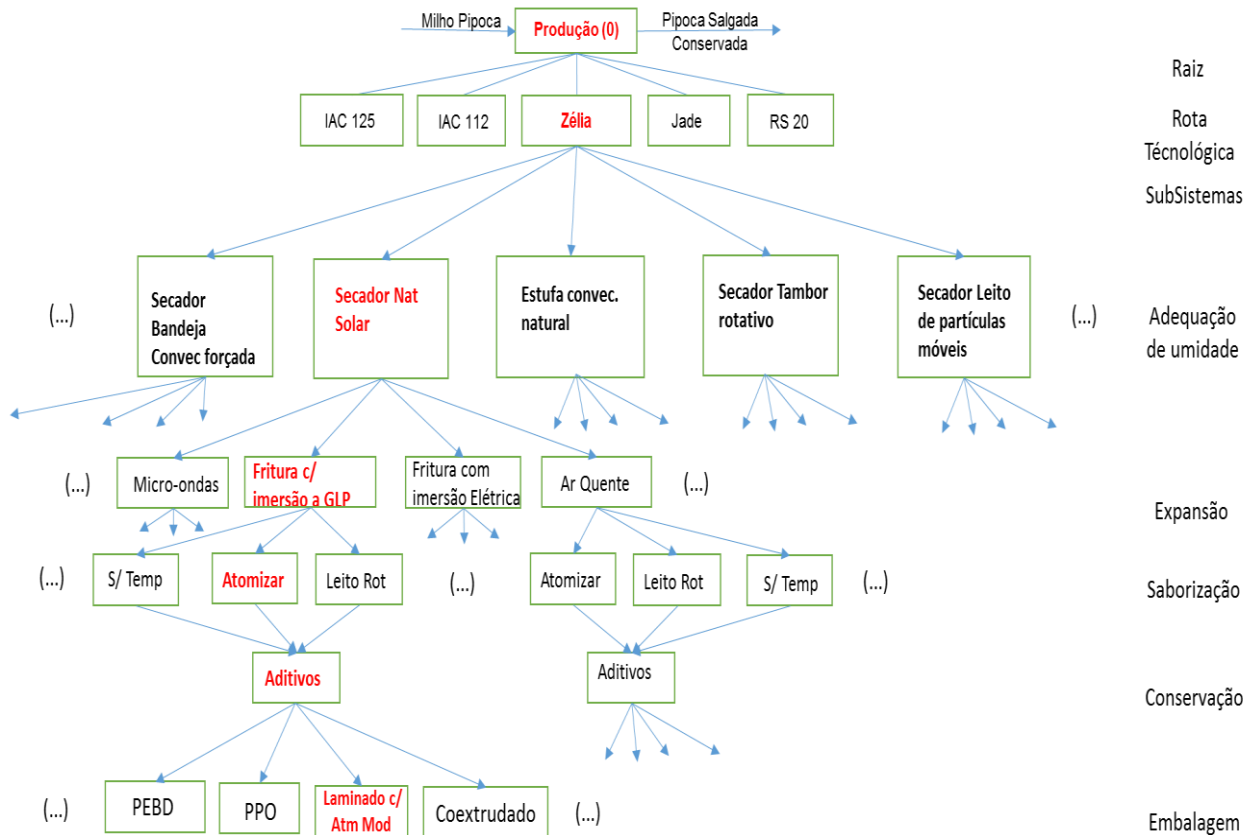
**Fonte:** O autor.

### 4.3 REGRAS HEURÍSTICAS

A Figura 4.7 apresenta o fluxograma heurístico em destaque na árvore de estados para a produção de pipoca salgada conservada nos critérios da eficiência energética

A raiz da árvore é a função objetivo: obter pipoca salgada conservada com qualidade e o mínimo consumo de energia e custo possíveis, a rota tecnológica é a utilização do genótipo híbrido Zélia, o método de adequação da umidade é via secador solar, o método de expansão será a fritura com imersão parcial com aquecimento a GLP, a saborização será mediante atomização, em seguida receberá os conservantes e finalmente embalada em recipiente de plástico laminado com atmosfera modificada.

**Figura 4.7** - Fluxograma heurístico destacado em vermelho.



Os campos com “(...)” representam repetição dos vizinhos no mesmo nível. A representação completa dos itens torna-se de difícil visualização devido ao grande número de ramos (fluxogramas).

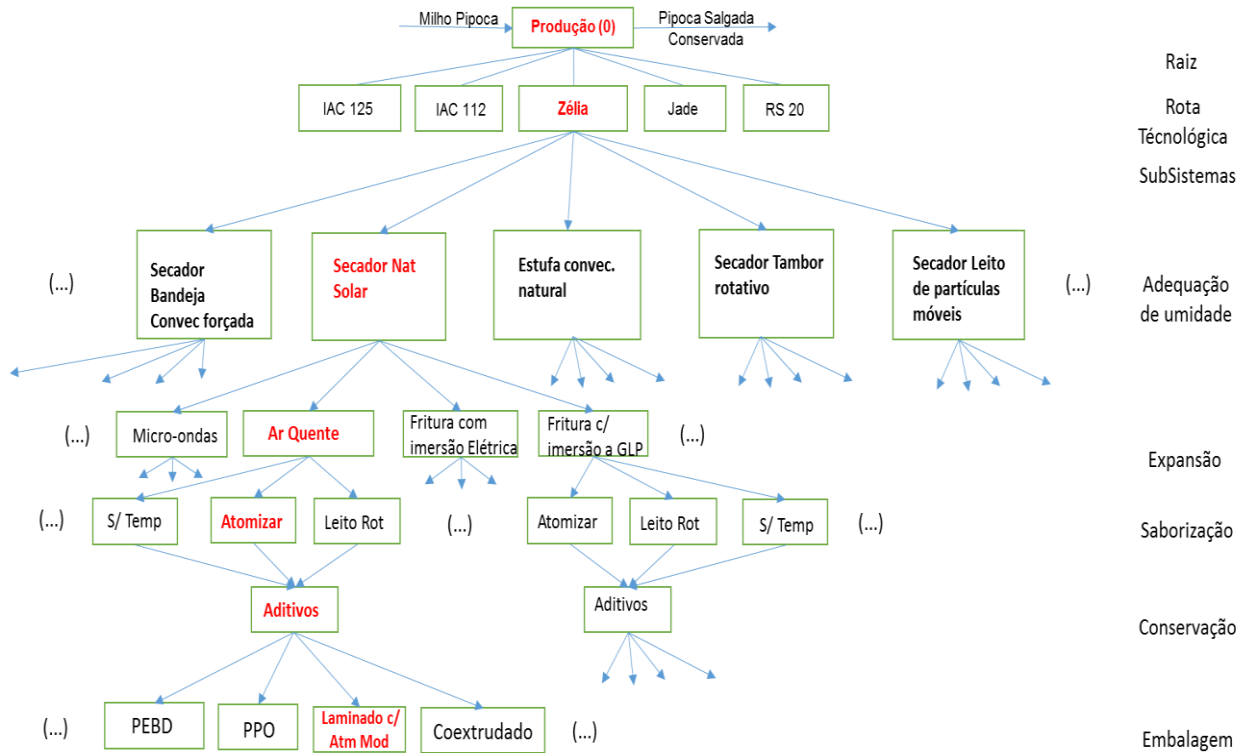
**Fonte:** O autor.

#### 4.4. DEFINIÇÃO DOS VIZINHOS ESTRUTURAIS

Serão alternativas ao fluxograma heurístico, o primeiro vizinho estrutural consiste em alterar o método de expansão para ar quente, porque possui alto desempenho de CE e deixa poucos grãos sem expandir, entretanto, esse método faz uso de energia elétrica, o que apresenta indícios de possuir maior custo de produção, em contrapartida, não utiliza óleo, gerando economia do custo desse ingrediente e agregando valor por ser mais saudável. Os demais subsistemas permanecem como o heurístico. O vizinho estrutural 1 pode ser visualizado na Figura 4.8.



**Figura 4.8** – Vizinho estrutural 1.

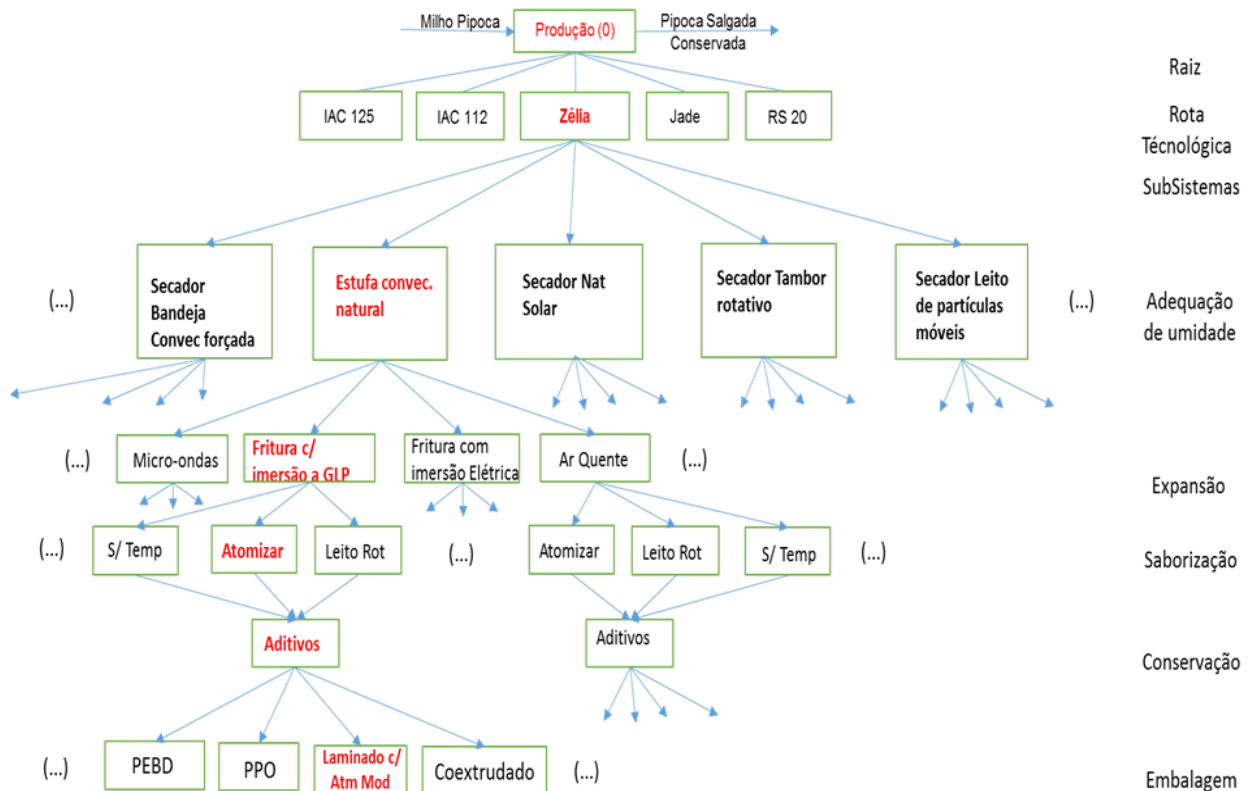


Os campos com “(...)” representam repetição dos vizinhos no mesmo nível. A representação completa dos itens torna-se de difícil visualização devido ao grande número de ramos (fluxogramas).

**Fonte:** O autor.

O segundo vizinho estrutural é encontrado alterando-se o método de secagem. Deixando-se a secagem solar, que depende essencialmente de características climáticas para obter desempenho satisfatório e padronização do processo e é relativamente demorada, para a secagem via estufa com convecção natural. Esse processo também é demorado e necessita de energia externa, que não a solar, demandando assim um incremento no custo de produção. Os demais subsistemas permanecem como o heurístico. O fluxograma do segundo vizinho estrutural pode ser visualizado na Figura 4.9.

Figura 4.9 - Vizinho estrutural 2.

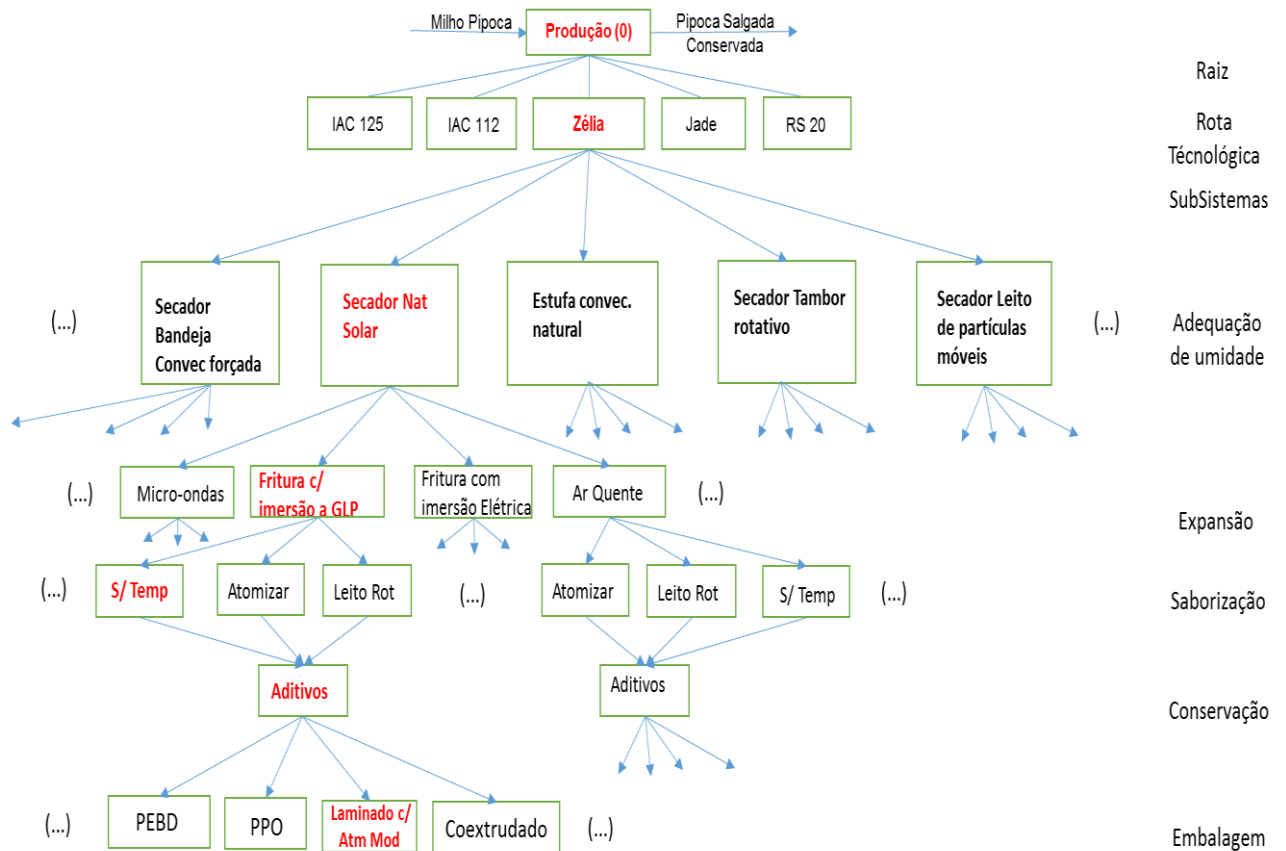


Os campos com “(...)” representam repetição dos vizinhos no mesmo nível. A representação completa dos itens torna-se de difícil visualização devido ao grande número de ramos (fluxogramas).

**Fonte:** O autor.

O terceiro vizinho estrutural é obtido variando-se o processo de saborização, optando-se por produzir a pipoca sem tempero, eliminando assim essa etapa, há redução no custo de produção. Entretanto, pode-se fornecer sachê de tempero para ser adicionado à pipoca no momento do consumo, o que provavelmente aumentaria o custo. Para a consideração desse vizinho estrutural, apenas suprime-se o subsistema saborização, o que reduziria o custo de produção e gasto energético a valores inferiores ao próprio fluxograma heurístico, todavia, a aceitação do produto com essa característica no mercado seria consideravelmente menor. O fluxograma do terceiro vizinho estrutural pode ser visualizado na Figura 4.10.

Figura 4.10 - Vizinho estrutural 3.



Fonte: O autor.

Outros vizinhos estruturais podem ser avaliados mediante variação no método ou equipamento de algum dos subsistemas. Estudos mais específicos podem acrescentar informações que forneçam um fluxograma cada vez mais confiável e próximo do ideal.

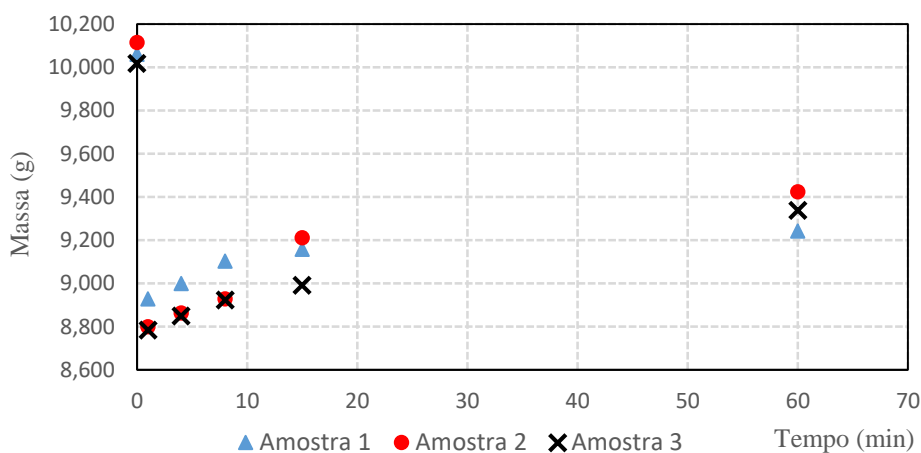
#### 4.5. RESULTADOS: ANÁLISE EXPERIMENTAL

Nesta sessão, as atividades desenvolvidas experimentalmente, incluindo os ensaios realizados no Infravermelho, são analisados, afim de se obter resultados conclusivos sobre a pesquisa e permitir que norteiem decisões nos setores produtivos e acadêmicos. Além de ressaltar os pontos que devem ser pesquisados adicionalmente para refino das regras heurísticas e consolidação da árvore de estados gerada.

### 4.1.1 Experimentos Iniciais

O Gráfico 4.1 mostra o comportamento da massa das amostras desde os grãos de milho (no momento inicial), passando pela pipoca expandida (cerca de 2 minutos depois) ainda quente, até seu equilíbrio térmico com o ambiente e a estabilização da massa após 1 hora. Após a expansão a pipoca foi acondicionada em recipiente de isopor, revestido por fita térmica de alumínio e exposta à atmosfera ambiente.

**Gráfico 4.1** - Variação da massa da pipoca desde o milho até o equilíbrio com o ambiente.



**Fonte:** O autor.

O empacotamento, sob temperatura elevada, foi registrado por câmera termográfica, como pode ser visualizado na Figura 4.11, onde parte das pipocas estavam à temperatura superior aos 50 °C.

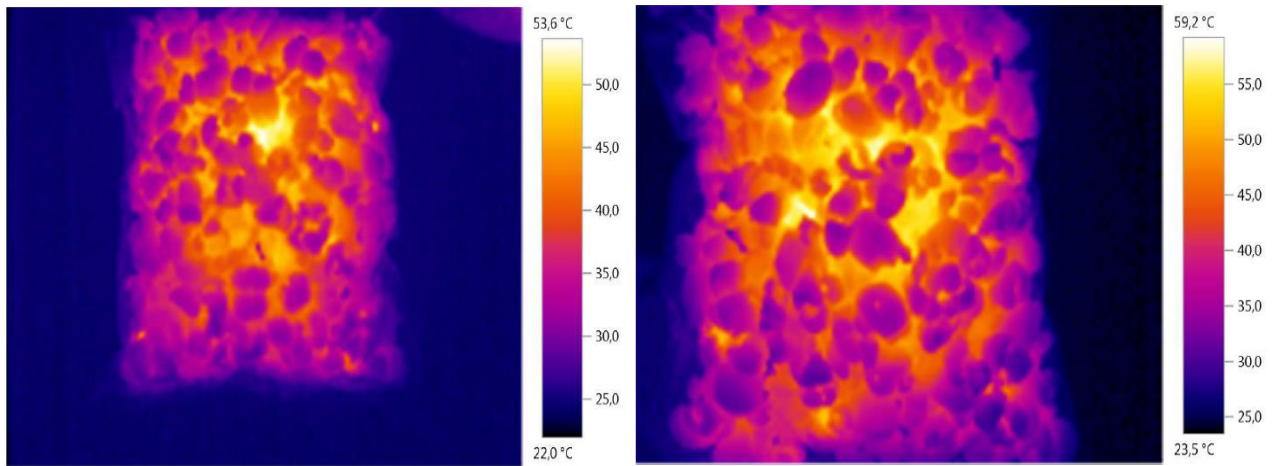
Os resultados mostraram que após a expansão e acondicionamento no recipiente preparado para pesagem, a massa aumentava progressivamente. Não revelando a esperada redução de massa devido à liberação de umidade enquanto a temperatura ainda estivesse elevada. Sugerindo que a embalagem poderia acontecer imediatamente após a expansão.

Nos experimentos prévios, as embalagens de PP e PEBD não apresentaram deformações significativas, para envase à temperatura de aproximadamente 80 °C, nem, tampouco, condensação de vapor de água em seu interior.

O resfriamento desse produto acontece de forma muito rápida, devido à grande área de contato da superfície e baixo calor específico. Esse fato pode ser constatado ao se verificar as imagens termográficas registradas. Onde a Figura 4.12 se refere à pipoca coletada diretamente

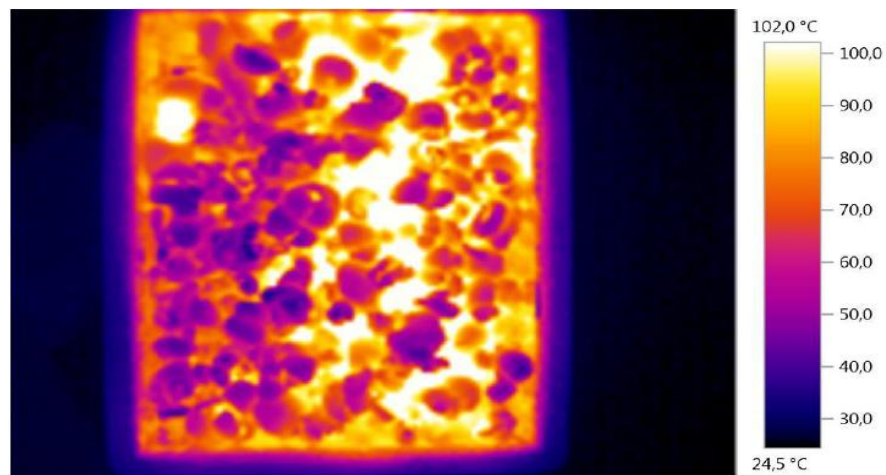
do pipocador a ar em recipiente de isopor, revestido internamente por fita aluminizada, e a Figura 4.11 à pipoca embalada imediatamente após a captura da imagem. Vale ressaltar que as imagens apresentam escalas diferentes para contrastar as regiões sob diferentes temperaturas e permitir sua visualização.

**Figura 4.11** - Imagem termográfica das amostras de pipoca embaladas.



**Fonte:** O autor.

**Figura 4.12** - Imagem termográfica das amostras de pipoca recém expandidas.



**Fonte:** O autor.

O comportamento quanto ao ganho de massa pode ser visualizado através da Tabela 4.1 onde ficou evidenciado o ganho de massa devido à absorção da umidade do ar e a capacidade de se mensurar esse fenômeno com uso da balança de precisão disponível no laboratório.

**Tabela 4.1** - Variação da massa das amostras de pipoca em gramas (g) para diferentes fases do processo de produção.

Material das embalagens / massas (g)	Massa dos grãos	Massa após expansão	Massa inicial da embalagem 17/08/2017	Massa final da embalagem 25/08/2017	Ganho de massa absoluto	Ganho de massa percentual
PP1	22,863	19,625	20,748	21,556	0,808	3,89%
PP2	22,871	19,872	21,04	22,078	1,038	4,93%
PP3	22,856	19,595	20,553	21,437	0,884	4,30%
PEBD1	23,08	20,077	21,418	22,291	0,873	4,08%
PEBD2	24,03	20,905	22,44	23,306	0,866	3,86%
PEBD3	23,194	19,943	21,397	22,224	0,827	3,87%

Obs. PP se refere a embalagens de polipropileno e PEBD a polietileno de baixa densidade.

**Fonte:** O autor.

#### 4.1.2 Experimento Principal

As pipocas expandidas, conforme descrito na metodologia, foram acondicionadas nas diferentes embalagens, totalizando 36 amostras. Essas amostras foram armazenadas em estufa à temperatura de  $40,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de aproximadamente  $70,9 \% \pm 3,5 \%$ , monitoradas através de um termohigrômetro digital da marca Highmed, modelo HM-01 e faixa de medição de:  $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+70 \text{ }^{\circ}\text{C}$  para temperatura e  $10 \%$  a  $99 \%$  para umidade relativa.

O armazenamento em estufa, com atmosfera controlada, permitiu a simulação de um ambiente extremo, inadequado para conservação da pipoca e acelerou o processo de degradação. A massa das amostras foi medida diariamente até o 11º dia e a partir daí o intervalo foi alterado para cada dois dias, até o 25º dia. A partir do 15º dia percebeu-se a tendência à estabilização das amostras em PP e PEBD, reduzindo consideravelmente a variação da massa. As amostras em LM mantiveram a variação praticamente uniforme. Foram, então, realizadas duas medições mais espaçadas, uma ao 32º dia e outra ao 35º dia, que evidenciaram a estabilização das amostras e permitiram encerrar o experimento.

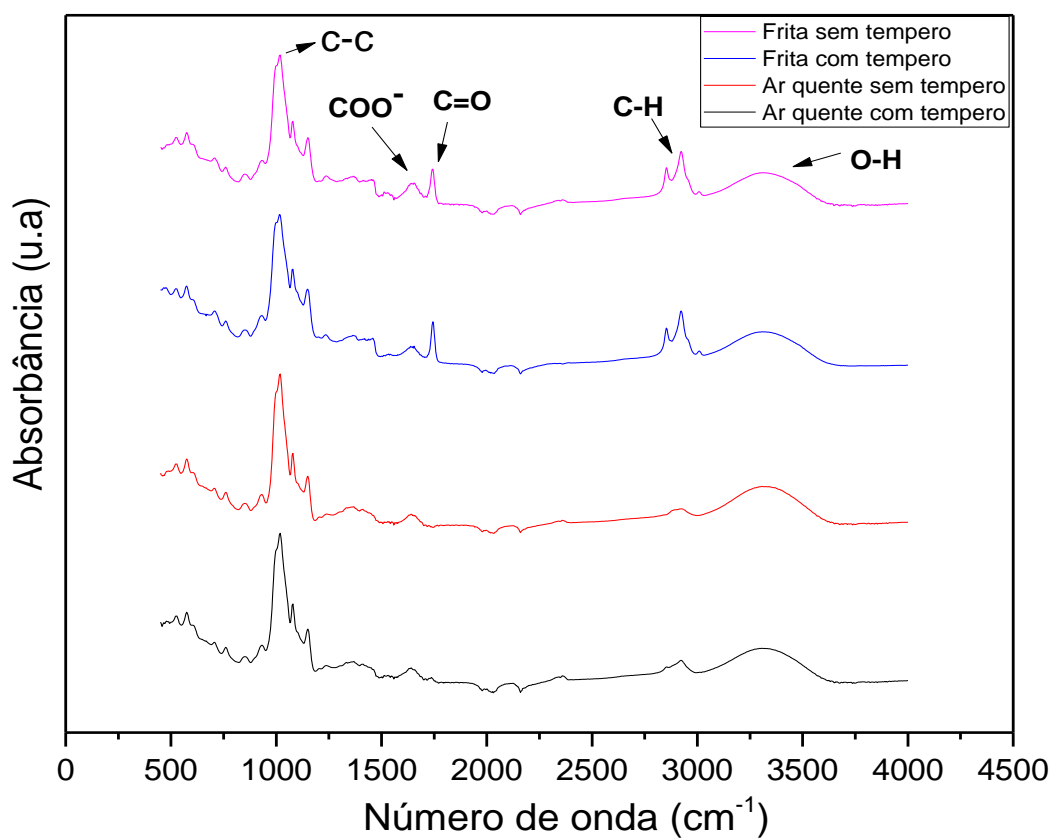
Paralelamente ao experimento da estufa, foram realizados ensaios no FTIR de amostras no início do experimento, antes de serem acondicionadas na estufa, e ao término do experimento, após a estabilização e abertura das embalagens.

No Gráfico 4.2 podemos visualizar os espectros das quatro diferentes amostras confeccionadas, logo após a expansão e antes de serem embaladas e armazenadas na estufa. É possível perceber os picos que caracterizam a presença de hidroxila (O-H) em todas as

amostras para as bandas em torno de  $3300\text{ cm}^{-1}$ . Também identifica-se picos que revelam presença de ligações duplas entre carbono e oxigênio ( $\text{C}=\text{O}$ ) nas bandas em torno de  $1700\text{ cm}^{-1}$ , além de hidrocarbonetos ( $\text{C}-\text{H}$ ) nas bandas em torno de  $2900\text{ cm}^{-1}$  para as amostras produzidas por fritura com imersão parcial em óleo de soja. Segundo Barbosa (2007), as bandas próximas aos valores mencionados correspondem aos compostos citados.

O pico em  $1010\text{ cm}^{-1}$  está associado às vibrações  $\text{C}-\text{C}$  (LIANG *et al.*, 2012). Na faixa entre  $1600$  e  $1630\text{ cm}^{-1}$  (Wai, *et al.* 2010) é possível observar os estiramentos das ligações dos íons carboxilatos  $\text{COO}^-$ . Para as amostras de pipoca analisadas o pico referente aos íons carboxilatos encontra-se em  $1630\text{ cm}^{-1}$ . Cabe ressaltar que a região do espectro entre  $400\text{ cm}^{-1}$  e até próximo a  $1500\text{ cm}^{-1}$  corresponde à uma “impressão digital” do material analisado, nesse caso, a pipoca gerada pelo genótipo utilizado nos experimentos. Essa “impressão digital” se repetirá em todos os espectros de pipoca apresentados nesse trabalho. Os gráficos foram normalizados pelo maior pico para todos os conjuntos de espectros apresentados.

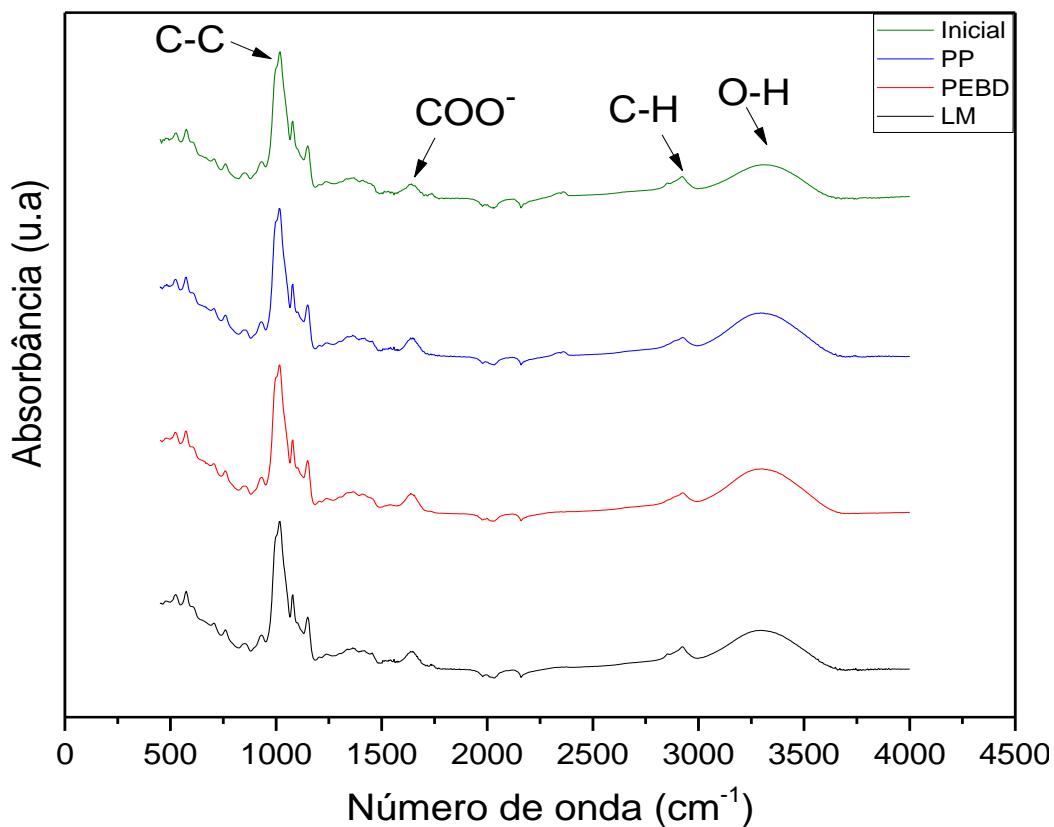
**Gráfico 4.2** - Espectros das quatro diferentes amostras de pipocas expandidas, antes do empacotamento e armazenamento.



Fonte: O autor.

Os ensaios no FTIR permitiram a comparação dos espectros da pipoca recém expandida com os espectros da pipoca armazenada por longo período nas diferentes embalagens e que entrou em equilíbrio com o ambiente.

**Gráfico 4.3** - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e com adição posterior de tempero.



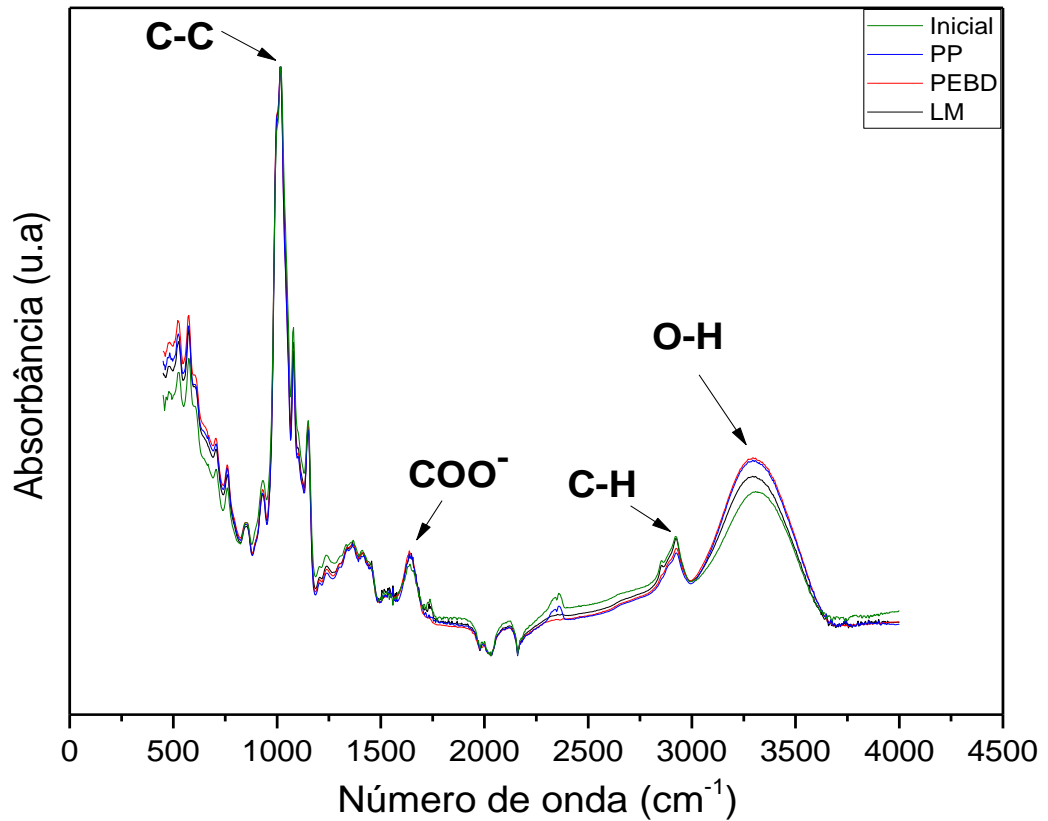
**Fonte:** O autor.

A sobreposição dos espectros no Gráfico 4.4 permite verificar a ausência do surgimento de grupos funcionais diferentes dos iniciais observados no

Gráfico 4.3 e um acréscimo de umidade após o armazenamento, sendo esse acréscimo menor para as embalagens LM e maior para PP e PEBD. É possível identificar também a presença de ligações C-C e C-H nas bandas próximas a 1000  $\text{cm}^{-1}$  e 3000  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente.



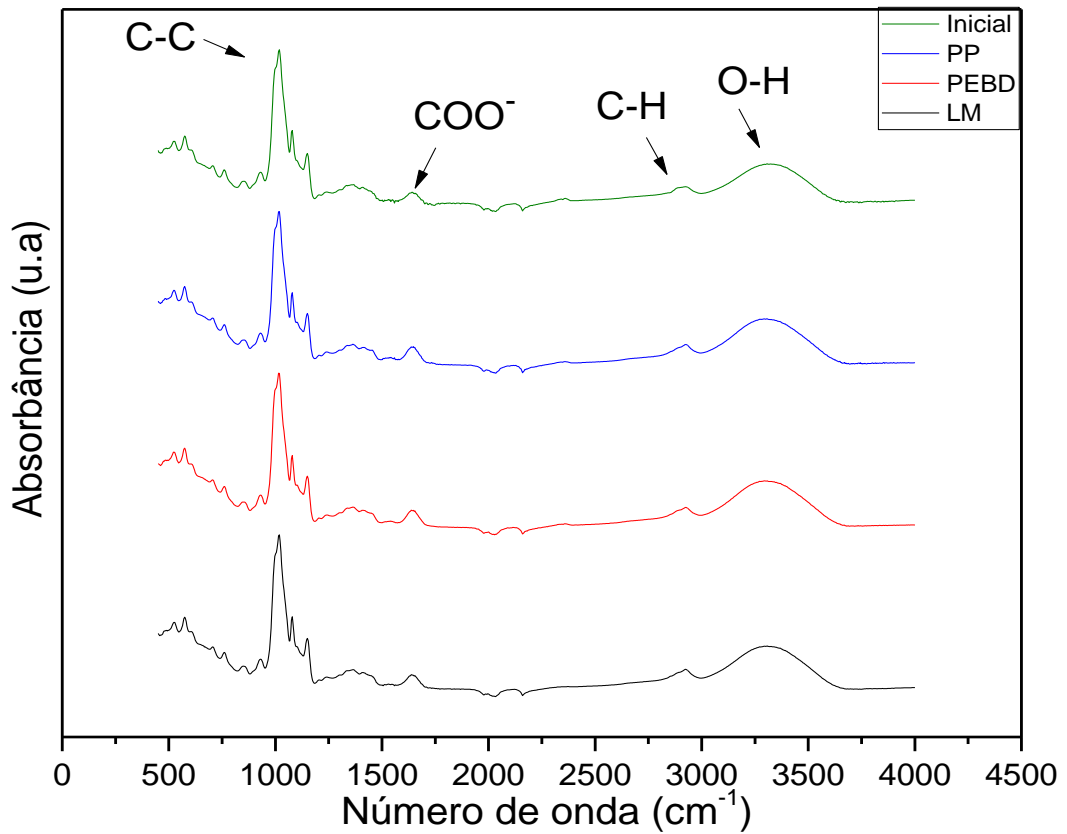
**Gráfico 4.4** - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e com adição posterior de tempero, com curvas sobrepostas.



Fonte: O autor.

Amostras expandidas por ar quente e sem adição de tempero apresentaram espectros semelhantes antes e após o armazenamento, como pode ser analisado no Gráfico 4.5. Os picos referentes às ligações duplas de carbono, íons carboxilatos, carboidratos e hidroxilas são identificados nos gráficos, sem apresentar alteração significativa entre a análise ao início do experimento e a análise final, decorridos 35 dias de armazenamento em estufa sob condição severa, protegidas apenas pelos diferentes materiais de embalagem.

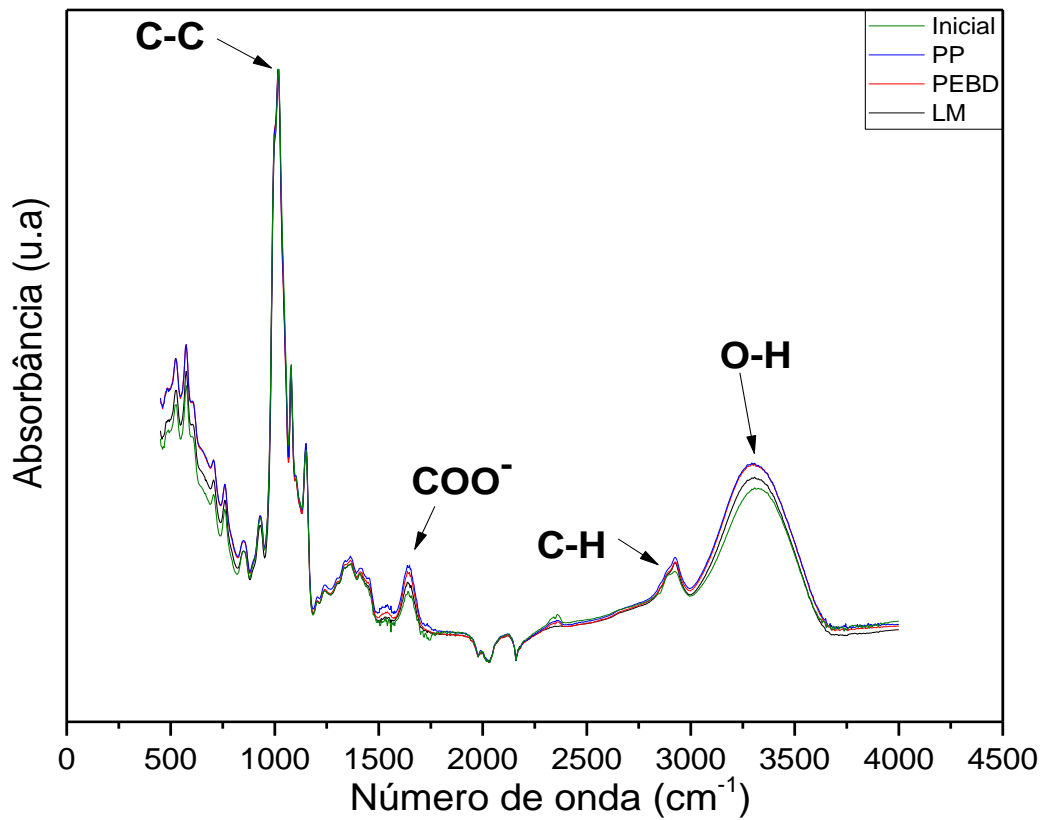
**Gráfico 4.5** - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e sem adição de tempero.



**Fonte:** O autor.

A sobreposição dos espectros no Gráfico 4.6 revela a manutenção dos grupos funcionais iniciais e o acréscimo no teor de umidade nas amostras finais, sendo o acréscimo menor para embalagem LM e maior para PP e PEBD, complementando os resultados obtidos por medição de massa na balança de precisão e confirmando os dados da literatura de referência, que já previam um melhor resultado para as embalagens laminadas.

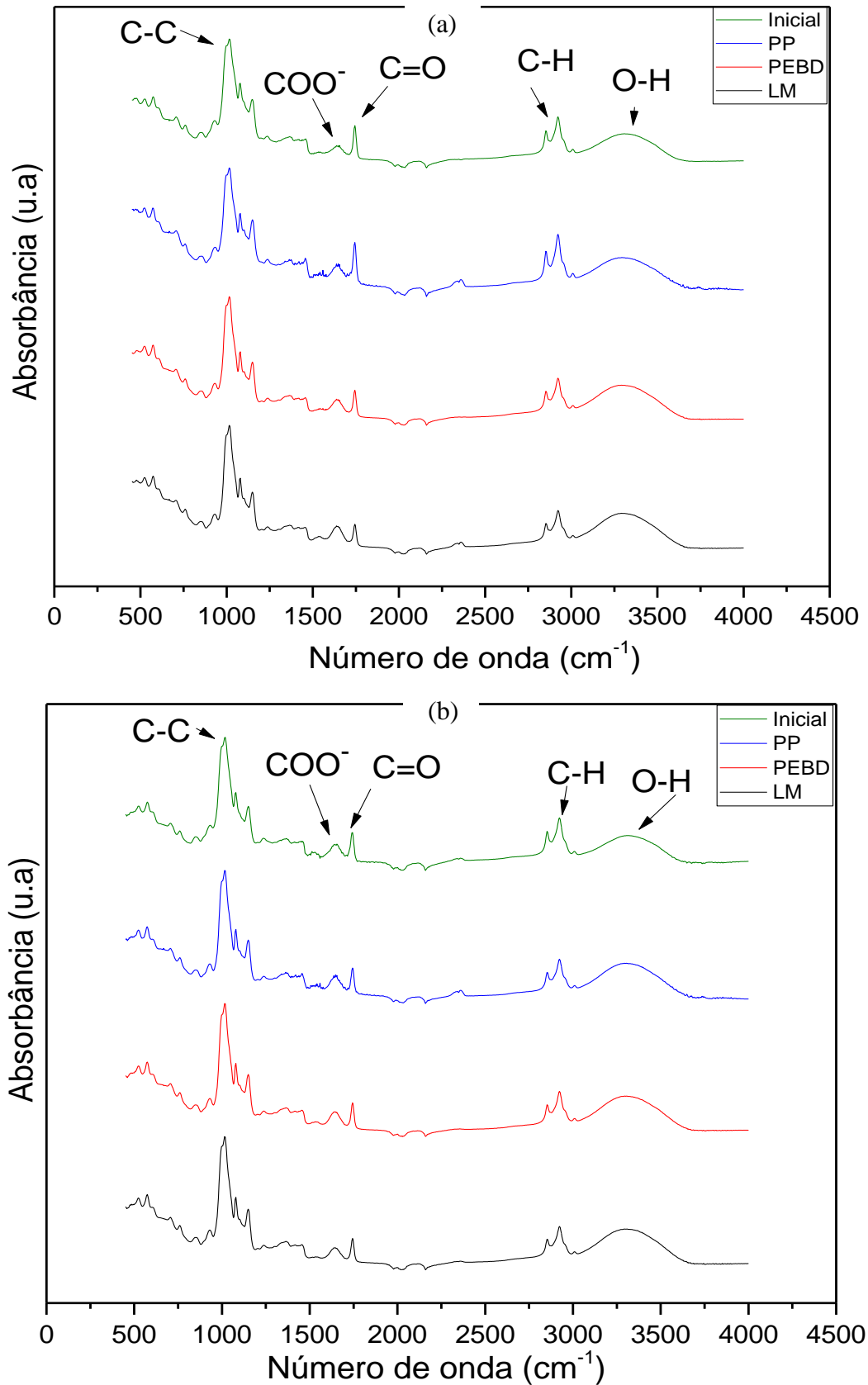
**Gráfico 4.6** - Espectros das amostras de pipoca expandidas a Ar quente e sem adição de tempero sobrepostas.



Fonte: O autor.

Os espectros das amostras que foram expandidas por fritura com imersão parcial em óleo de soja e receberam a adição posterior de tempero (a) e daquelas que não receberam adição de tempero (b) podem ser visualizados no Gráfico 4.7, onde são identificados os picos referentes a ligações duplas de carbono com oxigênio, hidrocarbonetos e hidroxilas, segundo Barbosa (2007). É possível perceber que não houve alterações significativas para os dois tipos de amostras entre os espectros inicial e final, para as diversas embalagens.

**Gráfico 4.7** - Espectros das amostras de pipoca expandidas por fritura com imersão parcial. (a) com adição de tempero e (b) sem adição de tempero.



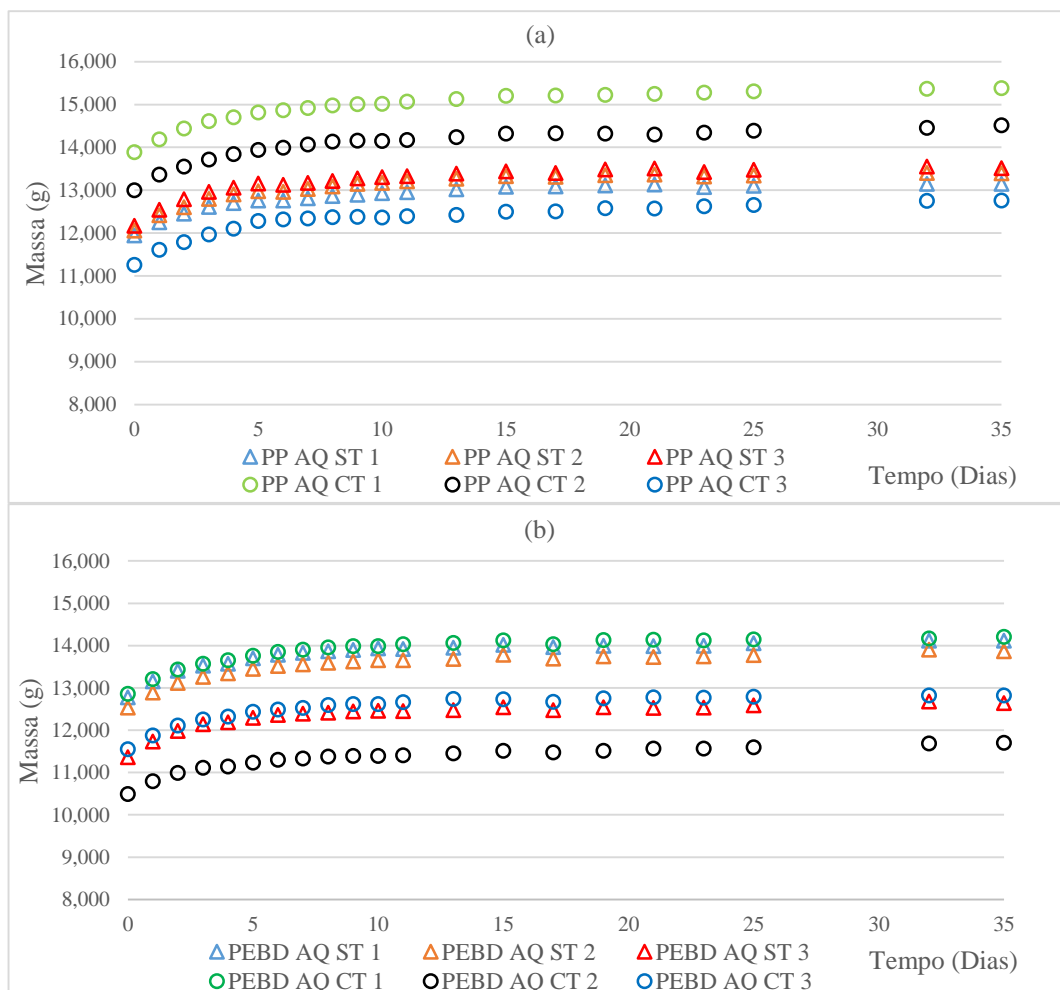
Fonte: O autor.

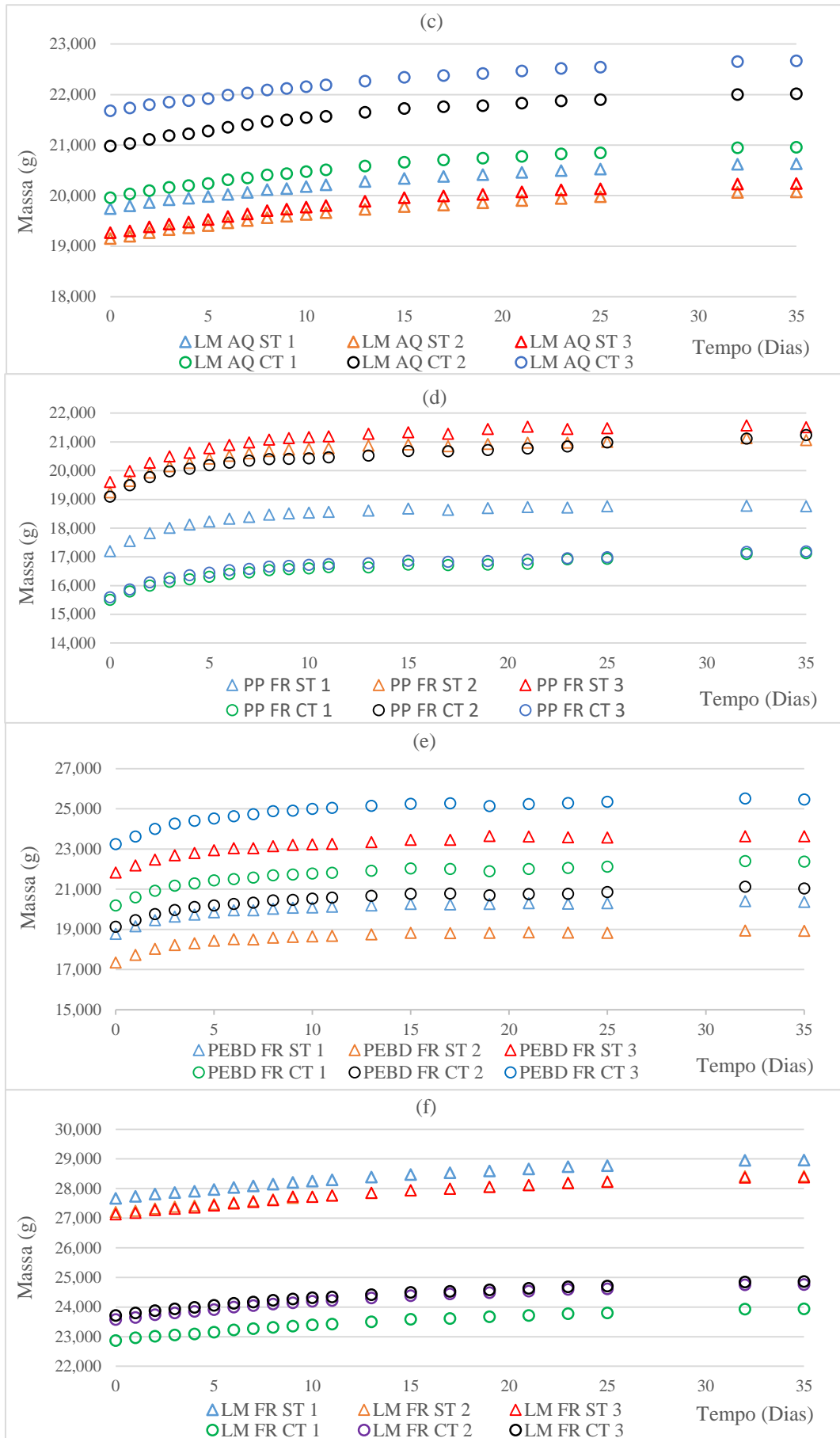
A Tabela A 0.1 no apêndice A, mostra os dados coletados durante o experimento, onde foram monitoradas as massas das amostras, a temperatura e umidade no interior da estufa.

Através dos dados gerados, foi possível a construção de gráficos e tabelas que permitem analisar o comportamento das diferentes variáveis e identificar possíveis correlações. Os Gráficos 4.8 - Comportamento da massa das amostras durante armazenamento mostram, para cada material de embalagem, a evolução no tempo.

Percebe-se que para as amostras, com ou sem tempero, o comportamento do gráfico foi semelhante, revelando que a adição de tempero não alterou o comportamento das amostras na cinética de absorção de umidade. Entretanto, os dados da Tabela A 0.1 e Tabela 4.2 mostram que as embalagens com pipoca temperada tiveram, em sua maioria, absorção de umidade superior às que não receberam tempero.

**Gráficos 4.8** - Comportamento da massa das amostras durante armazenamento. (a) PP Ar quente, (b) PEBD Ar quente, (c) LM Ar quente, (d) PP frito, (e) PEBD Frito, (f) LM Frito.





Fonte: O autor.

A Tabela 4.2 condensa os resultados encontrados para variação da massa de todas as amostras submetidas ao armazenamento em estufa sob as condições especificadas.

**Tabela 4.2** - Resultados do armazenamento à 40 °C e 71 % de UR

Variação de massa das amostras durante os experimentos				
Amostras	Massa Inicial de Pipoca (g)	Massa Final de Pipoca Úmida (g)	Ganho de Umidade Absoluto (g)	Ganho de Massa Percentual
PP AQ ST 1	11,181	12,387	1,206	10,8
PP AQ ST 2	11,281	12,613	1,332	11,8
PP AQ ST 3	11,338	12,682	1,344	11,9
PP AQ CT 1	13,030	14,528	1,498	11,5
PP AQ CT 2	12,147	13,660	1,513	12,5
PP AQ CT 3	10,512	12,014	1,502	14,3
PEBD AQ ST 1	11,724	13,060	1,336	11,4
PEBD AQ ST 2	11,510	12,836	1,326	11,5
PEBD AQ ST 3	10,369	11,652	1,283	12,4
PEBD AQ CT 1	11,823	13,175	1,352	11,4
PEBD AQ CT 2	9,513	10,723	1,210	12,7
PEBD AQ CT 3	10,559	11,832	1,273	12,1
LM AQ ST 1	10,682	11,570	0,888	8,3
LM AQ ST 2	10,110	11,034	0,924	9,1
LM AQ ST 3	10,246	11,220	0,974	9,5
LM AQ CT 1	10,956	11,952	0,996	9,1
LM AQ CT 2	11,990	13,023	1,033	8,6
LM AQ CT 3	12,664	13,652	0,988	7,8
PP FR ST 1	16,362	17,922	1,560	9,5
PP FR ST 2	18,456	20,275	1,819	9,9
PP FR ST 3	18,762	20,674	1,912	10,2
PP FR CT 1	14,677	16,307	1,630	11,1
PP FR CT 2	18,244	20,379	2,135	11,7
PP FR CT 3	14,723	16,318	1,595	10,8
PEBD FR ST 1	17,706	19,304	1,598	9,0
PEBD FR ST 2	16,355	17,932	1,577	9,6
PEBD FR ST 3	20,805	22,610	1,805	8,7
PEBD FR CT 1	19,177	21,361	2,184	11,4
PEBD FR CT 2	18,131	20,046	1,915	10,6
PEBD FR CT 3	22,147	24,367	2,220	10,0
LM FR ST 1	18,607	19,901	1,294	7,0
LM FR ST 2	18,178	19,395	1,217	6,7
LM FR ST 3	18,131	19,380	1,249	6,9
LM FR CT 1	13,756	14,823	1,067	7,8
LM FR CT 2	14,500	15,677	1,177	8,1
LM FR CT 3	14,640	15,782	1,142	7,8

**Fonte:** O autor.

A análise da Tabela 4.2, associada ao Gráfico B. 0.1, no apêndice B, permite identificar a relação de proporcionalidade direta entre a massa inicial de pipoca e o ganho de umidade. Quanto maior a massa de pipoca, maior será a capacidade de absorver umidade.

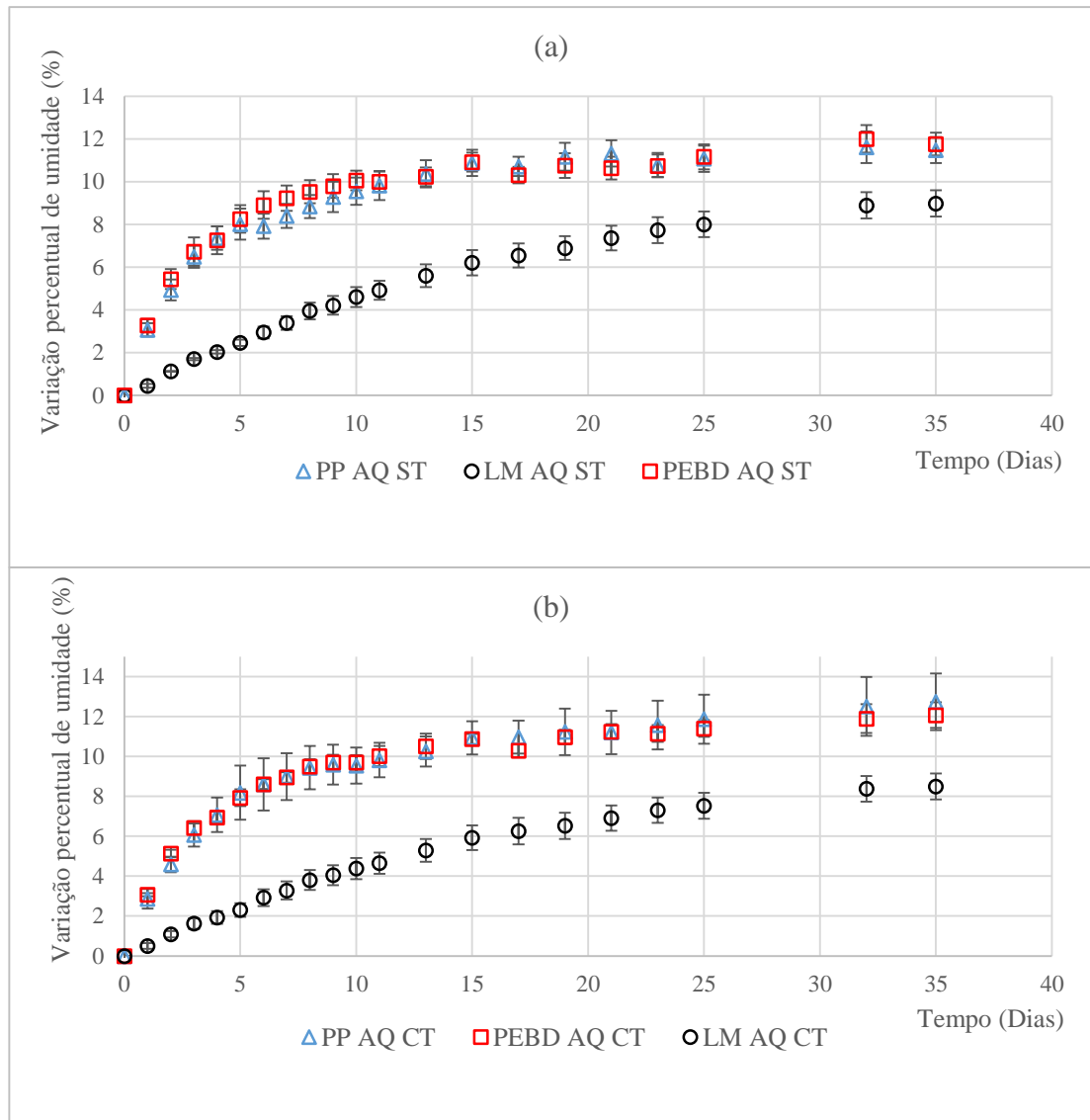
Como as amostras possuíam diferentes massas, naturalmente, as amostras de maior massa tenderiam a absorver maior quantidade de água, dificultando a análise de desempenho entre as diferentes embalagens. Isto posto, os valores das massas medidos ao longo do experimento foram normalizados, gerando o fator “ganho de massa percentual”, calculado de acordo com a equação 1, tornando possível a comparação entre os diferentes materiais de embalagens e métodos de expansão, a despeito da diferença entre as massas iniciais das amostras.

O Gráfico 4.9 mostra a variação percentual de umidade ao longo tempo para as amostras de pipoca expandidas por ar quente e que não receberam a adição de temperos (a) e com a adição de temperos (b), armazenadas em três diferentes embalagens (PP, LM e PEBD). As amostras foram realizadas em triplicata e os pontos no gráfico correspondem à média de cada tipo de amostra, além disso, a barra de erros apresenta o desvio padrão da amostra para cada ponto, calculado conforme a equação 3.

É possível identificar a proximidade do comportamento das amostras em PP e PEBD, que tiveram absorção de umidade mais rápida e superior às amostras em LM e tenderam à estabilização após o 15º dia. Pela análise dos gráficos, conclui-se que as embalagens LM obtiveram melhor desempenho como barreira à absorção de umidade pela pipoca. Mesmo após 35 dias sob atmosfera severa ao armazenamento desse produto, ainda não havia atingido o equilíbrio de umidade com o meio externo. A adição de tempero não interferiu no resultado final do comparativo entre as embalagens, para amostras expandidas por ar quente.



**Gráfico 4.9** - Variação percentual da umidade para pipoca expandida por Ar Quente armazenada em diferentes embalagens. (a) sem adição de tempero e (b) com adição de tempero.

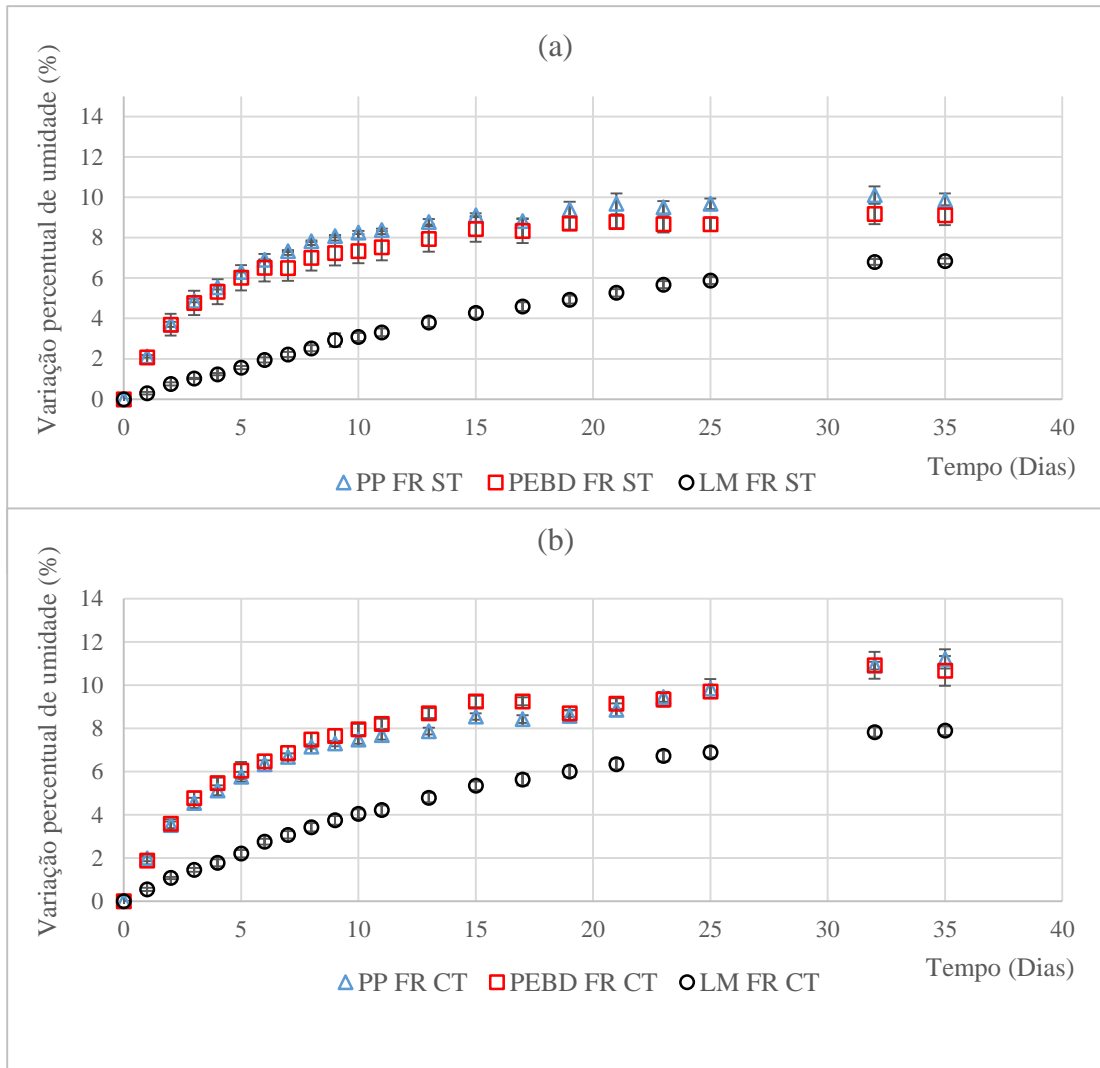


**Fonte:** O autor.

O Gráfico 4.10 mostra a variação percentual de umidade ao longo do tempo para as amostras de pipoca expandidas por fritura, sem adição de temperos (a) e com adição de tempero (b), armazenadas em três diferentes embalagens (PP, LM e PEBD). As amostras foram realizadas em triplicata e os pontos no gráfico correspondem à média de cada tipo de amostra, a barra de erros apresenta o desvio padrão calculado para cada ponto. Identifica-se a proximidade do comportamento das amostras em PP e PEBD, que tiveram absorção de umidade mais rápida e superior às amostras em LM e tenderam à estabilização após o 15º dia, aproximadamente. Analisando-se o gráfico, conclui-se que as embalagens LM obtiveram

melhor desempenho como barreira à absorção de umidade pela pipoca. É possível perceber que a adição de tempero alterou significativamente os resultados, para as amostras fritas.

**Gráfico 4.10** - Variação percentual da umidade para pipoca expandida por fritura armazenada em diferentes embalagens: (a) sem adição de tempero e (b) com adição de tempero.



Fonte: O autor

A Tabela 4.3 mostra o ganho de massa percentual médio final para cada configuração de amostra. Revelando que as amostras “PP AQ CT”, ou seja, em embalagem de polipropileno, expandidas por ar quente e que receberam adição de tempero, tiveram o maior ganho de massa percentual ( $12,75 \pm 1,42$  %). Isso significa o pior resultado entre as configurações de amostras estudadas, uma vez que para se obter maior vida de prateleira é fundamental que a absorção de umidade pela pipoca seja evitada ou reduzida ao extremo.

Entretanto é preciso ressaltar que ao se considerar o elevado valor do desvio padrão calculado para essa média, não se pode afirmar, com precisão, ter sido esse o pior desempenho.

Por outro lado, a Tabela 4.3 também revela que as amostras “LM FR ST”, ou seja, em embalagem laminada, expandidas por fritura e que não receberam a adição de tempero, tiveram o menor ganho de massa percentual ( $6,85 \pm 0,13 \%$ ). Significando o melhor resultado entre as configurações de amostras estudadas.

**Tabela 4.3** – Comparação do ganho de massa percentual médio entre todas as configurações de amostras.

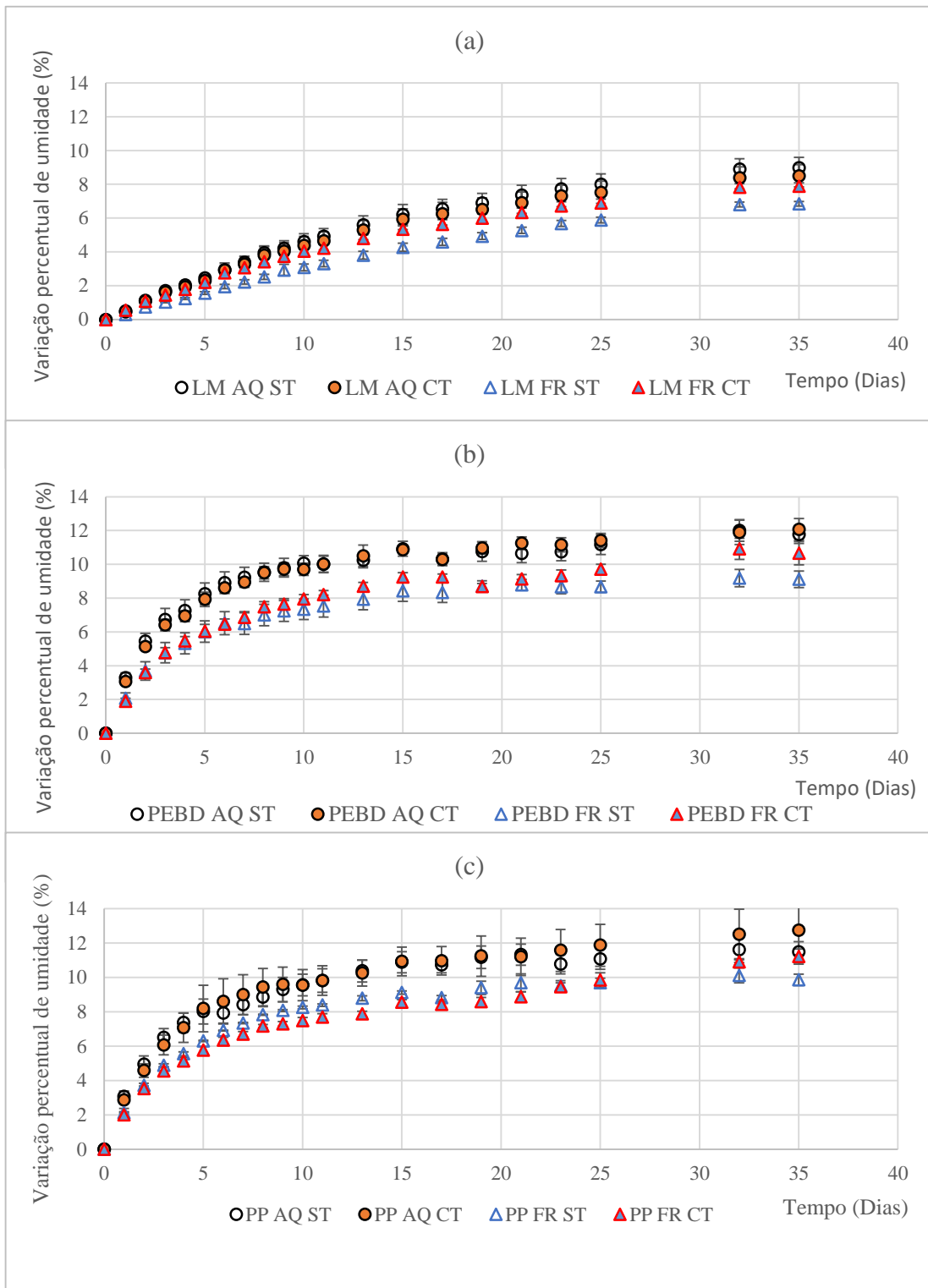
Amostras	Ganho de massa médio de amostras semelhantes (%)	Desvio Padrão (%)
PP AQ ST	11,48	0,60
PP AQ CT	12,75	1,42
PEBD AQ ST	11,76	0,53
PEBD AQ CT	12,07	0,64
LM AQ ST	8,99	0,61
LM AQ CT	8,50	0,65
PP FR ST	9,86	0,33
PP FR CT	11,21	0,44
PEBD FR ST	9,11	0,49
PEBD FR CT	10,66	0,69
LM FR ST	6,85	0,13
LM FR CT	7,89	0,20

**Fonte:** O autor.

É possível perceber também que para a maioria das amostras com tempero o ganho de massa percentual foi maior, quando comparado ao das amostras sem tempero. A única exceção foi no caso das amostras em embalagem laminada e expandidas ao ar quente. Entretanto, considerando-se o desvio padrão das amostras para essa grandeza, os resultados não foram definitivamente conclusivos e apresentam uma oportunidade de estudos adicionais.

Quanto à influência do método de expansão, pode-se notar pela análise do Gráfico 4.11, que ao comparar-se amostras de mesmo material de embalagem e condição de tempero, que as amostras expandidas por ar quente, tiveram maior ganho de massa, e conseqüentemente absorveram mais umidade que as amostras expandidas por fritura com imersão parcial em óleo de soja. Esse fato, provavelmente, deva-se à existência de uma película residual do óleo utilizado na fritura sobre a superfície da pipoca, servindo como obstáculo à absorção da umidade da atmosfera ao redor.

**Gráfico 4.11** - Variação percentual da umidade para pipoca no tempo em diferentes embalagens: (a) LM, (b) PEBD e (c) PP.



Fonte: O autor.

Após o término dos experimentos de armazenamento e ensaios no FTIR, foi realizada a secagem da pipoca, em estufa à 105 °C por 24 horas. Os valores obtidos para massa de sólido seco permitiram calcular o teor de umidade das amostras iniciais e os desvios padrão de cada configuração de amostra, a Tabela 4.4 apresenta os resultados encontrados.

**Tabela 4.4** - Valores calculados de umidade inicial para cada tipo e amostra.

Tipo de amostra	Umidade Inicial (%)	Desvio padrão ( $\pm$ )
Ar quente sem tempero	2,06	0,40
Ar quente com tempero	2,36	0,61
Frita sem tempero	2,45	0,25
Frita com tempero	2,95	0,22

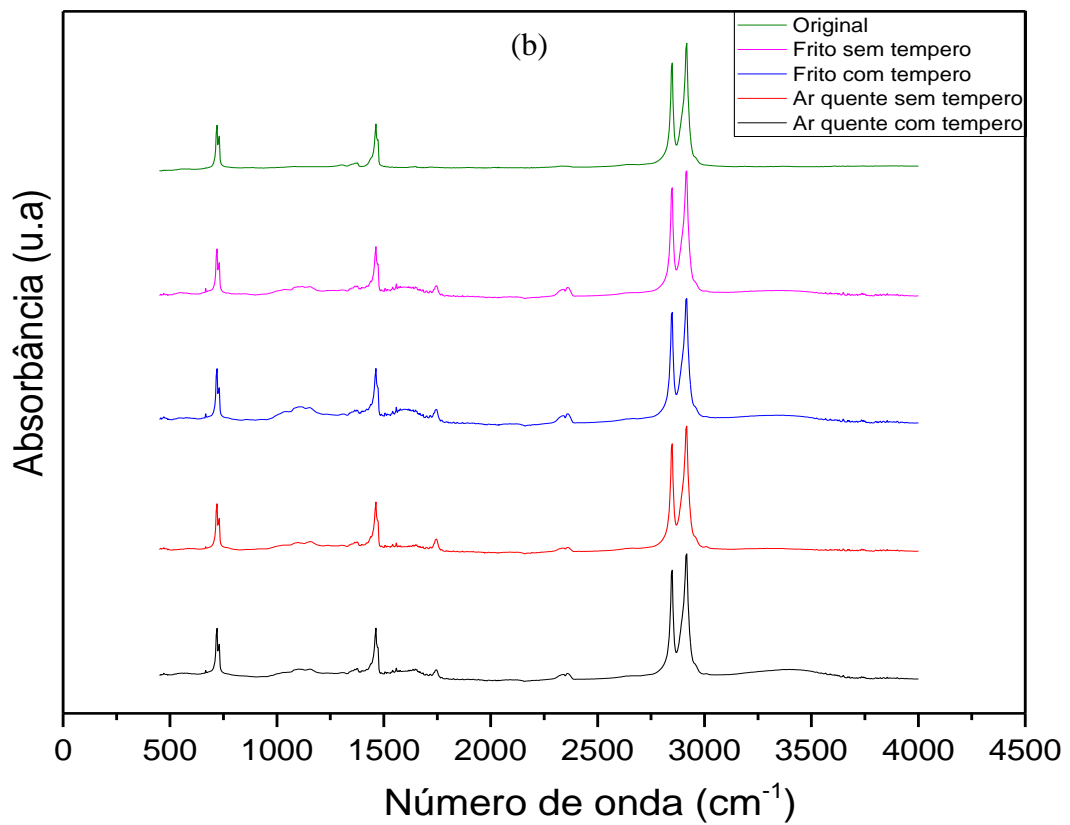
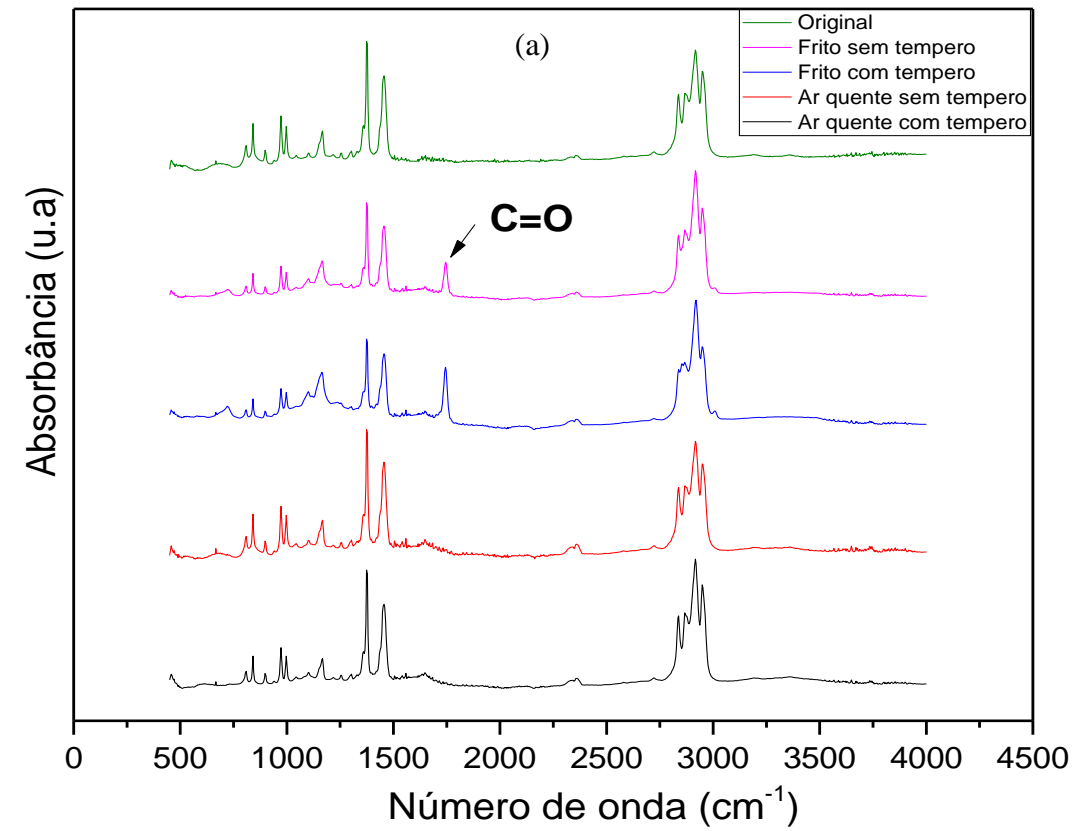
**Fonte:** O autor.

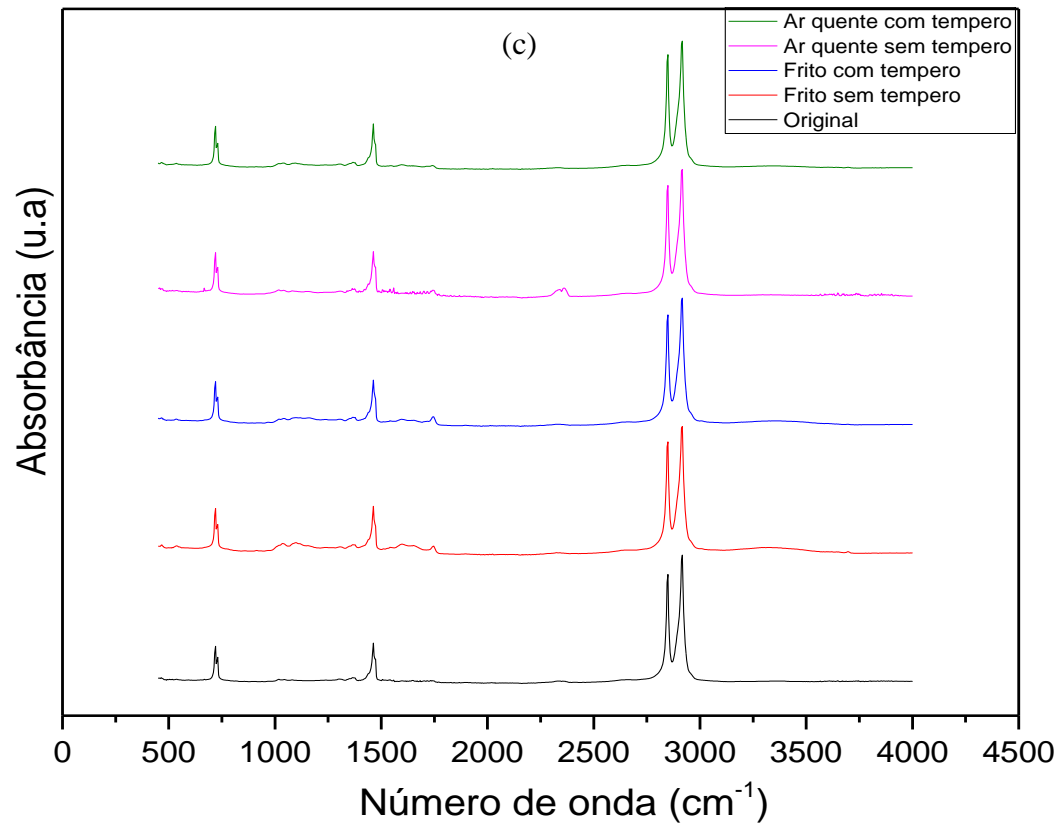
#### 4.1.3 Análise das Embalagens

A análise das embalagens ao FTIR comparando os espectros inicial e final de cada material de embalagem, para cada tipo de amostra, pode ser visualizada no Gráfico 4.12, onde o (a) corresponde ao PP, (b) PEBD e (c) LM. Os gráficos de PEBD e LM apresentam grande similaridade, isso é devido ao fato de que a parte analisada da embalagem laminada foi a interna, onde há um filme de PEBD. O espectro descrito como original se refere à embalagem no início do experimento, sem ter sido levada à estufa ou recebido a pipoca em seu interior. Os demais se referem às embalagens ao final do experimento, tendo especificado o conteúdo de cada uma.

As embalagens de PEBD e PP, como pode ser acompanhado no Gráfico 4.12 (b) e (c) não apresentaram alterações significativas em seu espectro. Entretanto, as embalagens de PP, letra (a) no Gráfico 4.12, apresentaram alterações significativas, como o surgimento de pico referente a ligação dupla de carbono com oxigênio, para as amostras fritas, provavelmente por conta de resíduos da gordura da fritura sobre a superfície analisada.

Gráfico 4.12 - Espectros das embalagens ao início e final dos experimentos, sendo (a) Polipropileno, (b) Polietileno de baixa densidade e (c) Laminado, parte interna.





Fonte: O autor.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

Mediante pesquisa bibliográfica e experiência foi possível identificar os subníveis envolvidos no processo de produção da pipoca salgada conservada, definir métodos aplicáveis em cada nível e montar a Árvore de Estados.

As análises de artigos, pesquisas, bibliografias específicas e os experimentos realizados permitiram selecionar o fluxograma heurístico com base nas informações disponíveis até o momento e identificar 3 vizinhos estruturais, além de reconhecer a necessidade de estudos e experimentos mais específicos e conclusivos sobre o tema, que proporcionem maior confiabilidade nos resultados.

Para se atender ao objetivo de produzir pipoca salgada, empregando a eficiência energética, esse trabalho aponta para a utilização do genótipo de milho-pipoca Zélia como matéria prima, tendo como operações subsequentes: a secagem solar, para adequação do teor de umidade dos grãos; aquecimento para expansão por gás liquefeito de petróleo (GLP) e expansão por fritura com imersão parcial; saborização por atomização, adição de conservante antimicrobiano e antioxidante, embalagem em plástico laminado com filme metálico e atmosfera modificada.

Os dados obtidos através dos experimentos, permitiram confirmar o que a literatura sugere e o mercado pratica como solução para a embalagem de salgadinhos tipo *snacks*, categoria em que se encaixa a pipoca salgada pronta para o consumo. As embalagens laminadas com múltiplos filmes, envolvendo materiais como polietileno e metal se mostram mais eficientes na conservação dos alimentos, proporcionando maior vida de prateleira, quando comparadas às embalagens compostas exclusivamente por materiais como polipropileno ou polietileno de baixa densidade.

As embalagens de polipropileno e polietileno de baixa densidade apresentaram comportamento muito semelhante ao atuarem como barreira à absorção de umidade pela pipoca, sob atmosfera de temperatura e umidade relativamente elevadas para armazenamento desses alimentos. Destaca-se que para pipoca frita houve interação química entre a gordura da



fritura e a embalagem de polietileno de baixa densidade, tornando a embalagem ligeiramente turva e “pegajosa”, chegando a fazer com que uma embalagem aderisse à outra, como se houvesse resíduo de cola entre elas.

A expansão do milho pipoca através de fritura com imersão parcial, favorece a conservação do ponto de vista a evitar absorção de umidade, entretanto, apresenta ransificação em tempo menor, quando comparada à expansão por ar quente, sem adição de gorduras.

Quanto à influência da adição de tempero sobre a absorção de umidade, os resultados insinuem que pipocas temperadas são mais higroscópicas, entretanto, estudos futuros com maior riqueza de detalhes devem ser realizados para conclusões definitivas.

As pipocas recém expandidas podem ser armazenadas ainda quentes, pois após a expansão, verificou-se não haver evaporação adicional de umidade àquela ocorrida por ocasião da expansão. Após a expansão, a massa da pipoca aumenta continuamente, devido à absorção de água do meio, até o equilíbrio da umidade com o ambiente.

Os ensaios por infravermelho revelaram que, para as condições dos experimentos realizados, após 35 dias, não houve alterações significativas na composição da pipoca, além da elevação do teor de umidade. Para as embalagens, apesar da exposição à uma condição severa de armazenamento, também não foram verificadas alterações significativas nos espectros finais em relação às iniciais.

Espera-se que as informações fornecidas por esse trabalho contribuam significativamente para o desenvolvimento científico. Revelando uma metodologia de baixo custo para formulação de um processo e permitindo sua replicação para outros produtos e processos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, L. C. A. *Espectroscopia no Infravermelho na caracterização de compostos orgânicos*. UFV – Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- BECHTEL, P. J.; LUSAS, E. W.; ROONEY, L. W. *Snack foods of animal origin. Snack foods processing*, p. 421-432. New York: CRC Press, 2002.
- BELITZ, H. D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. *Food chemistry*, 4th ed., p. 211-218. Berlin: Springer, 2009.
- BRACCINI, A. L.; MORA, F.; LUZ, M. L. S.; DALPASQUALE, V. A.; SCAPIM, C. A. *Influência da umidade das sementes na capacidade de expansão de três genótipos de milho-pipoca ( Zea mays L.)*. Article in Acta Scientiarum Biological Sciences, vol.27, n.3, 2005.
- CELESTINO, S. M. C. *Princípios de Secagem de Alimentos*. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2010.
- CLAIRE, A.; ZIZZA, R. D.; FRANCIS, A.; TAYIE, M. S.; LINO, M. *Benefits of Snacking in Older Americans*. Journal American Dietetic Assoc. vol.107, p. 800-806, 2007.
- DORACI, S.; MIRANDA, R. R.; SILVA, A. A.; TANAMATI, L. A. C.; CESTARI, G.; MADRONA, 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.
- EMBRAPA, disponível em < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy9zxynl02wx5ok0pvo4k359f3bo9.html> >, acessado em 17/11/2016.
- EVANGELISTA, J. *Tecnologia de Alimentos*, Atheneu, 2º ed., 2008.
- FELLOWS, P. J. *Tecnologia do Processamento de alimentos*, Artmed, 2º ed, 2006.
- FLORES, J. G. P.; ORDAZ, J. J.; MORGA, J. A.; OLIVARES, L. G. G.; OVANDO, A. C.; LÓPEZ, E. C. *Influence of water sorption phenomena on the shelf life of third generation snacks*. Journal of Food Process Engineering, vol.40, n.1, 2016.
- FREITAS JÚNIOR, S. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A. *Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante*. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, vol.41, n.11, p. 1599-1607, 2006.

- GOKMEN, S. *Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn*. Journal of Food Engineering, Elsevier, vol.65, n.3, 2004.
- GULCIMEN, F.; KARAKAYA, H.; DURMUS, A. *Drying of sweet basil with solar air collectors*. Renewable Energy 93, p. 77-86, 2016.
- KRUG, C. A.; CONAGIN, A.; JUNQUEIRA, A. A. B. *Cultura e adubação do milho*. São Paulo, p. 96-98, 1996.
- LABUZZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. *Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of Two Dehydrated Foods*. J. Food Science, v. 50, 1985, p. 385-390.
- LIANG, R. H.; CHEN, J.; LIU, W.; LIU, C. M.; YU, W.; YUAN, M.; ZHOU, X. Q. *Extraction, characterization and spontaneous gel-forming property of pectin from creeping fig (Ficus pumila Linn.) seeds*. Carbohydrate Polymers, v. 87, n. 1, p. 76-83, 2012.
- LIMA, R. F.; DIONELLO, R. G.; PERALBA, M. C. R.; BARRIONUEVO, S.; RADUNZ, L. L.; REICHERT JÚNIOR, F. W. *PAHs in corn grains submitted to drying with firewood*, Food Chemistry v. 215, p. 165-170, 2017.
- MATTA, F. P.; VIANA, J. M. S. *Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho-pipoca*. Sci. Agric., Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 845-951, 2001.
- MAZUMDER, P.; ROOPA, B. S.; BHATTACHARYA, S. *Textural attributes of a model snack food at different moisture contents*. Journal of Food Engineering v. 79, p. 511-516, 2007.
- MENEGUELO, A. P.; ARRIECHE, L. S.; BACELOS, M. S.; LIRA, T. S.; DAL-BÓ, V. *Aplicações da Engenharia de Processos em Sistemas de Energia*. Ed CRV, Curitiba, 2016.
- MIRANDA, G. V.; COIMBRA, R. R.; GODOY, C. L.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MELO, A. V. *Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca*. Pesquisa agropecuária. brasileira, Brasília, v.38, n.6, p. 681-688, 2003.
- PALOU, E.; LBPEZ-MALO, A.; ARGAIZ, A. *Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms of some Cookies and Corn Snacks*. Elsevier Science Ltd., 1997.
- PATEL, S.; KHANDELWAL, A.; LEAVEY, A.; BISWAS, P. *A model for cost-benefit analysis of cooking fuel alternatives from a rural Indian household perspective*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 56, p. 291-302, 2016.
- PERLINGEIRO, C. A. *Engenharia de processos: Análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

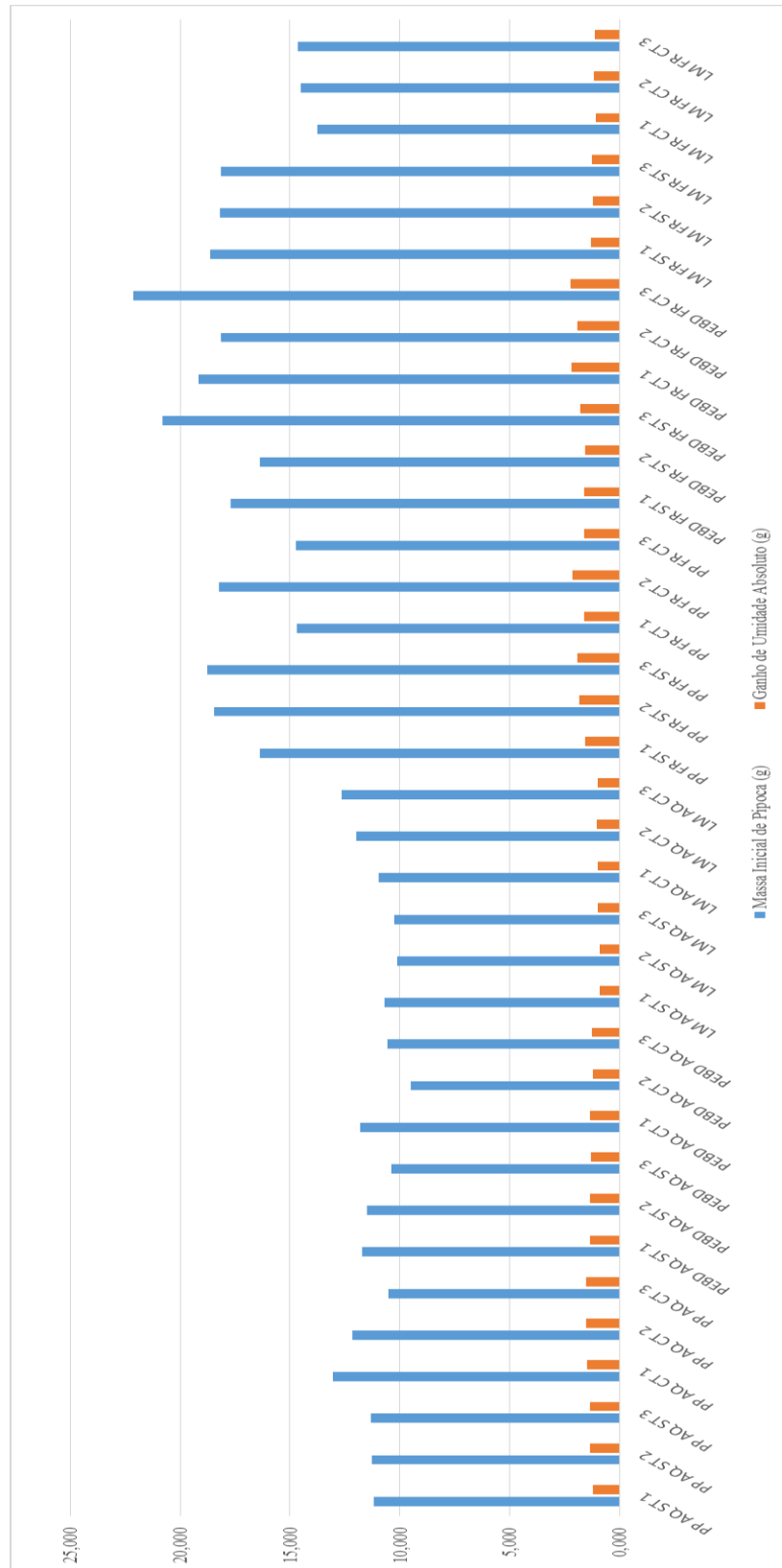
- QUINN, P. V.; HONGB, D. C.; BOTHC, J. A. *Increasing the size of a piece of popcorn*. Elsevier, 2005.
- RINALDI, D. A.; PÍPOLO, V. C.; GERAGE, A. C.; RUAS, C. F.; JÚNIOR, N. S. F.; SOUZA, A.; SOUZA, G. H.; GARBUGLIO, A. S. *Correlação entre heterose e divergência genética estimadas por cruzamentos dialélicos e marcadores moleculares rapd em populações de milho-pipoca*. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.2, p. 183-192, 2007.
- ROGER, J. P. *O poder medicinal dos alimentos*. Casa Publicadora Brasileira, Tatuí, SP, 2006.
- SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHERE, F.; MEULENAER, B.; ATUKWASE, A.; LAMBONI, Y.; DEBEVERE, J. M. *Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn*. *Journal of Food Engineering* v.79, p. 168-175, 2007.
- SAWAZAKI, E.; MORAIS, J. F.; LAGO, A. A. *Influência do tamanho e umidade do grão na expansão da pipoca*. Campinas, p. 157-160, 1986.
- SHAVIKLO, A. R.; AZARIBEH, M.; MORADI, Y.; ZANGENEH, P. *Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks*. *LWT - Food Science and Technology* v.63, p. 307-314, 2015.
- SHAVIKLO, G. R.; OLAFSDOTTIR, H.; SVEINSDOTTIR, K.; THORKELSSON, G.; RAFIPOUR, F. *Quality characteristics and consumer liking of a high fish protein puffed cornfish snack*. *Journal of Food Science and Technology* v.6, 668-676, 2011.
- SHIMONI, E.; DIRKS, E. M.; LABUZA, T. P. *The Relation Between Final Popped Volume of Popcorn and Thermal-Physical Parameters*. Elsevier Science Ltd., 2002.
- SIMON, G. A.; SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; PINTO, R. J. B.; BRACCINI, A. L.; TONET, A. *Depressão por endogamia em populações de milho-pipoca*. *Bragantia*, Campinas, v.63, n.1, p. 55-62, 2004.
- SIVAKUMAR, R.; SARAVANAN, R.; PERUMAL, A. E.; INIYAN, S. *Fluidized bed drying of some agro products – A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.61, p. 280-301, 2016.
- THAKORE, S. B.; BHATT, B. I. *Introduction to process engineering and design*, Editora McGraw-Hill Education, 2007.
- TIWARI, U.; GUNASEKARAN, M. A.; JAGANMOHAN, R., ALAGUSUNDARAM, K.; TIWARI, B. K. *Quality characteristic and shelf life studies of deep-fried snack prepared from rice broken and legumes by-product*. *Food Bioprocess Technology*, v.7, 1172-1178, 2011.

- WANI, S.A.; KUMAR, P. *Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage*. LWT - Food Science and Technology v.74, p. 448-455, 2016.
- WAI, W. W.; ALKARKHI, A. F.; EASA, A. M. *Comparing biosorbent ability of modified citrus and durian rind pectin*. Carbohydrate polymers, v. 79, n. 3, p. 584-589, 2010.
- WANSINK, B.; KIM, J. *Bad Popcorn in Big Buckets: Portion Size Can Influence Intake as Much as Taste*. Journal of Nutrition Education and Behavior, v.37, n.5, 2005.



## B. APÊNDICE B

Gráfico B. 0.1 – Relação entre a massa inicial das amostras e ao ganho de umidade.



Fonte: O autor.