

MESTRADO
EM DESIGN



UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE MINAS GERAIS



ESCOLA DE DESIGN

DANIELLE KENYA FRAGA

**PERSPECTIVAS DO DESIGN NA ELABORAÇÃO DE EMBALAGEM
POTENCIALMENTE ATIVA PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS FRESCOS**

Belo Horizonte
Setembro de 2021

DANIELLE KENYA FRAGA

**PERSPECTIVAS DO DESIGN NA ELABORAÇÃO DE EMBALAGEM
POTENCIALMENTE ATIVA PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS FRESCOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design.

Área: Tecnologia, Materiais e Ergonomia.

Linha de Pesquisa: Design, Materiais, Tecnologia e Processos.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Eliane Ayres

Coorientador: Prof^ª Dr^ª Caroline Salvan Pagnan

Belo Horizonte

Setembro de 2021.

F811

Fraga, Danielle Kenya

Perspectivas do Design na elaboração de embalagem potencialmente ativa para conservação de alimentos frescos. [Manuscrito] / Danielle Kenya Fraga - Belo Horizonte, 2021.

117 f.: tabs; grafos.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Eliane Ayres

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG - como requisito para a obtenção de grau de Mestre em Design.

1. Design 2. Sustentabilidade. 3. Embalagem ativa. I. Ayres, Eliane. II. Universidade do Estado de Minas Gerais. III. Título.

CDU – 7,05

Ficha catalográfica elaborada por Ariane Eliza da Silva Porto – CRB6/MG 3244

**PERSPECTIVAS DO DESIGN NA ELABORAÇÃO DE EMBALAGEM
POTENCIALMENTE ATIVA PARA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS FRESCOS.**

Autora: Danielle Kênya Fraga

Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 23 de setembro de 2021.



Rita A. C. Ribeiro
Coordenadora Mestrado e Doutorado
MASP 1231056-1
ESCOLA DE DESIGN - UEMG

Prof^a. Rita Aparecida da Conceição Ribeiro, Dra.
Coordenadora do PPGD

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Eliane Ayres, Dra.
Orientadora
Universidade do Estado de Minas Gerais



Prof^a. Caroline Salvan Pagnan, Dra.
Coorientadora
Universidade do Estado de Minas Gerais



Prof^a. Renata de Oliveira Gama, Dra.

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri



Prof^a. Rosemary do Bom Conselho Sales, Dra.

Universidade do Estado de Minas Gerais

“Nunca o homem inventará nada mais simples nem mais belo que uma manifestação da natureza. Dada a causa, a natureza produz o efeito no modo mais breve em que pode ser produzido.”

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

Nesses anos de mestrado, de muito aprendizados, empenho e estudo, gostaria de agradecer algumas pessoas pelas conquistas que me ocorreram nesta experiência vivida, e que foram fundamentais para a realização de mais este sonho. Primeiramente, sou grata a minha família pelo apoio e incentivo em seguir estudando. A minha irmã Kelly por ter o cuidado em me ajudar, ao meu cunhado Glauco por me incentivar a sempre melhorar. Ao meu marido Felipe, por me aturar nos momentos de stress e por me impulsionar e auxiliar nos experimentos e escrita. O meu maior agradecimento é aos meus pais, pelo apoio e presença constante em minha vida, que são os pilares que me sustentam em todos os passos que venho seguindo, a minha mãe e meu pai que sempre me mostram a importância de estar aprimorando meus conhecimentos. A todos vocês, minha família, sou infinitamente grata por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar e pela felicidade que tenho. Agradeço a leveza que a minha família de quatro patas me proporciona, e me alegram aliviando o peso da vida todos os dias, Nina, Tony, Zorro, Valente e Leia.

As minhas amigas e amigos que nunca deixaram de me incentivar, independentemente das minhas escolhas, sempre estiveram ao meu lado, para dar suporte e carinho.

Minha gratidão a Deus, que me concedeu a oportunidade de encontrar pessoas tão solícitas a minha volta, agradeço à minha orientadora e mentora, Eliane Ayres por ter a paciência em ensinar. Com você aprendi química, e me redescobri nas pesquisas e nos laboratórios, obrigada por ter depositado sua confiança em mim, sem sua orientação, apoio, confiança e amizade, este trabalho não se tornaria possível.

Não poderia deixar de citar minha coorientadora Caroline Salvan Pagnan, um obrigada especial, a sua simpatia e ajuda dispendida a mim, sendo você uma inspiração para todos os alunos. Agradeço a todos os professores da UEMG, sempre preocupados com a formação crítica e ética de seus alunos, especialmente a Professora Rosemary Sales, com qual tive maior proximidade e sempre se apresentou muito disposta a auxiliar.

Também sou imensamente grata, aos colegas do CDE (Centro Design e Empresa), pelos inesquecíveis momentos de alegrias compartilhados, vocês fazem parte dessa pesquisa,

obrigada Anne, Clara, Elisa, Liliane e Lauro, cujo esforços e auxílios tornaram possível a concretização desse projeto.

Ao Programa de Pós-graduação em Design da UEMG, servidores e colegas que de alguma maneira contribuíram para esta pesquisa, especialmente ao Rodrigo que organiza a “vida” de todos do programa. Agradeço também aos professores Dr. Edson Carpintero Rezende e a Dra. Gisele Rodrigues da Silva, membros da banca de qualificação, pelos conselhos, sugestões e interesse em contribuir para o desenvolvimento desse projeto. Sou muito grata também as instituições que abriram as portas e me ajudaram a comprovar meus testes, UFMG, UFOP e a CTEEx. A Capes que incentiva as pesquisas no nosso país, mostrando a força e a importância de enaltecer o conhecimento e firmar compromisso com novas teorias e produtos no âmbito nacional.

Por fim, o mais importante, agradeço a Deus e aos meus santos protetores, por estarem comigo me guiando, iluminando e protegendo. Obrigada por me acolherem com fé e força, cruciais para que eu nunca desistisse. Obrigada por estarem sempre zelando por mim.

Aos eternos Tony e Nina, que viraram estrelinhas. Meu eterno amor a vocês.

RESUMO

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de novas tecnologias de materiais aplicadas às embalagens de alimentos vem resgatando a importância da embalagem como ferramenta de sustentabilidade para a sociedade. As embalagens podem apresentar benefícios que são altamente significativos para o meio ambiente e para a segurança dos alimentos. O desenvolvimento de novos materiais com a abrangência que o design pode oferecer, viabiliza a criação proposta, tendo em vista que, as propriedades dos materiais são traçadas de acordo com o objetivo desta pesquisa. Nesse contexto, o objetivo da presente pesquisa foi obter uma alternativa natural aos filmes de PVC, comumente usados para acondicionar alimentos. A embalagem consiste em um tecido revestido cujo principal constituinte do revestimento é a cera de abelha. Apesar de alguns resultados terem sido mais favoráveis ao PVC, embalagens alternativas com menor impacto ambiental são uma tendência irreversível. Por ser reutilizável, auxilia na redução de perda de materiais, evitando o descarte de embalagens. Por outro lado, a cera de abelha é um material de mudança de fase, isto é, absorve ou libera calor, mantendo a temperatura praticamente constante durante sua mudança de fase (normalmente sólido para líquido). As propriedades térmicas dos revestimentos obtidos foram estudadas por calorimetria exploratória diferencial. Experimentos de termografia de infravermelho foram usados para avaliar o potencial do tecido revestido como embalagem ativa para conservação de maçãs minimamente processadas. Além disso, até onde vai o nosso conhecimento, é a primeira vez que o óleo de Buriti (*Mauritia flexuosa*), típico da região Amazônica, é usado para esse tipo de aplicação.

Palavras-chave: Design, Sustentabilidade, Cera de abelha, Embalagem ativa, Óleos vegetais.

ABSTRACT

In recent decades, the development of new material technologies applied to food packaging has been reclaiming the importance of packaging as a sustainability tool for society. Packaging can have benefits that are highly significant for the environment and food safety.

*The development of new materials with the scope that design can offer enables the proposed creation, considering that the properties of materials are traced according to the objective of this research. In this context, the objective of this research was to obtain a natural alternative to PVC films, commonly used to package food. The packaging consists of a coated fabric in which the main constituent of the coating is beeswax. Although some results were more favorable to PVC, alternative packaging with less environmental impact is an irreversible trend. As it is reusable, it helps to reduce material loss, avoiding packaging disposal. On the other hand, beeswax is a phase change material, that is, it absorbs or releases heat, keeping the temperature almost constant during its phase change (usually solid to liquid). The thermal properties of the obtained coatings were studied by differential scanning calorimetry. Infrared thermography experiments were used to assess the potential of the coated fabric as active packaging for the preservation of fresh-cut apples. Furthermore, as far as we know, it is the first time that Buriti oil (*Mauritia flexuosa*), typical of the Amazon region, is used for this kind of application.*

Keywords: Design, Sustainability, Beeswax, Active packaging, Vegetable oils.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1: | Sofá desenvolvido pela des-in com pneus reciclados..... | 15 |
| Figura 2: | Funções básicas das embalagens ativas e interfaces de atuação das embalagens ativas e inteligentes | 23 |
| Figura 3: | Produção da cera para armazenamento do mel | 26 |
| Figura 4: | Síntese esquemática da formação de micro/nanocápsulas de PCM/AgBr | 30 |
| Figura 5: | Incisão para extração do Breu | 31 |
| Figura 6: | Estrutura química de: (a) ácido abiético, (b) ácido levopimárico e (c) ácido pimárico | 32 |
| Figura 7: | Mercado Europeu do Breu por setor de aplicação | 33 |
| Figura 8: | Estrutura geral dos anéis polifenólicos mostrando o tipo e a numeração dos anéis. Estruturas do galol e catecol e estruturas gerais de catequinas, flavonóis, flavonas e antocianinas | 36 |
| Figura 9: | Estrutura química de alguns cartenóides | 37 |
| Figura 10: | Exemplo de molécula de tacoferol | 38 |
| Figura 11: | Jojoba – Arbusto e seu fruto..... | 40 |
| Figura 12: | Buritizeiro | 42 |
| Figura 13: | Esquema da configuração da amostra entre as garras no teste de ruptura..... | 47 |
| Figura 14: | Esquema de flutuação da força durante o teste de rasgo..... | 47 |
| Figura 15: | Curva típica de força-deslocamento de carga / descarga na configuração do rasgo da língua..... | 48 |
| Figura 16: | Esquema representativo das tensões superficiais e do ângulo de contato entre uma gota e uma superfície | 49 |
| Figura 17: | Diagrama que mostra a relação do ângulo de contato θ com a molhabilidade da superfície | 49 |
| Figura 18: | Esquema da metodologia utilizada para a obtenção da embalagem proposta na presente pesquisa..... | 51 |
| Figura 19: | Pré-tratamento do tecido para receber o revestimento..... | 52 |
| Figura 20: | Método proposto para obtenção do tecido revestido..... | 53 |
| Figura 21: | Tecido sob agitador magnético | 54 |
| Figura 22: | Corpo de prova para ensaio de resistência estática ao rasgo..... | 56 |
| Figura 23: | Corpo de prova ressaltando os sentidos de corte urdume e trama..... | 56 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 24: | Resultados preliminares das amostras para embalagem..... | 60 |
| Figura 25: | Amostras comprobatórias..... | 62 |
| Figura 26: | Como PCMs funcionam com a flutuação da temperatura..... | 62 |
| Figura 27: | Curvas de DSC do aquecimento (EXO para baixo) | 64 |
| Figura 28: | Curvas de DSC do resfriamento (EXO para baixo) | 66 |
| Figura 29: | Curvas de DSC do ciclo de aquecimento-resfriamento da cera de abelha..... | 67 |
| Figura 30: | Curva de TG do Breu..... | 68 |
| Figura 31: | Micrografia das amostras de tecido de algodão. a) após o pré-tratamento de purga e b) revestido com a composição de cera de abelha, breu e óleo de buriti (R-Buriti). 4000X..... | 69 |
| Figura 32: | Variação da força de rasgamento durante o teste: (a) sem revestimento - urdume (F = 7,2 N e L _i = 10,0 mm), (b) com revestimento – urdume (F = 7,1 N e L _i = 6,6 mm), (c) sem revestimento – trama (F = 8,1 N e L _i = 10,2 mm) e (d) com revestimento – trama (F = 7,5 N e L _i = 6,8 mm)..... | 71 |
| Figura 33: | Medida de força máxima nos sentidos urdume e trama..... | 73 |
| Figura 34: | Imagem da gota séssil (2,0 µL) sobre a superfície do tecido revestido..... | 74 |
| Figura 35: | Imagens das gotas de água sobre a superfície dos tecidos revestidos: (a) revestimento com óleo de Jojoba (R-Jojoba) e (b) revestimento com óleo de Buriti (R-Bu)..... | 75 |
| Figura 36: | Fotografia das maçãs preparadas para os experimentos..... | 77 |
| Figura 37: | Fotografia das maçãs acondicionadas..... | 77 |
| Figura 38: | Índice de escurecimento (BI) das amostras de maçã após 1 h do início do experimento. (Sem R. = maçã não acondicionada) | 78 |
| Figura 39: | Processos que ocorrem nos vegetais..... | 81 |
| Figura 40: | Perda gradual de massa (M%): (a) R-Jojoba, (b) R-Buriti e (c) PVC..... | 82 |
| Figura 41: | Acidez titulável (TA%) após 24 h de acondicionamento nas embalagens testada..... | 85 |
| Figura 42: | Imagens visíveis e térmicas no início do experimento de IRT: (a) tecido de algodão revestido (R-Buriti) e (b) filme de PVC..... | 87 |
| Figura 43: | Imagens térmicas e foto do estado geral das maçãs após cinco dias embaladas e mantidas em temperatura ambiente: (a) tecido de algodão revestido (R-Buriti) e (b) filme de PVC..... | 87 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 44: | Posicionamento de medição realizado durante o experimento: (a) R-Buriti, (b) R-Jojoba e (c) PVC..... | 89 |
| Figura 45: | Maçãs acondicionadas em: (a) R-Buriti, (b) R-Jojoba e (c) PVC..... | 89 |
| Figura 46: | Imagens termográficas do acompanhamento do amadurecimento das maçãs.. | 90 |
| Figura 47: | Oscilação da temperatura sobre as linhas de perfil verticais (R-Buriti)..... | 91 |
| Figura 48: | Oscilação da temperatura sobre as linhas de perfil verticais (R-Jojoba)..... | 92 |
| Figura 49: | Oscilação da temperatura sobre as linhas de perfil verticais (PVC)..... | 92 |
| Figura 50: | Tendência de oscilação da temperatura da parte sadia da maçã ao longo de 28 dias..... | 94 |
| Figura 51: | Tendência de oscilação da temperatura da parte deteriorada da maçã ao longo de 28 dias..... | 95 |
| Figura 52: | Diferença de temperatura na parte superior das maçãs, inicial e após 28 dias de acondicionamento nas diferentes embalagens..... | 96 |
| Figura 53: | Aspecto visual entre as maçãs acondicionadas em R-Buriti e PVC, após 28 dias..... | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1: | Estrutura química e abundância relativa dos diferentes componentes da cera de abelha | 28 |
| Tabela 2: | Materiais usados para obtenção dos revestimentos | 50 |
| Tabela 3: | Propriedades térmicas obtidas a partir das curvas de DSC no aquecimento.... | 65 |
| Tabela 4: | Propriedades térmicas obtidas a partir das curvas de DSC no resfriamento..... | 66 |
| Tabela 5: | Média das medidas do ângulo de contato (θ) em diferentes regiões das amostras..... | 76 |
| Tabela 6: | Perda gradual de massa ($M\%$) das fatias das maçãs..... | 82 |
| Tabela 7: | Mediadas pontuais de temperatura das maçãs na parte inferior e superior..... | 93 |

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

| | |
|---------------|---|
| α | Alfa |
| ABRE | Associação Brasileira de Embalagem |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| β | Beta |
| cm | Centímetro |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EM | Ensaio Mecânico de tração |
| FTIR | Espectrometria de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier |
| IMA-MT | Instituto Mato-Grossense do Algodão |
| g | Grama |
| °C | Graus Celsius |
| H | Hora |
| Kg | Quilograma |
| L | Litro |
| > | Maior |
| MPa | Mega pascal |
| μL | Microlitro |
| MEV | Microscopia eletrônica de varredura |
| mg | Miligrama |
| mL | Mililitro |
| mm | Milímetro |
| min. | Minuto |
| N | Newton |
| n° | Número |
| ω | Ômega |
| PCM | Material de mudança de fase |
| % | Porcentagem |
| T | Temperatura |
| T_m | Temperatura de fusão |
| v/v | Volume por volume |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 OBJETIVOS..... | 11 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 11 |
| 2.2 Objetivos específicos | 11 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 13 |
| 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 5.1 Design Orientado à Sustentabilidade..... | 14 |
| 5.2 Algodão Orgânico | 20 |
| 5.3 Embalagens ativas..... | 22 |
| 5.4 Cera de abelha | 25 |
| 5.4.1 Composição da cera de abelha..... | 27 |
| 5.4.2 A cera de abelha como PCM..... | 29 |
| 5.5 Breu | 31 |
| 5.5.1 Composição do Breu..... | 32 |
| 5.6 Óleos Vegetais..... | 34 |
| 5.6.1 Óleo de Jojoba | 40 |
| 5.6.2 Óleo de Buriti..... | 41 |
| 5.7 Caracterizações | 44 |
| 5.7.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)..... | 44 |
| 5.7.2 Termogravimetria (TG) | 45 |
| 5.7.3 Microscopia eletrônica de varredura MEV | 46 |
| 5.7.4 Ensaio mecânico (EM) | 46 |
| 5.7.5 Medida de ângulo de contato | 48 |
| 6 PARTE EXPERIMENTAL..... | 50 |
| 6.1 Materiais..... | 50 |
| 6.2 Métodos..... | 51 |
| 6.3 Caracterizações do revestimento e tecido revestido | 54 |

| | |
|--|------------|
| 6.3.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)..... | 54 |
| 6.3.2 Termogravimetria (TG)..... | 55 |
| 6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 55 |
| 6.3.4 Propriedades mecânicas (Resistência ao rasgo)..... | 55 |
| 6.3.5. Medidas de ângulo de contato..... | 57 |
| 6.4 Avaliação do desempenho da embalagem..... | 57 |
| 6.4.1 Colorimetria..... | 57 |
| 6.4.2 Perda de água..... | 58 |
| 6.4.3 Acidez titulável (TA)..... | 58 |
| 6.4.4 Termografia de infravermelho (IRT)..... | 59 |
| 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 59 |
| 7.1 Prospecção da composição e aplicação do revestimento..... | 59 |
| 7.2. Caracterizações do revestimento e tecido revestido..... | 62 |
| 7.2.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)..... | 62 |
| 7.2.2 Termogravimetria (TG)..... | 68 |
| 7.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)..... | 69 |
| 7.2.4 Propriedades mecânicas (Resistência ao rasgo)..... | 69 |
| 7.2.5 Medidas de ângulo de contato (θ)..... | 74 |
| 7.3. Avaliação do desempenho da embalagem..... | 76 |
| 7.3.1 Colorimetria..... | 78 |
| 7.3.2 Perda de massa (M%)..... | 81 |
| 7.3.3 Acidez titulável (TA%)..... | 84 |
| 7.3.4 Experimentos de termografia de infravermelho (IRT)..... | 86 |
| 8 CONCLUSÕES..... | 98 |
| 9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 100 |
| Anexo 1..... | 116 |
| Anexo 2..... | 117 |

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de desenvolvimento de embalagens apropriadas para alimentos *in natura* é uma tarefa melindrosa, diferentemente de outros produtos os alimentos frescos continuam respirando. A concepção de uma embalagem necessita garantir proteção mecânica, diminuir os impactos do oxigênio, retardar a respiração, a senescência e conseqüentemente todas as alterações indesejáveis advindas de processos fisiológicos (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2001).

A partir da década de 60, ocorre uma transformação nos hábitos de consumo dos indivíduos pois, observa-se então uma crescente demanda pelo consumo de produtos industrializados, o que desencadeia diversos problemas a serem enfrentados, tais como, a grande quantidade de resíduos e a percepção da limitação dos recursos ambientais (VEZZOLI, 2010).

Dentro deste contexto, como resposta à sociedade, o desenvolvimento de novos produtos visando alcançar a sustentabilidade evoluiu, agregando o reconhecimento da importância que o design tem sobre o ambiente. A percepção das exigências do mercado faz com que seja primordial o desenvolvimento de produtos sustentáveis, a fim de diminuir os impactos ambientais, dispendo de produtos com características como o reuso e a reciclagem.

Produtos oriundos do petróleo como exemplo, os filmes plásticos, possuem um inconveniente crucial do seu uso em embalagens, que é pós-resíduo do consumidor. O setor de embalagens é de longe o maior contribuinte para a geração de resíduos plásticos (FERREIRA *et al.*, 2016).

Assim os principais filmes de proteção de alimentos utilizados na atualidade, são aqueles fabricados com uso de polímeros derivados do petróleo. De tal forma que, utilizar estes materiais, com característica não biodegradável, tem se tornado um grave problema ambiental. Nesse sentido, um dos grandes desafios para os profissionais de design é contribuir com a sustentabilidade. Materiais biodegradáveis e de fontes renováveis são uma alternativa saudável para redução desse impacto negativo, e que constituem uma importante ferramenta tecnológica para aumentar a vida útil de alimentos acondicionados, em especial no caso dos minimamente processados, além dos produtos susceptíveis a oxidação (RESTREPO-FLOREZ; BASSI; THOMPSON, *et al.* 2014).

Diante das respostas e mudanças do mercado, e exigências dos cada vez mais consumidores “sem tempo”, a embalagem tornou-se uma importante parceira da cadeia alimentar. O emprego da embalagem para conservar os alimentos frescos por mais tempo é um conceito denominado de embalagem ativa, é um sistema inovador, no qual agentes bioativos estão na embalagem e não no produto (SILVA *et al*, 2021).

Mestriner (2015) ressalva a importância dos designers para o desenvolvimento de uma embalagem que visa oferecer segurança e que seja reutilizável, além de possuir características ativas. As indústrias, principalmente as de alimentos, buscam desenvolver embalagens que utilizam materiais orgânicos, biodegradáveis e que de preferência auxiliem na qualidade do produto, uma vez que a reciclagem também gera um impacto ambiental (SUPPAKUL *et al.*, 2003).

Nesta desafiadora atividade é necessário ir além do desenho se quiserem obter sucesso. Para emergir novas alternativas no mercado, este profissional precisa estar alinhado aos conceitos de sustentabilidade, valorizar a diversidade, propor, criar e desenvolver produtos que respeitem as necessidades do presente e futuro.

A criação de uma embalagem bioativa e ambientalmente amigável requer conhecimentos de quais mecanismos mantém o produto fresco por mais tempo. Assim, o oxigênio é o responsável por muitos processos de degradação dos alimentos, tais como, a oxidação de lipídios, o crescimento de micro-organismos, escurecimento enzimático e perda de vitaminas. A oxidação resulta em perda de sabor e cor, além da perda de nutrientes, visto que esse processo acelera o consumo de açúcares e outros compostos, aumentando assim a produção de etileno e causando a senescência, que consiste no processo de envelhecimento. Porém, alguma disponibilidade de oxigênio é necessária para a respiração dos tecidos vivos. O efeito deletério do oxigênio no alimento é comumente retardado com a aplicação de agentes antioxidantes, sendo que, alguns óleos vegetais possuem quantidades significativas de antioxidantes (SULEMAN *et al.*, 2019).

Há ainda agentes bioativos que podem tornar inativa uma grande variedade de bactérias e fungos, tornando a embalagem ainda mais atrativa. Um exemplo é a cera de abelha, a qual é comercialmente conhecida por ser abundante e ser advinda da chamada “tecnologia verde”. Este composto pode ser utilizado em diversos ramos da indústria e na obtenção de coberturas, além de ser altamente favorável à aplicação pretendida na presente proposta devido à elevada hidrofobicidade e por ser atóxico (BONILLA, 2012).

Outro exemplo é o Breu, colofônia ou colofônia que é uma resina amarela, com alto potencial bioativo, sólido e transparente, sua matéria prima é advinda de resinas de árvores coníferas, uma mistura viscosa composta pelo breu, terebentina e água, com propriedades antibacterianas relatadas na literatura atual (KANERVA *et al.*, 2019).

Esta pesquisa visou desenvolver uma embalagem ativa, com materiais conhecidos por serem biodegradáveis, e a possibilidade de ser reutilizável. Tal embalagem é composta de cera de abelha, breu e óleos vegetais. Essa seria uma alternativa natural aos filmes de PVC, usados para acondicionar alimentos, que não são reutilizados e rapidamente se transformam em lixo. Atualmente existem embalagens similares, normalmente comercializadas em websites, porém não têm suas propriedades plenamente exploradas. Uma delas, comercializada com a marca de *Abeego*, foi testada e demonstrou capacidade de inibir significativamente o número de células viáveis de bactérias, Gram-positivas e Gram-negativas (PINTO *et al.*, 2021). Segundo os autores, presumivelmente, grande parte da atividade antibacteriana vem da fração de própolis da cera de abelha. No entanto, também pode haver contribuições do breu, óleo e até do tecido.

O presente trabalho explorou a substituição do óleo de Jojoba, comumente usado nas composições, pelo óleo de Buriti, o óleo extraído da fruta do Buriti (*Mauritia flexuosa*), uma palmeira abundante na região amazônica do Brasil (DURÃES *et al.*, 2006).

Por outro lado, PCMs, do inglês *phase change materials*, são materiais que absorvem e liberam calor à temperatura praticamente constante enquanto sofrem a mudança de fase (KUMAR *et al.*, 2013). Papelão funcionalizado com partículas de PCM é um exemplo de embalagem termoativa. Uma diferença notável foi observada no tempo de resposta do material tratado com PCM, que levou cerca de 10 minutos a mais do que o papelão puro para atingir a temperatura na qual a amostra deveria ser resfriada (FERNANDES *et al.*, 2021).

As propriedades térmicas da cera de abelha são similares aos materiais adequados para armazenamento de energia térmica (DINKER *et al.*, 2017). Nesse âmbito, uma hipótese preliminar foi sugerida de que a cera de abelha estaria ajudando no controle térmico dos tecidos revestidos pelo fato de funcionar como PCM. Estudos mais detalhados, envolvendo devem ser realizados em um futuro próximo. Principalmente experimentos com termografia de infravermelho (IRT), os quais já foram contemplados na presente pesquisa, porém com foco no comportamento térmico em maçãs acondicionadas no tecido revestido, e não no tecido em si.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Revestir tecidos de algodão com composições que tenham a cera de abelha como componente principal visando uma embalagem potencialmente ativa e reutilizável, alternativa aos filmes de PVC usados para acondicionar alimentos.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Obter composições a base de cera de abelha, breu e óleo de Jojoba ou Buriti;
- ✓ Selecionar as composições mais adequadas e revestir tecidos de algodão;
- ✓ Fazer um estudo preliminar das composições a base de cera de abelha a fim de verificar seu papel como material de mudança de fase (PCM);
- ✓ Caracterizar as propriedades dos tecidos revestidos visando, principalmente, compará-los com filmes de PVC, comumente usados para embalar alimentos;
- ✓ Avaliar o desempenho da embalagem por meio de testes realizados com maçãs acondicionadas nos tecidos revestidos;
- ✓ Divulgar os resultados da pesquisa em congressos e revistas na área de materiais e design.

3 JUSTIFICATIVA

O aumento da demanda dos consumidores por alimentos de melhor qualidade, adicionado a necessidade ambiental em reduzir resíduos de embalagens descartáveis, nos levam a uma grande ampliação no interesse pela pesquisa em embalagens potencialmente biodegradáveis, portanto, ambientalmente amigáveis. Dado que a maioria dos produtos alimentares chegam ao consumidor com algum tipo de tecnologia na embalagem (incluindo seus revestimentos), esta tornou-se uma importante parceira da cadeia alimentar. A customização de embalagens de alimentos para prolongar a vida de prateleira, enquanto mantém a qualidade do produto no interior, é um conceito denominado de “embalagem ativa”, que tem recebido atenção nos últimos anos, em resposta às mudanças do mercado e exigências dos consumidores. Um exemplo destas mudanças é o recente surgimento de embalagens que consistem em tecido de algodão com um revestimento cujo componente principal é a cera de abelha.

Normalmente tais embalagens não são produzidas no Brasil, embora algumas opções artesanais já tenham começado a aparecer em *websites*. A possibilidade de produzi-las com mais critério, avaliando seu desempenho por meio de testes específicos, é uma maneira de agregar valor a esse tipo de embalagem.

Além disso, a possibilidade de usar um óleo vegetal típico da região Amazônica, pode ser uma mais uma alternativa de geração de renda para as comunidades locais.

A natureza multidisciplinar do projeto (design de produto, engenharia de materiais e química) vem ao encontro da tendência atual, que é superar a clássica fragmentação de áreas existentes. Nessa forma de atuação, o projeto engloba de forma transversal, dialogando com outras disciplinas, enxergando novas possibilidades e propondo novos entrelaçamentos.

4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação estrutura-se em seis seções: Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Design do Produto, Obtenção do Protótipo do Produto, Experimentos e Resultados.

- I- A Introdução traz um panorama sobre a pesquisa, apresenta a problematização, a justificativa, os objetivos e as demais informações sobre como foi organizada a pesquisa.
- II- A Revisão Bibliográfica apresenta os principais temas que rodeiam o estudo da pesquisa, evidenciando temas fundamentais como: Ecodesign (abordando a importância ecológica), Propriedades da Cera de Abelha (caracterizando seus componentes e funcionalidades), Propriedades dos Óleos Vegetais (caracterização e benefícios) e Embalagens Ativas (aborda conceito e estudos na área).
- III- A seção de Materiais e Métodos aborda a fase experimental a ser desenvolvida nesta pesquisa. Caracterizações e materiais utilizados, são explicados como os processos que devem ser utilizados para a mistura da cera de abelha com o óleo vegetal e a aplicação sobre o tecido de algodão orgânico. Sendo assim são definidas as caracterizações utilizadas e procedimentos seguidos.
- IV- Design do Produto e Obtenção do Protótipo visa apresentar o material pronto, estudo da forma e cor.
- V- Experimentos e Resultados são apresentados testes e seus resultados os quais foram obtidos através da análise dos protótipos e do alimento modelo (maçã).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é demonstrado o levantamento do conhecimento, no âmbito da pesquisa bibliográfica, que evidencia o ecodesign, as propriedades dos materiais que foram empregados na embalagem proposta, o levantamento de embalagens ativas, além dos processos utilizados para a análise de dados comprobatórios da funcionalidade da embalagem ativa.

A metodologia inicial utilizada tem como base a pesquisa bibliográfica sobre os tipos de embalagens, os materiais empregados, as características dos óleos vegetais, a análise das propriedades da cera de abelha e do Breu.

As principais questões abordadas para o desenvolvimento desta pesquisa, foram o estudo de materiais apropriados para desenvolver uma embalagem bioativa que garanta a preservação, a qualidade e a segurança dos alimentos.

5.1 Design Orientado à Sustentabilidade

As notícias de caráter ambiental como aquecimento global, desequilíbrio do ecossistema e poluição em grande escala, têm se tornado comuns e adquirem um enfoque significativo em diversas áreas do conhecimento, incluindo o design. É inegável associar o conceito do design com a revolução industrial, quando se observou o aumento exponencial de produção de bens de consumo, uma vez que em tal período os produtos passaram por mudanças em suas fabricações, otimizando suas características e formas (SLATER, 2003).

A partir da revolução industrial, no século XVIII, surgiu a ideia de atender necessidades de consumo e produção. Neste contexto, surge uma demanda para o design. Na década de 60, a transformação dos hábitos de consumo trouxe um novo problema a ser enfrentado, destacando a discussão sobre como lidar com uma grande quantidade de resíduos e a percepção crescente de limitação de recursos ambientais, essas alavancadas por uma crescente preocupação com o equilíbrio ambiental e a necessidade de construir uma relação pacífica entre homem e natureza. Nesta mesma época, começaram então os movimentos de caráter ecológico, conferências, tratados e reuniões para discussão sobre o meio ambiente (VEZZOLI, 2010).

Heskket (2012), cita que no período da Revolução Industrial, o modelo econômico era centrado nos aspectos dos produtos e não dos serviços, portanto, o design era incorporado como

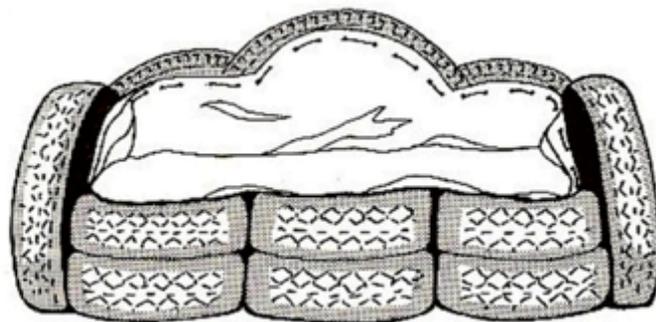
elemento estético, com o propósito de aquecer o mercado e trabalhar com o desejo dos consumidores em adquirir os produtos.

Nas décadas seguintes aparece o termo consumidor consciente, e com ele a necessidade de desenvolvimento de produtos ecológicos e uma diferente postura entre os profissionais que os desenvolvem, dando início ao design sustentável, também conhecido como ecodesign (CARDOSO *et al*, 2008).

O ecodesign começa a surgir em uma de suas primeiras definições, inspirado pelas ideias de reaproveitamento e passa a ter uma dimensão maior, sendo associado ao ciclo de vida do produto e consolida o conceito de que o descarte inicial não é o fim da vida do material (NAIME & GARCIA, 2004 e NAIME, 2005).

Seguindo o contexto dessa consciência de cariz ambiental, em 1974 foi desenvolvida uma das primeiras propostas de design voltado a materiais de reuso. A Escola Superior de Design de Offenbach, na Alemanha chamada "des-in", projetou um sofá com material reutilizado a partir de pneus usados para sua produção, conforme ilustrado na figura 1, tendo como objetivo participar de um concurso de design em Berlim. A realização deste projeto incluía a produção e a venda dos próprios produtos. Cabe salientar que o “des-in” foi o primeiro grupo que buscou na prática conectar alternativas de projeto sustentável (BURDEK, 1999).

Figura 1 - Sofá desenvolvido pela des-in com pneus reciclados



Fonte: BÜRDEK, 1999, p.58

Segundo Cara (2008), a função do design é estabelecer um conceito, descobrir relações estruturais, organizacionais, funcionais, expressivas e econômicas, desde que essas se relacionem com o produto, com a produção e que vise a proteção ambiental e, no que se refere

ao desenvolvimento sustentável, as consequências do impacto entre as atividades econômicas e o meio ambiente. Atuar como designer é compreender a capacidade de causar transformações que vão além da estética.

Nesta crescente preocupação com a sustentabilidade, o design de produto toma forma e relevância. Um dos conceitos citado por Arrivabene (2009) mostra a importância do design em projetar como o produto se relaciona com cada coisa em cada etapa de sua vida. Aborda-se desde a origem da montagem na linha de produção, seu transporte, distribuição, como ficará no ponto de venda, como serão transmitidas suas mensagens explícitas e implícitas ao usuário final, como poderá ser utilizado e afetado por ele, como se dará seu descarte e seu relacionamento com a natureza e a sociedade até sua degradação completa.

A sustentabilidade é introduzida por Manzini (2008), como um processo de aprendizado social, onde o autor argumenta que reduzir o consumo pode ser a melhor alternativa para reestabelecer o ecossistema global e destaca esta ação de “orientação estratégica”, que visa solucionar o problema sem provocar um caos social. As empresas, designers e cidadãos podem contribuir ajustando suas necessidades com critérios sustentáveis.

Para entender melhor a sustentabilidade, Lozano (2012) traz um dos conceitos utilizados que é o de dar suporte a alguma condição, a algo ou a alguém que é essencial para o processo de existir. A Sustentabilidade se apoiou neste conceito, que aponta “uma abordagem holística que considera as dimensões ambiental, social e econômica, reconhecendo que todas devem ser trabalhadas em conjunto para uma prosperidade duradoura” (BCSD, 2020).

Atualmente, sustentabilidade é um termo utilizado para indicar o bom uso dos recursos naturais e está normalmente relacionado a uma atitude ou estratégia ecologicamente correta, economicamente viável, socialmente justa e que respeita a diversidade cultural, o que confirma o seu significado em sua origem, sustentável em latim, *sustentare*, que significa sustentar, apoiar e conservar, sendo que o esperado dela não é apenas reduzir o impacto negativo mas sim produzir um impacto positivo (LACY *et al.*, 2020).

A consciência ambiental fez com que surgissem os termos “ecodesign” ou “design sustentável”, que tem como finalidade projetar e elaborar produtos com consciência. Contudo, esses termos vêm se tornando “clichês” nos últimos anos pelo *marketing* aplicado por diversas empresas, com uma linguagem visual apelativa envolvendo a cor verde, com símbolos que remetem a desenhos de árvores, animais, demonstrando ao consumidor uma falsa sensação de

que a empresa se importa com a “sustentabilidade” do meio ambiente (MURAD; AMARAL; NEMÉZIO E BOFF; 2013).

Para uma empresa ser considerada sustentável, é necessário muito mais que utilizar a cor verde; é saber compreender o funcionamento do ciclo como um todo, produto, consumo, produção, descarte e o que é possível fazer para que a sua reciclagem ou reuso cause menor interferência no ecossistema (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Brunetti e Sant’anna (2003), citam que “o ecodesign passa a ser o novo marco diretivo da humanidade para o gerenciamento de qualquer conflito ambiental”. Já Martirani (2006) expõe o ecodesign como um termo formado a partir dos elementos (ecologia e design) fazendo transmitir a ideia do seu significado. Sob outra perspectiva, Ryn e Cowan (2007), descrevem o design ecológico como “qualquer forma de design que minimize os impactos destrutivos do meio ambiente através da sua integração com o processo de viver” e conclui ainda que o design ecológico é uma área do design guiada pela integração e responsabilidade ecológica.

Segundo Pazmino (2007), o ecodesign deve ser “economicamente viável, isto é, um produto competitivo no mercado e ecologicamente correto, minimizando o impacto ao meio ambiente” (PAZMINO, 2007, p. 5).

Bhamra e Lofthouse (2007) destacam que aparecem várias abordagens para referenciar o design e sua ligação ao meio ambiente, nomenclaturas como: *Green Design* e consumismo; Design responsável e consumo ético; ecodesign e Sustentabilidade. Os projetos passaram a destacar a responsabilidade social, os direitos humanos, as questões ambientais e éticas em detrimento de projetos apenas para o lucro.

A associação da sustentabilidade à produção consciente de novos produtos passa a ganhar enfoque a partir da pós-modernidade. Alguns autores não definem mais o ecodesign como uma área a parte do design e sim um atributo para o processo de desenvolvimento de qualquer projeto. Diante dessa visão, o design visa descobrir e avaliar as relações estruturais, organizacionais e econômicas, com a tarefa de ressaltar a sustentabilidade e a proteção ambiental, o que traz benefícios e liberdade para a comunidade, individual e coletivamente, integrando consumidores, produtores e mercado (JOORE, 2015).

O Design sustentável passa a ser uma vantagem para o mercado, onde a concorrência caminha em ascensão e pode se agregar ao produto como um diferencial. Um novo perfil de consumidor surgiu no mercado, chamado consumidor verde ou consumidor ecologicamente consciente, no qual possuem como principais características:

[...] pagar mais caro por um produto ambientalmente responsável, ele não adquire produtos sem o selo de produto ecologicamente responsável, prefere produtos com embalagens recicláveis e biodegradáveis, entre outros comportamentos (LACERDA, 2013).

Esses consumidores se encontram em busca dos produtos verdes, que são aqueles ambientalmente corretos, que reduzam a agressão ao meio ambiente e a saúde humana, além de atenderem às normas legais e possuir outros atributos ambientalmente responsáveis. Esses materiais são assim classificados não só baseado no produto final, como também na observação e análise de toda sua cadeia produtiva (BEDANTE, 2004).

A geração passada não foi educada com a mesma preocupação e ênfase ambiental como as gerações atuais, que estão sendo ambientalmente envolvidas e com um maior entendimento em relação ao meio ambiente. A criação de novas tecnologias e produtos têm que se preocupar com esse novo tipo de consumidor, pois, em um futuro breve, serão a maioria de usuários de serviços e produtos (LACERDA, 2013).

Esta predisposição do consumidor para a saúde, bem-estar e alimentação, influencia o setor de embalagens, sobretudo o setor alimentício, visando que os alimentos inseridos não sofram com contágio e para que estes não sofram interferência química. As preocupações crescentes dos consumidores, combinado aos regulamentos governamentais, no que diz respeito aos padrões de saúde e segurança alimentares, se fazem essenciais, propondo evitar a oxidação dos alimentos sem aditivos prejudiciais, o que implica incorporar sistemas de embalagens ativas naturais, para alcançar uma embalagem satisfatória (MARKET INSIGHTS REPORTS, 2020).

Não há dúvida de que o uso de plásticos no setor de embalagens alimentares tem influenciado a qualidade de vida. Um estudo sobre as vias de exposição ao plástico executado pela University of Newcastle concluiu que, em média, uma pessoa ingere 5 gramas de plástico por semana, o equivalente a um cartão de crédito. Afirma também que a população está exposta à presença de partículas de plástico na água do cano e engarrafada, além de bens de consumo como cerveja, frutos do mar e sal (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2016; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019). Diversas pesquisas têm relacionado a exposição aos microplásticos a algumas doenças, como cancro, doenças relacionadas com a fertilidade e doenças cardíacas (HAN & HONG, 2016; CHIANG *et al.*, 2020; TSE *et al.*, 2018; CAPOROSI *et al.*, 2020).

A expansão do setor de embalagens sustentáveis é justificada em grande parte pela indústria dos alimentos, que representa mais da metade das embalagens sustentáveis do mundo.

(MARKET INSIGHTS REPORTS, 2020). A embalagem ativa sustentável visa também auxiliar a evitar o desperdício alimentar, contribuindo para a diminuição da agressão que este setor coloca sobre o ecossistema (HELLER *et al.*, 2019; PAUER *et al.*, 2019).

A redução do desperdício alimentar pode ser alcançada através da incorporação de tecnologias de diversas maneiras, que confirmam inteligência às embalagens, ou através da incorporação de agentes antioxidantes (WIKSTRÖM *et al.*, 2018). Uma embalagem alimentar deve ser circular, que significa uma embalagem reutilizável ou compostável, que utiliza uma quantidade reduzida de resíduos (LACY *et al.*, 2020).

No caso das embalagens alimentares, a reutilização apenas pode ser considerada para recipientes laváveis e recarregáveis. Um exemplo que busca reduzir as embalagens excessivas e banir os resíduos de embalagem é a União Europeia, que aposta no design para a criação de embalagens reutilizáveis e recicláveis (COMISSÃO EUROPEIA, 2020). Em concordância, a ONU relata a sua posição quanto à importância do problema dos plásticos nos objetivos do desenvolvimento sustentável e decidiu expor este assunto na sua publicação “*The United Nations Environment Assembly Resolutions on Marine Litter and Microplastics*”, em que aconselha que os países atuem sobre os microplásticos, plásticos descartáveis e lixo marinho, que demonstra através da sua campanha “Clean Seas” destinada ao setor privado, os governos e a população em geral sobre a poluição por plástico (NIELSEN *et al.*, 2019).

As embalagens de diversos alimentos perecíveis comercializados não são sustentáveis, mesmo se tratando de produtos frescos, orgânicos e que proporcionam o bem-estar e saúde. Faz-se necessário o desenvolvimento e aplicação de soluções para a embalagem destes alimentos. Embalagens projetadas para tal função visam o favorecimento da conservação dos produtos, reduzindo os desperdícios. Com sua reutilização, há uma diminuição do descarte de embalagens plásticas derivadas de petroquímicos, portanto contribuindo para a solução de problemas ambientais, como resíduos desnecessários e até mesmo de alimentos. As embalagens ativas mostraram-se essenciais por prolongarem a vida útil de um produto, em especial no caso de alimentos susceptíveis à oxidação (BONILLA, 2012).

Estão sendo realizadas pesquisas acadêmicas e no setor comercial, com o objetivo de ampliar tecnologias sustentáveis no setor de embalagens de alimentos. Na contemporaneidade, está se iniciando novas soluções com o objetivo de aumentar a vida útil dos alimentos de forma que não se prejudique a saúde dos consumidores e do ecossistema. Com o poder de alterar e influenciar a maneira do consumo, o design tem uma posição fundamental no desenvolvimento

de novas tecnologias no setor de embalagens, podendo substituir a experiência do usuário com produto, oferecendo melhores maneiras de interação entre a mercadoria e a embalagem (FONTOURA; CALIL e CALIL, 2016).

A inovação no setor de embalagens, principalmente de produtos alimentícios perecíveis, se mostra necessária, utilizando produtos naturais e biodegradáveis, potencializando a interação da saúde do consumidor com o meio ambiente (CONSUMO SUSTENTAVÉL, 2005).

As embalagens alimentares que propõe o desenvolvimento sustentável, devem ter três aspectos específicos, que são o impacto ambiental causado diretamente pela embalagem, o impacto ambiental do alimento que contém e a circularidade, (PAUER *et al.*, 2019). Ou seja, uma embalagem alimentar sustentável deve ter o menor impacto ambiental possível durante a produção e o descarte, oferecer uma proteção ideal ao alimento, ter características ergodinâmicas, que impossibilitem o desperdício desnecessário durante a fase de uso, deve ser o mais circular possível, e ser produzida através de materiais eficientes e que agridam da menor forma o ecossistema (WIKSTRÖM *et al.*, 2018).

5.2 Algodão Orgânico

Visando atender às expectativas destes novos consumidores, o setor de embalagens busca constantemente inovações, utilizando-se de materiais naturais, biodegradáveis e produtos de origem sustentável. Um bom exemplo desses produtos é o algodão. O tecido de algodão é obtido a partir de uma fibra natural, obtida da casca da semente do algodoeiro, possui cultivo barato, boa distribuição e muitas variedades, é também um tecido versátil, macio, fácil de tingir e lavar (CHEN e CHIANG, 2008). Considerado um tecido muito resistente, tanto à fricção quanto à tração, é um material que apresenta uma boa transferência de calor e capacidade de absorção de líquidos (CHEN e CHIANG, 2008).

O algodão orgânico, por ser versátil e atóxico, é uma aposta do segmento têxtil. É uma matéria prima de amplo cultivo no Brasil, favorecido por suas condições climáticas, sendo o 5º maior produtor e o 3º maior exportador. Além disso, nota-se uma demanda crescente para o algodão orgânico no mercado nacional e internacional, sendo este a principal fibra natural utilizada pela indústria têxtil. A venda de algodão orgânico cresceu exponencialmente, segundo a *Organic Trade Association* (2015). Com uma demanda em constante desenvolvimento e com a população em busca de produtos sustentáveis, o setor têxtil se apresenta como a maior

categoria de produtos no mercado internacional, seguido pela indústria de alimentos (Confederação Nacional da Indústria, 2017).

O Brasil é o maior produtor em algodão do mundo, se considerada a produção em sequeiro, que significa a lavoura que não utiliza irrigação artificial. São, em média, 1,76 mil quilos de pluma (algodão beneficiado) por hectare (EMBRAPA, 2017; IMA-MT, 2020).

Além de o algodão ser a principal matéria prima para a produção de tecidos, é utilizado também em mobiliários, produtos industriais, serve como correção de solo onde se é plantado, é usado na medicina e até na fabricação de explosivos. O algodão é responsável por uma das principais cadeias produtivas do Brasil e do mundo. Sua *commodity* representa uma parcela significativa do produto interno bruto (PIB) e emprega direta e indiretamente milhões de brasileiros. Sua produção orgânica gera renda principalmente para a agricultura familiar. Sua pluma é utilizada na indústria têxtil e seu caroço é usado na produção de óleo, em rações animais e adubos, produzindo poucos resíduos, pois é amplamente aproveitado. Aspectos como produção local com fontes renováveis, reciclagem e reuso de matéria prima, recebem enfoque no mercado (FLETCHER; GROSE, 2011).

“O algodão é a fibra natural mais popular, representando cerca de 90% de todas as fibras naturais. É uma das mais importantes culturas de fibras têxteis naturais, relevante para o setor agrícola industrial” (DONG HUA UNIVERSITY, 2015, p.31).

O uso excessivo de produtos químicos em diferentes plantios contribui de forma expressiva para a poluição do solo e de recursos hídricos, o que traz uma importante questão no mundo da agricultura sustentável. Produtores agrícolas que se dedicam aos produtos orgânicos possuem solo de melhor qualidade, gastam menos com insumos, o que acarreta numa produção de menor custo em comparação com a produção agrícola convencional. (MAZZOLENI; NOGUEIRA, 2006).

A conservação da biodiversidade, baixos insumos e baixo nível energético traz vantagens ao ecossistema. Há que se pensar na desvantagem de uma pequena produção devido à escassez de mão de obra qualificada no campo; escassez essa que vem sendo solucionada pela EMBRAPA, para que seja suprida tal necessidade. “Com a colheita manual, um produtor não consegue plantar mais que dois hectares. A EMBRAPA está trabalhando no desenvolvimento de uma máquina colheitadeira para pequenas propriedades que poderá contribuir para superar este gargalo” (EMBRAPA, 2017).

O algodão e algumas fibras naturais possuem baixo custo e proporcionam um aumento na resistência mecânica de embalagens, sem perda da biodegradabilidade. Sua composição é formada por diferentes teores de celulose, hemicelulose, lignina, pectina, cinzas e umidade. O algodão é predominantemente constituído por cerca de 90% de celulose, sendo que os teores dos seus componentes podem variar dependendo do tipo de algodoeiro e do tempo de colheita (SIRVAITIENE *et al.*, 2013).

5.3 Embalagens ativas

As primeiras embalagens surgiram da necessidade de facilitar o transporte, o manuseio do alimento e conservar sua característica original. O emprego das embalagens se tornou indispensável em nosso cotidiano, sendo utilizados diferentes materiais para sua produção, vários formatos e tamanhos (MESTRINER, 2002).

Eram criações de embalagens produzidas com matérias-primas que eram encontradas com facilidade na época de seu surgimento, folhas de plantas, madeiras, cascas de coco, conchas, escamas de peixe, louças de barro e pele de animais, as quais acondicionavam bebidas, frutas e outros alimentos naturais (CASTRO, POUZADA, 2003).

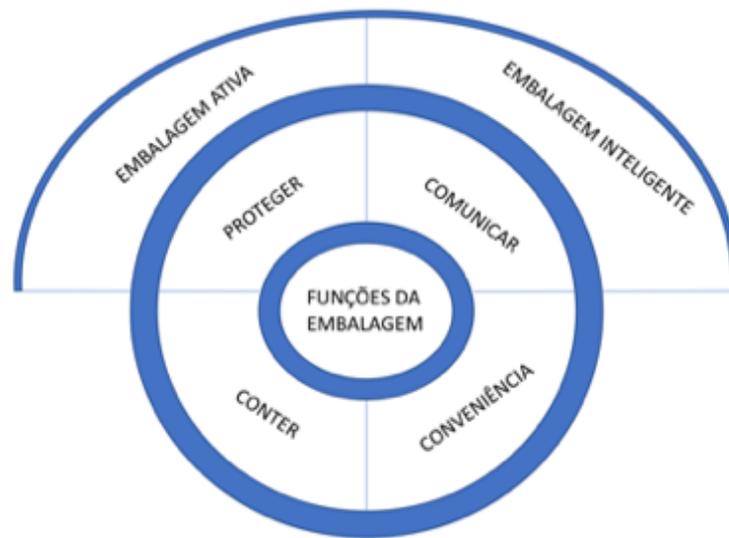
Com o passar do tempo, as embalagens se tornaram cada vez mais funcionais. O avanço dos estudos e pesquisas visando desenvolver a melhoria da função de proteção, preservar o máximo a qualidade do produto, garantir proteção mecânica, retardar a senescência e consequentemente prolongar a vida útil do alimento, tem se tornado uma exigência das indústrias e dos seus consumidores para solucionar problemas de conservação, transporte entre outros (MESTRINER, 2015).

Tradicionalmente, os principais objetivos da embalagem convencional são: conter, proteger (de fatores químicos, físicos e biológicos), comunicar (informar através de símbolos, impressões, cor) e conveniência (atender as necessidades do consumidor como, por exemplo, quantidade adequada, facilidade de abertura, entre outros). Portanto, um dos principais requisitos deste tipo de embalagem é a mínima interação com o conteúdo do produto durante as etapas de processamento, armazenamento e distribuição até o consumidor (CAVALCANTI; CHAGAS, 2006; MOURA; BANZATO, 1990).

Com o surgimento de inovações no setor, as embalagens passaram a ser consideradas tão importantes quanto os produtos que elas carregam, o que inclui manter a qualidade, o

frescor, a segurança do produto embalado, monitorar e indicar as propriedades do alimento. Como forma de preencher todos estes requisitos, um novo sistema de embalagem vem sendo desenvolvido, as chamadas “embalagens ativas” e “embalagens inteligentes”, como mostra a figura 2 (YAM, TAKHISTOV e MILTZ, 2005).

FIGURA 2 - Funções básicas das embalagens ativas e interfaces de atuação das embalagens ativas e inteligentes.



Fonte: Adaptado de YAM, TAKHISTOV e MILTZ

A embalagem ativa é uma embalagem planejada que influencia ativamente o produto, dispondo de agentes aditivos que interagem de forma desejável, tendo como propósito proteger, prolongar a vida de prateleira evitando a oxidação dos produtos, preservar as propriedades sensoriais (aparência, aroma, consistência, textura e sabor), além de manter a qualidade, a integridade do produto e garantir a segurança do alimento (SUPPAKUL *et al.*, 2003).

Fakhouri *et al.* (2015) ressaltam que os filmes e revestimentos biodegradáveis estão recebendo grande atenção por envolverem uma maneira eficiente de proteger alimentos como vegetais frescos, minimamente processados, da degradação durante o armazenamento, uma vez que eles podem ser usados para controlar a permeabilidade e oxigênio.

Foo *et al.* (2019) comprovaram em seus estudos a aplicabilidade da cera de abelha e da quitosana para formulação de revestimentos para a fruta (*Achras Zapota*). Os testes mostraram

o aumento da vida útil da fruta, a redução de contaminações microbianas, a manutenção da coloração saudável da fruta, além da conservação da sua firmeza. Concluíram ainda a viabilidade do método, e que este pode ser comercializado no mercado.

Zhang *et al.* (2019), utilizaram a cera de abelha como revestimento super-hidrofóbico para evitar a perda de líquido dos alimentos. Seus estudos, comprovaram uma boa estabilidade térmica, para eliminar possíveis radicais livres, adicionaram em seu revestimento lignina do café, evitando a peroxidação lipídica. Seus resultados foram favoráveis evitando a perda do alimento embalado por seu revestimento em até três vezes mais que o alimento sem embalagem.

A farta disponibilidade e o baixo custo tornam os óleos vegetais uma matéria-prima industrialmente atraente para a indústria de plásticos, sobretudo no desenvolvimento de polímeros funcionais e biopolímeros (LLIGADAS *et al.*, 2013). Recentes pesquisas na área de preparação de poli(uretano), poli(éster), poli(éter) e poli(olefina) à base de óleos vegetais foram detalhadas por Miao *et al.* (2014), enfatizando as propriedades antioxidantes, acrescentando a biocompatibilidade e a biodegradabilidade, que os tornam adequados para o uso como biomateriais.

Em seu estudo, Krishnan *et al.* (2014) relatam sobre os efeitos antimicrobiano e antioxidante de diferentes extratos de especiarias em carne de frango crua sob refrigeração, e concluíram que a incorporação de extrato de especiarias melhorou a qualidade microbiológica da carne, reduzindo peroxidação lipídica, aumentando a vida útil do produto e que o uso de extratos de especiarias apresentou efeitos sinérgicos na preservação da carne de frango.

Silva *et al.* (2016) desenvolveram filmes de quitosana incorporados com óleo de buriti para aplicação em embalagens ativas. Nesse caso os filmes de quitosana apresentaram barreira microbiana contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*.

Com o aumento da preocupação com o meio ambiente e o incentivo à produção de materiais biodegradáveis como opção para a gestão de resíduos, as indústrias, principalmente as de alimentos, buscam desenvolver embalagens que utilizam materiais orgânicos, biodegradáveis e que de preferência auxiliem na qualidade do produto. Adicionalmente, as sociedades estão se conscientizando em relação à necessidade de reduzir o descarte inadequado de embalagens, e procurando consumir produtos de fontes naturais, o que traz à tona o uso de óleos como antioxidantes e a oportunidade de uma embalagem de reuso. O estudo em questão visa reunir estes fatores, ser ativa, se relacionar e levar benefícios ao alimento envolto, ser biodegradável, utilizar materiais orgânicos e ser reutilizável (LACY *et al.*, 2020).

5.4 Cera de abelha

A cera de abelha é o segundo produto mais importante da apicultura. Suas propriedades são únicas, como uma substância biologicamente ativa, valiosamente natural, e ainda sem um substituto sintético. A cera de abelha possui uma vasta gama de ações, sendo inofensiva ao corpo e ao meio ambiente, é extremamente importante para indústrias da estética e saúde, por suas características anti-inflamatórias, emoliente, com destaque para as propriedades curativas comprovadas em diferentes investigações científicas. Tal produto é amplamente utilizado pelas indústrias farmacêuticas e de perfumaria por sua classificação como não alergênico, por seu alto teor antioxidante, hidratante e além da abundância de vitamina A (TAUTZ, 2010).

A cera de abelha é proveniente do reino animal. O Brasil apresenta uma grande diversidade de espécies de abelhas, com estimativa de 3000 espécies. O Brasil mostra um grande potencial para obtenção de quantidade expressiva de produtos apícolas, apresentando características climáticas favoráveis, além de grande e variada vegetação de flora silvestre. (VOLLET-NETO *et al.*, 2010).

A cera é produzida nas oito glândulas cerígenas dispostas aos pares no abdômen das abelhas operárias, estando amplamente desenvolvidas com 12 a 18 dias de vida. As abelhas ingerem o mel e ocorre a transformação do alimento em gordura. Em 24 horas é transformado em cera, a qual é expelida pelas glândulas em forma líquida, se solidificando em contato com a temperatura ambiente figura 3. A produção da cera por uma colônia demanda uma quantidade significativamente importante de energia e mel, sendo necessário o equivalente a 7,5 kg de mel para produzir 1,2 kg de cera (TAUTZ, 2010).

FIGURA 3 - Produção da cera para armazenamento do mel



Fonte: Manual de boas práticas na produção de cera de abelha.

Há mais de 6.000 anos, os egípcios já utilizavam a cera de abelha no processo de embalsamento de suas múmias. A palavra múmia não é de origem egípcia e sim de origem persa, a qual deriva da palavra *moum*, que significa cera. As populações tradicionais indígenas, como os quilombolas, fazem uso da cera de abelha como repelente natural de pragas, artesanato e em seus rituais, constituindo um traço cultural significativo (COUTO; COUTO, 2006).

Os nativos na América do Sul no século XVI utilizavam a cera para confeccionar instrumentos musicais como o maracá, flauta e apito e usavam também como cola e vedação de utensílios (POVOS INDÍGENAS NO BRASIL - 2001/2005, 2006). A cera de abelha é uma substância que permite inúmeros usos para a indústria brasileira, como impermeabilizantes, polimento de superfícies, produção de armas, móveis, couros, fabricação de velas, na produção de cosméticos, loções, cremes faciais e labiais (COUTO; COUTO, 2006; TOLLOCH, 1980; WIESE, 2005).

A cera é um composto hidrofóbico, o que favorece sua interação com outros produtos. Devido à hidrofobicidade da composição da cera de abelha, esta, como produto de embalagem alimentícia, favorece a permeabilidade ao oxigênio, uma vez comparada a alguns outros tipos de embalagens sintéticas, o que é desejável, pois diminui a taxa de respiração de frutas e legumes, retardando-se o amadurecimento e a oxidação lipídica. Suas propriedades formam uma barreira à umidade reduzindo o efeito de oxidação (CHEN; ZHAN; ZHONG, 2015).

5.4.1 Composição da cera de abelha

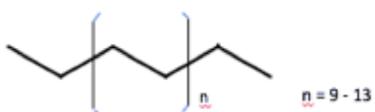
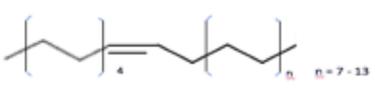
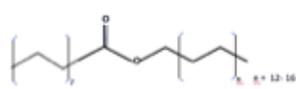
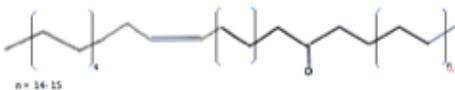
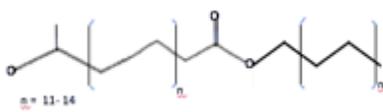
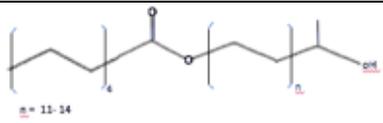
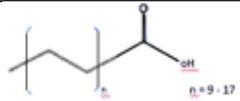
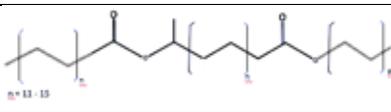
A cera de abelha possui característica maleável, de consistência plástica, de cor amarelada, de fácil fusão, insolúvel em água, solúvel em azeites, benzina, sulfeto de carbono, terebintina, éter e clorofórmio e, quando não tiver passado por qualquer processo de purificação e untuosa ao tato, viscosa e plástica ao calor da mão. Seu aroma lembra o do mel, sabor levemente balsâmico, amolecendo a partir dos 35 °C. Sua densidade se aproxima á da água, funde entre 61 °C a 65 °C, índice de acidez de 17 mg a 24 mg KOH/g, índice de ésteres 72% a 79%, índice de relação de ésteres e acidez 3,3% a 4,2% e ponto de turvação de saponificação máximo de 65°C. Obtida de fonte natural, a cera de abelha é um produto que possui baixa toxicidade e ótima biocompatibilidade (NGUYEN *et. al.*, 2012).

As ceras consistem em uma composição complexa, podendo variar de acordo com a região, modo de extração e refino, fazendo com que tenham diferentes propriedades físico-químicas (FRUTOSO; 1989).

A composição química da cera de abelha pode variar devido a diversos fatores como, produção das subespécies, da idade da cera e das condições climáticas da sua produção. Tal variação ocorre principalmente na quantidade relativa dos diferentes compostos químicos presentes na cera, sendo esses hidrocarbonetos, ácidos graxos livres, monoésteres, diésteres, triésteres, hidroximonoésteres, hidroxipoliésteres, monoésteres, poliésteres de ácidos graxos, porém em sua maioria apresentam características semelhantes (BARROS; NUNES; COSTA, 2009; MAIA; NUNES, 2013).

A composição da cera de abelha é feita por uma mistura de ésteres (67%), hidrocarbonetos (14%), ácidos graxos (12%) e alcoóis (1%) (TULLOCH, 1980). Cada um desses compostos possui diferentes comprimentos de cadeia de átomos de carbono. É praticamente impossível fracionar esses componentes da cera por métodos como a destilação e a cristalização, mas a determinação da composição detalhada de cera de abelha apenas se tornou possível a partir de 1960, por meio da aplicação de procedimentos modernos de cromatografia, destacando a cromatografia gasosa que possibilitou a identificação de mais de 300 compostos químicos diferentes (BARROS *et al.*, 2009; TAUTZ, 2010; TOLLOCH, 1980). A tabela 1 ilustra a complexidade da composição da cera de abelha.

TABELA 1 - Estrutura química e abundância relativa dos diferentes componentes da cera de abelha.

| Estruturas | | % | |
|------------------------------|---|--|--------|
| Hidrocarbonetos | Alcanos | 12,80% | |
| |  | | |
| | Alcenos | 2,90% | |
| |  | | |
| Total Hidrocarbonetos | | 14-16% | |
| Ácidos Graxos Livres | | 12-15% | |
| Monoésteres | Ésteres alquilo do ácido palmítico |  | 40,80% |
| | Ésteres do ácido oleico |  | |
| Hidroxi monoésteres | Ésteres do ácido hidroxipalmítico |  | 9,20% |
| | Diolésteres do ácido palmítico |  | |
| Diésteres | Diésteres de diois |  | 7,40% |
| | Ésteres de hidroxiácidosacilados |  | |
| Total Ésteres | | 57-67% | |
| Álcoois Livres | | 1% | |

Fonte: MAIA; NUNES, 2013.

5.4.2 A cera de abelha como PCM

Uma propriedade interessante da cera de abelha é sua alta capacidade térmica. Esta propriedade em especial é utilizada nos sistemas de armazenamento térmico de calor latente, que são denominados materiais de mudança de fase (PCM¹) (SHARMA *et al.*, 2015).

PCMs armazenam e liberam energia durante sua mudança de fase, podendo conservar o calor ou frio e liberá-los aos poucos. Inicialmente, materiais deste tipo se comportam como materiais sensíveis ao calor. Ou seja, quando existe absorção de calor, eleva-se a temperatura do material, porém, quando PCMs alcançam a temperatura na qual ocorre a mudança de fase, eles captam grandes quantidades de calor à temperatura praticamente constante. Antes da mudança de fase ocorrer completamente, o PCM continua a absorver calor sem variar a temperatura. Quando a temperatura ambiente nas redondezas do material cai, o PCM retorna para o estado inicial, liberando seu calor latente armazenado (SHARMA *et al.*, 2015).

PCMs bio-baseados (Bio PCMs), obtidos a partir de matérias primas derivadas de fontes renováveis, são uma nova categoria dentro dos PCMs orgânicos. São exemplos de Bio PCMs o óleo de soja, óleo de coco, óleo de palma, o sebo de boi e a própria cera de abelha (SHARMA *et al.*, 2015). A cera de abelha como PCM possui baixa faixa de temperatura de fusão, alto calor latente, inércia química, estabilidade térmica cíclica e ausência de segregação de fases no aquecimento (GEORGE *et al.*, 1989). As ceras naturais surgem como alternativa orgânica, uma vez que possuem propriedades similares às da parafina, e ainda traz os benefícios ao meio ambiente, sendo renováveis. A parafina, um produto derivado do petróleo, não possui a mesma relação sustentável com o meio ambiente, em especial por não apresentar características renováveis (HU; YU, 2012).

Dinker *et al.* (2017) usaram cera de abelha como PCM no lugar de parafinas ou ácidos graxos. De acordo com os autores, a cera de abelha não possui uma condutividade térmica muito alta e por isso demanda mais tempo para armazenar energia térmica. Para superar esse inconveniente eles adicionaram 10% (m/m) de um tipo de grafite denominada grafite

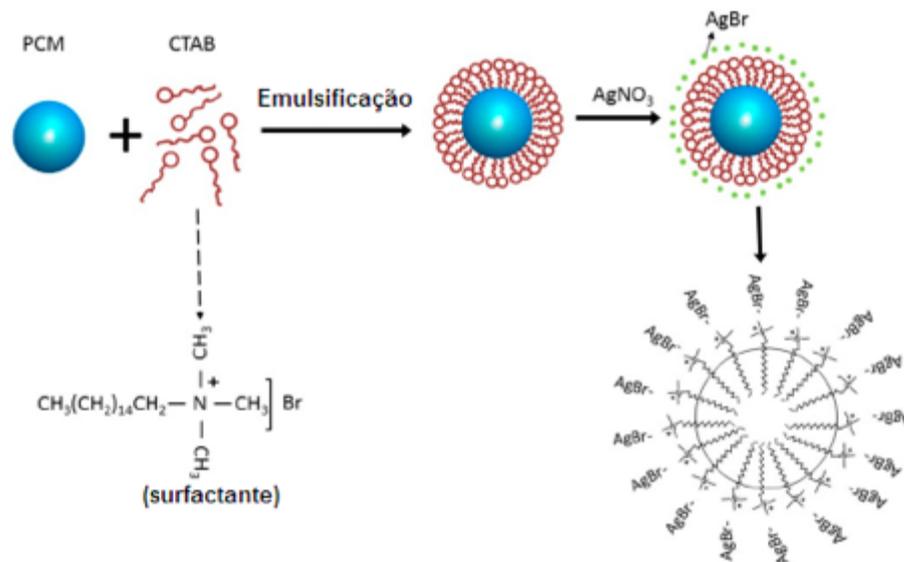
¹ PCM – (*phase-change matéria*) material de mudança de fase, consiste em materiais que são usados devido à sua capacidade de sustentar e libertar grandes quantidades de calor, a temperaturas constantes, na mudança de estado.

expandida. Segundo eles tal estratégia proporcionou um aumento de 117% na condutividade térmica da cera de abelha. O aumento na condutividade térmica do material compósito (cera de abelha + grafite) reduziu o tempo de fusão da cera de abelha pura de 1.020 min. para 900 min.

Amin *et al.* (2017) procederam de modo semelhante e adicionaram nanoplacas de grafeno à cera de abelha pura. Com apenas 0,3% (m/m) de grafeno os autores alcançaram 22,5% de aumento no calor latente, 12% na capacidade calorífica, além de promover o aumento da condutividade térmica da cera de abelha de 0,25 W/m.K para 2,89 W/m.K.

Por outro lado, Yuan *et al.* (2019) abordaram a questão do vazamento que pode ocorrer durante a transição da fase sólida para a fase líquida quando os PCMs são aplicados diretamente no substrato. Portanto eles adotaram a técnica de microencapsulação dos PCMs, entre eles e a cera de abelha, produzindo cápsulas de brometo de prata (AgBr), conforme o método ilustrado na figura 4.

FIGURA 4 - Síntese esquemática da formação de micro / nanocápsulas de PCM / AgBr.



Fonte: Yuan *et al.*, (2019).

Com esse método os autores conseguiram alcançar uma eficiência de encapsulação de 83%. O calor envolvido na fusão (ΔH) para cera de abelha livre e encapsulada, medido por DSC (calorimetria exploratória diferencial), foi de 119,3 e 99,0 J/g respectivamente. Já o calor envolvido na solidificação foi de 128,3 e 107,3 J/g, respectivamente. Conforme pode ser notado,

após a encapsulação há uma perda de energia térmica armazenada, provavelmente devido às paredes das microcápsulas.

Em resumo, a questão da baixa condutividade térmica e do vazamento no estado líquido são alguns dos desafios que precisam ser superados quando se pensa na cera de abelha como PCM, e são questões que deverão envolver estudos futuros.

5.5 Breu

Breu, colofônia ou colofônia é a forma sólida de resinas obtidas de pinheiros ou tipos semelhantes de plantas pertencentes à família das coníferas. É produzido aquecendo a resina líquida para vaporizar os terpenos líquidos voláteis que são grandes grupos de hidrocarbonetos insaturados. A resina é semitransparente e varia de cor, do amarelo claro ao preto. A resina bruta extraída da árvore figura 5, contém aproximadamente 70% de resina, 15% de aguarrás e 15% de resíduos e água (MAHENDRA, 2019).

FIGURA 5 - Incisão para extração do Breu



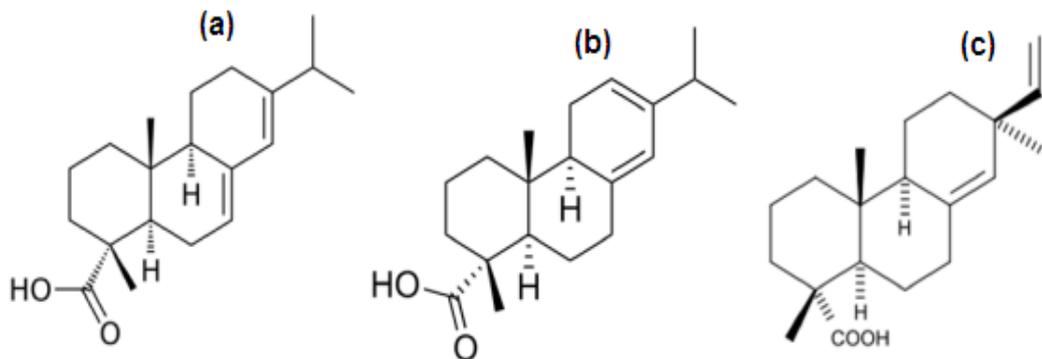
Fonte: *Website G1.com*

É insolúvel em água, mas solúvel em álcool, dissulfeto de carbono, clorofórmio, éter, muitos óleos fixos e voláteis, ácido acético glacial e em éter de petróleo. À temperatura ambiente, é um material vítreo frágil, mas amolece a cerca de 100 °C (SOUSA *et al.*, 2019).

5.5.1 Composição do Breu

Diferentemente das resinas termoplásticas derivadas de hidrocarbonetos, a resina de breu consiste em diferentes ácidos monocarboxílicos diterpênicos tricíclicos resinosos com uma fórmula molecular $C_{20}H_{30}O_2$ e, portanto, pertence aos diterpenos (quatro unidades de isopreno). As moléculas de tais ácidos possuem dois centros quimicamente reativos: as ligações duplas e o grupo carboxila. A estrutura química do ácido abiético (principal) juntamente com o ácido levopimárico e ácido pimárico é mostrada na figura 6 (SOUSA *et al.*, 2019).

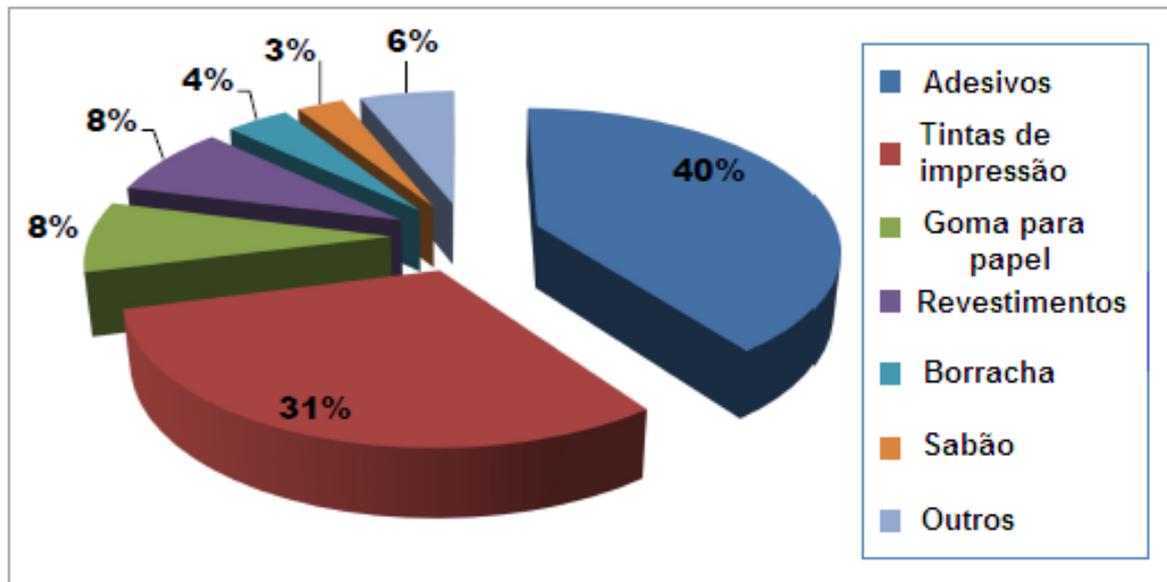
FIGURA 6 - Estrutura química de: (a) ácido abiético, (b) ácido levopimárico e (c) ácido pimárico.



Fonte: SOUSA *et al.*, 2019.

São exatamente esses grupos carboxila livres e as ligações duplas carbono-carbono que reagem prontamente com outros reagentes para conseguir vários reagentes intermediários. Tais reagentes intermediários podem ser empregados em inúmeras aplicações industriais e biomédicas conforme ilustrado na figura 7 (MAHENDRA, 2019).

FIGURA 7 - Mercado europeu do breu por setor de aplicação.



Fonte: MAHENDRA, 2019.

Como aditivo na indústria de papel funciona no controle de absorção de água. A fumaça produzida em sua queima é usada para afugentar insetos, na indústria farmacêutica tem um amplo uso em pomadas, esparadrapos e desinfecção de ambientes (ZOGHBI, MAIA, LUZ, 1995).

Segundo Kanerva *et al.* (2019) polímeros tais como polietileno (PE), polipropileno (PP), poli(ácido láctico) (PLA), poliamida (PA) e amido termoplástico (TPS), podem ser misturados com resina de breu para ser posteriormente processado por fiação por fusão para produzir multifilamentos com atividade antibacteriana. A propriedade antibacteriana foi reportada como sendo altamente dependente do polímero selecionado, do tipo de bactéria bem como do teste antibacteriano utilizado. Os autores verificaram que as fibras de PE com um teor de breu de 10% em massa demonstraram um efeito antibacteriano significativo contra *S. aureus* (-100%) e também contra *E. coli* (-54%).

Com um aspecto hidrofóbico e de alta viscosidade, o breu visa auxiliar na construção da embalagem como protetor do vapor d'água, aumentar a resistência mecânica, flexibilidade, além de proporcionar uma barreira de proteção contra insetos, fungos e bactérias, pois dispõe de características antissépticas (SILVA, 1995).

Para Jia *et al.* (2019) continua a ser um grande desafio produzir reagentes químicos e materiais poliméricos de alto valor agregado a partir de biomassa usando recursos florestais. Tendo em mente essa questão os autores reportaram materiais poliméricos atóxicos e ambientalmente amigáveis sintetizados a partir do ácido desidroabiético para substituir o tradicional cloreto de polivinila (PVC) que contém o plastificante dioctilftalato (DOP), considerado como material tóxico. De acordo com os autores, os copolímeros flexíveis obtidos de PVC enxertados com éster propargílico do ácido desidroabiético (DPC) se mostraram extremamente atrativos como materiais sustentáveis para substituição do PVC tradicional. Segundo eles as curvas de DSC da blenda PVC + DPC apresentaram somente uma Tg (temperatura de transição vítrea), indicando boa compatibilidade entre as cadeias de PVC e DPC. Além disso, foi observada redução no valor da Tg conforme aumentava o teor de DPC demonstrando que o PVC realmente ficou mais flexível.

5.6 Óleos Vegetais

Óleos e gorduras vegetais e animais são usados há séculos na produção de revestimentos, tintas, plastificantes, lubrificantes e agroquímicos (BELGACEM & GANDINI, 2008). A presença do óleo em diferentes formulações para revestimento melhora as propriedades óticas (brilho), físicas (flexibilidade, aderência) e químicas (resistências à água e produtos químicos) dos filmes curados (BELGACEM; GANDINI, 2008).

Uma grande variedade de antioxidantes naturais está presente nos óleos vegetais, tais como os tocóis (α -, β -, γ - e δ -tocoferol e tocotrienol), os carotenoides, os compostos fenólicos e os esteróis, a função dos antioxidantes é tanto neutralizar o efeito de espécies reativas de oxigênio (ROS), agindo como sequestrante de radicais livres, como evitar a geração dessas espécies, por exemplo, se ligando ao ferro para evitar a formação de ferro oxidado (Fe^{+3}) (SULEMAN *et al.*, 2019).

O uso de antioxidantes na indústria de alimentos e seus mecanismos funcionais são amplamente estudados, visando o retardamento das reações oxidativas, o que foi primeiramente registrado por Bertholler em 1797 e esclarecido por Davy em 1817. Wright, em 1852, observou índios americanos localizados no vale de Ohio que, para preservarem seus alimentos, utilizavam casca da planta de ulmeiro; após 30 anos esse produto foi patenteado como antioxidante (BAILEY, 1996).

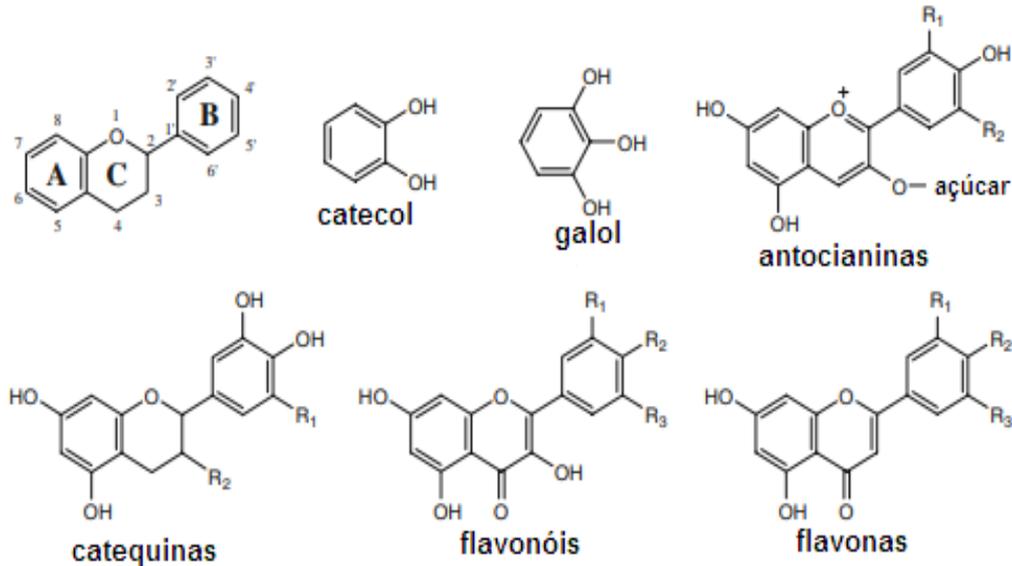
Durante a I Guerra Mundial, alguns pesquisadores testaram a atividade antioxidante de mais de 500 compostos; tal pesquisa desencadeou uma busca por aditivos químicos para controlar a oxidação, que ainda hoje está em curso. Apesar do exposto, das centenas de compostos propostos para evitar a deterioração oxidativa, somente alguns podem ser usados para consumo humano. A seleção de antioxidantes é obtida seguindo alguns fatores em suas propriedades, como a eficácia em baixas concentrações (0,001 a 0,01%) e ausência de efeitos como alteração do sabor, aroma, cor, entre outros. A partir disso, a escolha de um antioxidante deve considerar os fatores incluídos na legislação, os custos inerentes ao processo, e a preferência do consumidor por antioxidantes naturais (RAFECAS; GUARDIOLA; ILLERA; CODONY; BOATELLA; CHROMATOR. 1998).

Antioxidantes naturais são os inúmeros ingredientes das frutas e legumes. Essas misturas antioxidantes consistem em ácidos fenólicos, carotenóides, tocoferóis, flavonoides, que podem obstruir a oxidação induzida que produz Fe^{+3} , eliminar os radicais livres e servir como metabólitos (SULEMAN *et al.*, 2019).

A característica estrutural típica compartilhada pela maioria dos polifenóis é o núcleo flavan que consiste em 15 átomos de carbono dispostos em três anéis (C6-C3-C6), que são rotulados como A, B e C figura 8 (PERRON & BRUMAGHIM, 2009).

As várias classes de flavonóides diferem no nível de oxidação e substituição do anel carbônico, enquanto compostos individuais dentro de uma classe diferem na substituição dos anéis A e B figura 8 (PIETTA, 2000).

FIGURA 8 - Estrutura geral dos anéis polifenólicos mostrando o tipo e a numeração dos anéis. Estruturas do galol e catecol e estruturas gerais de catequinas, flavonóis, flavonas e antocianinas. Os grupos R são tipicamente H, OH, OCH₃, ésteres galoil, ou grupos carboidrato, dependendo do composto.



Fonte: PERRON; BRUMAGHIM, 2009.

Carotenóides são pigmentos lipofílicos sintetizados por plantas, fungos, algas e bactérias. Como pigmentos, eles são responsáveis pelas cores: vermelho, laranja, rosa e amarela das folhas de plantas, frutas, vegetais e algumas aves, insetos, peixes e crustáceos (PIETTA, 2000).

Os seis carotenóides mais abundantes consistem em mais de 95% dos carotenóides encontrados no plasma sanguíneo: licopeno, luteína, β -caroteno, β -criptoxantina, α -caroteno e zeaxantina (TORALES; GARCÍA-ALONSO; PERIAGO-CASTÓN, 2019).

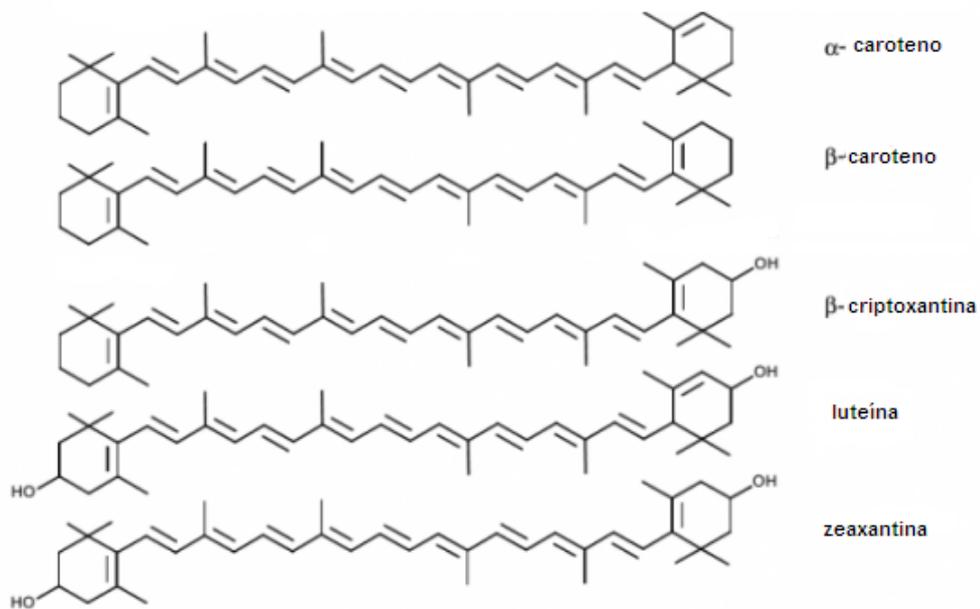
Normalmente, os carotenóides são compostos de quarenta átomos de carbono formados pela união de oito unidades de isopreno ligadas covalentemente. Estas estruturas podem ser completamente lineares ou ter anéis em uma ou ambas as extremidades, e esses anéis podem conter grupos hidroxila, cetonas, epóxidos ou outros (TORALES; GARCÍA-ALONSO; PERIAGO-CASTÓN, 2019).

Carotenóides pertencem a dois grupos estruturais: carotenos contendo átomos de carbono e hidrogênio e xantofilas contendo pelo menos um átomo de oxigênio. Além disso, os carotenóides podem ser classificados em duas categorias: carotenóides com atividade pró-

vitamina A (β -caroteno e β -criptoxantina) e carotenóides sem atividade pró-vitamina A (licopeno e luteína) (TORALES; GARCÍA-ALONSO; PERIAGO-CASTÓN, 2019).

Os diferentes carotenóides originam-se basicamente da modificação da estrutura de base, da ciclização dos grupos finais e da introdução de grupos de oxigênio que lhes conferem suas cores características e propriedades antioxidantes figura 9 (TORALES; GARCIA-ALONSO; PERIAGO-CASTÓN, 2019).

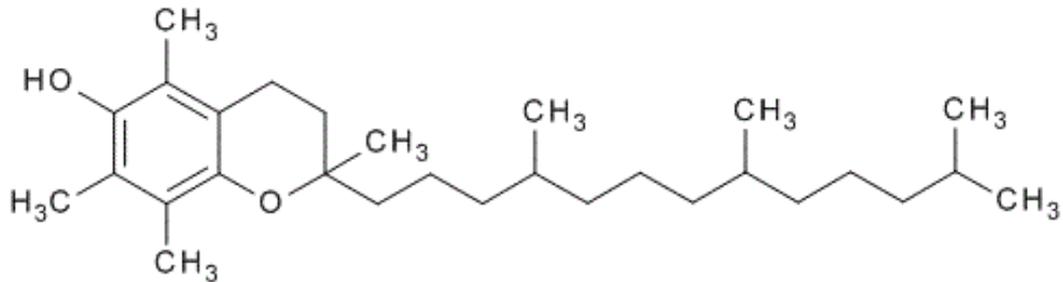
FIGURA 9 - Estrutura química de alguns carotenoides.



Fonte: TORALES; GARCIA-ALONSO; PERIAGO-CASTÓN, 2019.

O tocoferol, também conhecido como vitamina E, é tido como um dos melhores antioxidantes naturais e está presente na maioria dos óleos vegetais. A atividade antioxidante dos tocoferóis está relacionada com a sua capacidade de doar seus hidrogênios fenólicos aos radicais livres lipídicos, interrompendo a propagação da cadeia oxidativa (JORGE; GONÇALVES, 1998). Um exemplo de estrutura do tocoferol está mostrado na figura 10.

FIGURA 10 - Exemplo de molécula de tocoferol.



Fonte: JORGE; GONÇALVES; 1998.

O potencial antioxidante dos óleos vegetais e extratos de plantas tem sido estudado e avaliado, demonstrando uma alta eficiência (MORAIS *et al.*, 2009). São escassos os estudos que abordaram a ação integrada dos compostos antioxidantes presentes nos óleos vegetais, através dos ensaios de capacidade antioxidante em embalagens de alimentos como meio de conservação natural (MORAIS *et al.*, 2009).

Os óleos vegetais são constituídos principalmente por monoterpenos, sesquiterpenos e derivados oxigenados, tais como, aldeídos, éster, álcoois, cetonas, fenóis e óxidos. O óleo se origina a partir do metabolismo secundário das plantas (BAJPAI *et al.*, 2008) e algumas espécies de plantas possuem substâncias de defesa contra insetos, microrganismo patogênico, proteção UV, além de sua composição química contar com a presença de terpenóide, alcalóide e cumarinas, que possuem características antimicrobianas (PERINI *et al.*, 2013).

Devido ao aumento da resistência microbiana, surge uma necessidade de ampliar estudos de agentes para combater esses microrganismos. Observa-se um interesse por estes agentes alternativos, uma vez que o consumidor tem valorizado a oferta e consumo de produtos naturais, que possam trazer benefícios à saúde, fatores estes que contribuem para o aumento de interesse em estudos para o desenvolvimento de produtos que utilizam esse arsenal terapêutico. Justifica-se em especial avaliar a atividade dos óleos vegetais por apresentarem grande atividade antimicrobiana, antifúngica e repelente (MORAIS *et al.*, 2009).

Em um estudo realizado por Pedrosa (2012), com o intuito de comprovar a importante característica dos componentes dos óleos, a hidrofobicidade, foi comprovado que o óleo pode interagir com os lipídeos, mudando a organização da membrana celular e transformando-a em

estruturas permeáveis. Tal afirmação e a potencial aplicação em várias áreas como biologia, farmacologia, tecnologia de alimentos, entre outras, vem aumentando o interesse em buscar informações úteis para a correta utilização dos óleos vegetais, visando alcançar suas propriedades em diversos produtos (PEREIRA, 2006).

Os óleos vegetais a serem explorados nesta pesquisa são recursos produzidos no Brasil e representam uma riqueza característica do país assim como a valorização para as regiões produtoras. A prática de extrair óleos naturais derivados de flores e sementes, desperta o interesse nacional e internacional dos setores de cosméticos, farmácia, alimentício, entre outras. A exploração da biodiversidade de forma sustentável, a comercialização de tais produtos, como castanhas, óleos, dentre outros, geram desenvolvimento econômico. As espécies nativas como o buriti (*Mauritia flexuosa*) são um exemplo de óleo vegetal amplamente comercializado (SARAIVA, 2009).

Com o interesse cada vez mais acentuado por embalagens para alimentos que interajam com o produto a fim de potencializar a conservação, a adição dos óleos vegetais aparece como uma melhoria, pois estes contribuem positivamente para criação de barreiras protetoras e otimizam as propriedades ativas das embalagens. De acordo com o óleo utilizado, agregam-se funcionalidades às embalagens e estas estão ligadas aos componentes bioativos presentes nos óleos e suas propriedades lipídicas. (PRIOR RL; WU X; SCHAICH K, 2005).

Com esse interesse sobre os óleos cujas pesquisas exploram seu apelo tecnológico e científico e visando proporcionar uma estabilidade protetora aos produtos inseridos, este estudo visa contribuir com o conhecimento do potencial destes para uso em embalagens de alimentos perecíveis. Os óleos vegetais possuem diversos atrativos e uma interação bioativa com o organismo humano, adicionalmente, os óleos vegetais são naturais e biodegradáveis e geralmente apresentam baixa toxicidade aos mamíferos, o que vem promovendo seu uso. (HYLDGAARD *et al.*, 2012).

Neste contexto o estudo visa pesquisar a interação dos óleos abaixo para conservação de alimentos perecíveis; estes foram escolhidos devido a presença de antioxidantes e de produtividade de cultura em território nacional.

- Óleo de jojoba
- Óleo de buriti

5.6.1 Óleo de Jojoba

O óleo de jojoba é extraído da jojoba, de nome científico *Simmondsia chinensis*. É uma espécie de arbusto lenhoso, vertical, que oscila entre 30 a 40 cm de altura. É a única espécie da família **Simmondsiaceae**, uma família de plantas angiospérmicas (GENTRY HS, 1958). Possui folhas coriáceas, ovais, cinza esverdeadas, seu fruto é esverdeado, arredondado sendo seu tamanho e aparência semelhante a uma azeitona (figura 11).

É nativa da América do Norte, dos desertos de Mojave e Sonora, no Arizona, Califórnia e México (AgroAnalysis-Equipe, 1984). No Brasil, apesar de ser cultivada em várias regiões, se adapta perfeitamente ao clima e às condições do solo encontrado na região Nordeste, sendo cultivada comercialmente, há muitos anos, no Ceará.

O rendimento do óleo de jojoba é de aproximadamente 1818 kg / ha, que é um pouco menor do que planta de pinhão manso (1900–2500 kg / ha), mas superior à Camelina (1200–1200kg / ha), que são três dos mais importantes óleos comestíveis na atualidade (YANG *et al.*, 2014). Assim, a planta da jojoba tem sido usada com o intuito de prevenir a desertificação em algumas partes da Índia e outras regiões e, portanto, demonstra um duplo potencial, o econômico e ambiental (ASHRAFUL *et al.*, 2014).

FIGURA 11 - Jojoba – Arbusto e seu fruto.



Fonte: <https://www.ambito.com/edicion-impresa/jojoba-un-cultivo-que-pica-punta-la-rioja>

Sendo devidamente cultivado, o arbusto da jojoba pode render mais do que 5 quilogramas de sementes limpas e secas. Suas sementes constituem-se de cerca de 50% de óleo, sua estrutura química molecular é bem diferente dos outros óleos vegetais. Os óleos encontrados no amendoim, milho, soja, e azeitona são combinações de esteróides de glicerol e ácidos graxos.

O óleo de jojoba tem uma estrutura química única entre os demais óleos vegetais por causa da quase completa ausência de glicerol. No óleo de jojoba, o glicerol (1,2,3 propanotriol) é substituído por uma molécula linear muito maior, com apenas um grupo de álcool. Outra característica que diferencia e agrega valor ao óleo de jojoba é a sua tolerância a temperaturas extremamente elevadas, ele é principalmente composto por vitaminas A, B1, B2 e E, ácido mirístico (tetradecanoico), mas sua composição é quase que exclusivamente dada pela ceramida, presente em 96% do óleo. (TADA *et al.*, 2005). Estas características peculiares da semente da jojoba provavelmente favorecem a sua difusão e perpetuidade na aspereza do deserto.

Muitos estudos concentraram-se em entender a atividade antibacteriana oriunda da jojoba. Os flavonóides presentes em sua estrutura provavelmente são os responsáveis por transmitir essa característica antibacteriana e anti-inflamatória (MCKELIVE, BILLS, PEAT, 1994).

Outra aplicação pouco conhecida, é a moagem de seu grão para obter farinha utilizada em receitas culinárias e extrair uma bebida similar ao café. Sendo o óleo atóxico, não irritante e quimicamente estável, é um umedecedor puro e natural com poder de penetração e cicatrização. Além disso, os resíduos oriundos do óleo geram um pó que vem sendo usado para a produção de bioenergia (ASHOUR, 2013).

Em suma, pesquisas ressaltam a importância da jojoba e as ilimitadas possibilidades do uso do seu fruto. A sua versatilidade permite a produção de uma vasta linha de produtos, como: cosméticos, velas, lubrificantes, pneus, redutores de apetite, bioenergia e alimentação (SÁNCHEZ *et al.*, 2016).

5.6.2 Óleo de Buriti

O Buriti é uma palmeira monocaule; podendo chegar, em sua fase adulta, a 30 metros de altura, de caule liso, medindo no máximo 50 cm de diâmetro, com presença de folhas verdes e senescentes, podendo o tamanho da folha ser de até 6,0 m de comprimento (figura 12). Seus

frutos possuem uma semente, com endosperma homogêneo e duro. O buriti (*Mauritia flexuosa* L.) também é conhecido como coqueiro-buriti, miriti, muriti, muritim, palmeira-dos-brejos, carandá-guaçu e carnadaí-guaçu; é uma palmeira da família Palma e que vegeta as regiões alagadas e úmidas do Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil (ALMEIDA *et al.*, 1998).

FIGURA 12 – Buritizeiro



Fonte: www.alimentosfuncionais.blogspot.com.br.

Nativa nos Estados do Pará, Amazonas, Tocantins, Maranhão, Piauí, Ceará, Bahia, Goiás e São Paulo, é uma palmeira que se adapta em solos arenosos encharcados, de florestas abertas, florestas inundadas, nos diversos igarapés, no interior da floresta de terra firme e alguns remanescentes na floresta natural nos centros urbanos (MIRANDA, 2008).

A árvore do Buriti é usada há séculos pela população, tendo um valor ecológico, cultural e econômico (MANHÃES, 2007; TAVARES *et al.*, 2003). Sua folha tem uso como cobertura para casas e fornecem fibras para artesanato, as quais são empregadas em confecção de redes, cordas, chapéus, entre outros. O caule do Buriti fornece o palmito comestível. A amêndoa de seu fruto é espessa e extremamente rígida, que se assemelha ao marfim vegetal, usado para a confecção de botões a pequenas esculturas. Sua polpa é bastante apreciada sendo empregada no preparo de doces, sorvetes, picolés, refrescos, dentre outros produtos como o vinho de buriti, obtido após sua fermentação (EMBRAPA, 2005).

O buriti é o fruto brasileiro com maior concentração de carotenoides. Contém vitaminas do complexo B, vitamina A e vitamina C, que auxiliam no combate a radicais livres responsáveis pelo envelhecimento precoce, o que o torna um potencial antioxidante, refletindo essa característica a seus derivados. Seu óleo possui rendimento de 72,3% a 75,2% referente à massa total do fruto (RIBEIRO, 2008). O buriti é caracterizado como um fruto rico em lipídios, principalmente na polpa do fruto. Pesquisas buscam obter a composição centesimal da polpa do fruto, demonstrando proporções que variam de 3,8% a 19,8% de fração lipídica (MARIATH; LIMA; SANTOS, 1989; TAVARES *et al.*, 2003; MANHÃES, 2007; RIBEIRO, 2008).

O óleo de buriti é basicamente composto de ácidos graxos, tocoferóis e carotenos. Os ácidos graxos presentes neste óleo são considerados de cadeia longa e são, principalmente o palmítico e o oleico. Os tocoferóis são antioxidantes naturais formando a vitamina E. O β -caroteno, que é o precursor da vitamina A, é o tipo de caroteno mais importante para o corpo humano (ALBUQUERQUE *et al.*, 2003).

Mais especificamente o óleo de buriti contém cerca de 1706 ± 54 μg de carotenóides totais / g, sendo o β -caroteno o principal carotenoide que apresenta 90% do teor total. O teor de ácido oleico no óleo é de 60,3% e de α -tocoferol é de 643,2 mg/g (ZANATTA *et al.*, 2010).

Graças ao alto teor de carotenoides, emulsões de óleo de buriti têm potencial atividade foto protetoras. A capacidade de absorver o excesso de energia permitiria aos carotenoides absorver parte da radiação ultravioleta e também reduzir o estresse oxidativo causado pela radiação (ZANATTA *et al.*, 2010).

Apesar disso, Zanatta *et al.* (2010) relataram que as emulsões de óleo de buriti contendo ou não α -tocoferol, não evitaram ou reduziram os danos causados pelas radiações UVA (e UVB. Segundo os autores, tal resultado pode ser atribuído à atividade pró-oxidante das emulsões devido ao excesso de antioxidante, além do efeito fototóxico do sistema de surfactantes usado nas formulações.

Por outro lado, de acordo com Koolen *et al.* (2013), testes realizados com o óleo dos frutos de *Mauritia flexuosa* não mostraram atividade antimicrobiana contra algumas bactérias patogênicas. Segundo eles, devido ao modo de preparo dos extratos testados, os resultados obtidos podem estar relacionados com a ausência ou baixa concentração de ácidos graxos insaturados, que comprovadamente possuem atividade antimicrobiana. Os autores também reportaram a possibilidade da ausência de ácidos cafeoilquínicos na composição fenólica dos frutos ser responsável pela falta de atividade antimicrobiana.

Conforme reportado por Reis e Schmiele (2019), a exploração de frutos do Cerrado apresenta potencial no cenário agroindustrial brasileiro. O processamento e a aplicação vislumbram agregar valor comercial e nutricional. Os autores deram como exemplo a adição de diferentes quantidades do óleo de buriti em biscoitos do tipo “Cookies”, objetivando aumentar o consumo de vitamina A na merenda escolar, agregando valor nutricional ao produto. Segundo eles, essas aplicações poderão viabilizar a comercialização dos frutos, gerando emprego e renda à população local, favorecendo a ampliação industrial, minimizando o desperdício e promovendo a geração de coprodutos.

Alguns dos resultados relatados pelos autores envolveram principalmente o aumento da hidrofobicidade dos filmes de quitosana com a adição de óleo de buriti, a redução da permeabilidade ao vapor d’água dos filmes de quitosana em 12% em relação ao controle e a ação do óleo de buriti como plastificante, observada durante os ensaios mecânicos (CUNHA, 2019).

5.7 Caracterizações

A “caracterização do material” é uma área da ciência responsável por prever o comportamento ou elucidar fenômenos físicos, químicos ou biológicos característicos de cada material (QUEIROZ *et al.*, 2012). As técnicas utilizadas na caracterização dos materiais disponibilizam informações complementares, importantes para comprovação dos resultados obtidos em ensaios laboratoriais. A seguir são descritas brevemente as caracterizações que foram usadas para analisar tanto as amostras dos tecidos revestidos, como os recobrimentos e seus componentes.

5.7.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

O DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial) é uma técnica de análise térmica que envolve a diferença de temperatura entre a amostra e um material de referência, enquanto ambos são submetidos a uma programação rigorosamente controlada de temperatura. É possível também determinar o calor específico e as variações de entalpia que ocorrem durante as transformações de fase. As transformações de primeira ordem medem o conteúdo de energia térmica de um sistema e dão origem à formação de picos. As transições de segunda ordem se

caracterizam pela variação da quantidade de calor que deve ser gerada a um material para elevar sua temperatura de 1 °C, porém sem variação da entalpia. Tais transições não formam picos na curva e sim apresentam-se como deslocamentos da linha em forma de “S”. Os picos nas curvas do DSC são gerados através dos eventos de liberação de calor (exotérmicos) e os descendentes são formados por eventos que decorrem da absorção de calor (endotérmicos). As curvas geradas pelo DSC apresentam, em sua maioria, dados como: temperatura de transição vítrea, calor específico, temperatura de fusão, temperatura de cristalização, dentre outras avaliações possíveis (MACHADO; MATOS, 2003).

5.7.2 Termogravimetria (TG)

É uma técnica de análise térmica na qual a variação da massa de uma substância é medida em função da temperatura enquanto esta é submetida a uma programação controlada. O termo, análise termogravimétrica (TGA) é comumente empregado, particularmente em polímeros, no lugar de TG por ser seu precedente histórico e para minimizar a confusão verbal com Tg, a abreviação da temperatura de transição vítrea. O equipamento usado para a termogravimetria é a termobalança (WENDLANDT, 1986).

O termo “termobalança” é usado para definir um sistema capaz de medir a massa de uma amostra em uma faixa de temperatura. “Cadinho” é o recipiente para depósito da amostra. O tipo de cadinho utilizado depende da temperatura máxima de exposição, da natureza química da amostra, da sua quantidade e reatividade. Em função das características da análise e da amostra a analisar, o material utilizado para confeccionar o cadinho pode ser de: platina, alumina, quartzo ou vidro (HAINES, 1995).

A forma física da amostra tem influência na curva obtida. A recomendação para evitar esse tipo de problema é utilizar amostras em que a massa é a menor possível dentro dos limites de operação do equipamento (WENDLANDT, 1986).

A razão de aquecimento tem influência na curva obtida, por exemplo, quanto maior for à razão de aquecimento, mais deslocadas para temperaturas mais elevadas estará a curva de degradação do material. Fica clara agora a importância de se relatar a velocidade de aquecimento e também de se fixar uma mesma velocidade de aquecimento para analisar e se comparar materiais distintos (HAINES, 1995).

Em geral, as análises são realizadas sob fluxo de um gás (por exemplo, N₂). A maior ou menor vazão desse fluxo irá resultar numa atmosfera mais ou menos rica em N₂ no local da queima. Assim, observa-se que ocorre uma variação na posição da curva em função da variação de fluxo de nitrogênio (WENDLANDT, 1986).

Então, ao relatar a temperatura de degradação de uma amostra, esta informação deve vir acompanhada, não só da velocidade de aquecimento da análise, como também da atmosfera utilizada (ou vazão do fluxo do gás utilizado) (WENDLANDT, 1986).

5.7.3 Microscopia eletrônica de varredura MEV

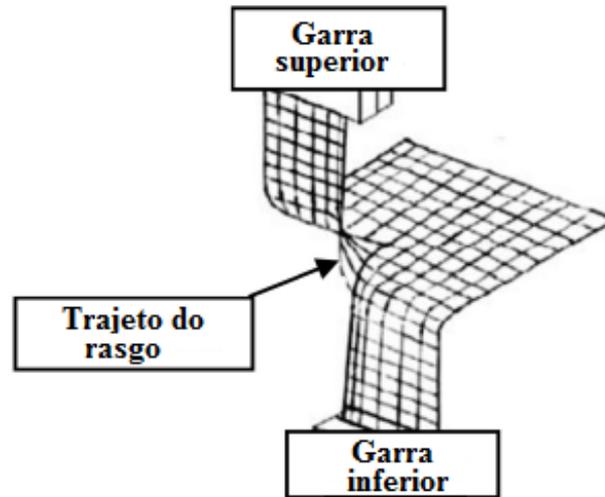
Diferentemente do microscópio óptico, que usa luz para a formação da imagem, os microscópios eletrônicos utilizam elétrons. O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é o microscópio eletrônico mais versátil. É geralmente utilizado para o estudo de estruturas superficiais ou subsuperficiais de amostras com dimensões relativamente grandes. As imagens têm alta profundidade de foco, o que significa obter diferentes relevos da superfície da amostra simultaneamente em foco. São obtidas imagens tridimensionais de alta resolução, o que garante alta ampliação de detalhes próximos sem perda da nitidez (GONÇALVES, 2003).

Materiais não condutores, como a maioria dos polímeros, requerem revestimentos condutivos ou o uso de baixa voltagem de aceleração do feixe para evitar o acúmulo de carga negativa. A camada de metal deve ser suficientemente contínua e fina (menor que 20 nm) para não mascarar a topografia da superfície, porém deve ser adequada para conduzir o excesso de carga negativa. A evaporação de metal e a metalização por *sputtering* são as técnicas mais comuns para esta finalidade. Os metais mais utilizados são ouro, liga ouro-paládio, platina, alumínio além do carbono (não metal) (GONÇALVES, 2003).

5.7.4 Ensaio mecânico (EM)

A resistência ao rasgo em tecidos é o principal componente de seu desempenho mecânico (TRIKI *et al.*, 2011). Na presente pesquisa, a resistência ao rasgo dos tecidos corresponde à resistência do material sob forças estáticas (MOUSAZADEGAN & EZAZSHAHABI, 2017). O esquema da configuração da amostra entre as garras no teste de rasgo é mostrado na figura 13.

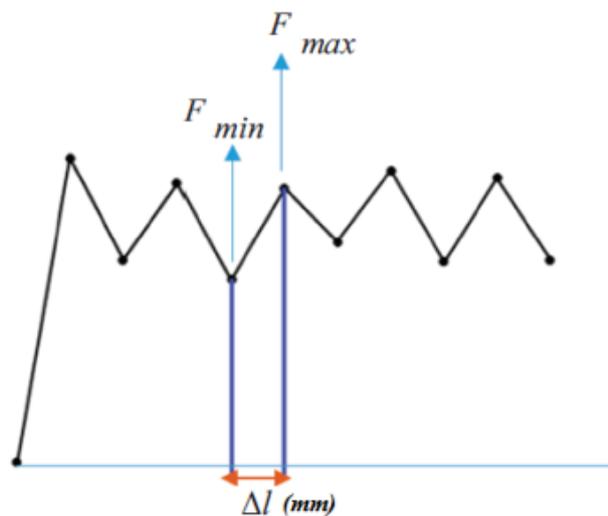
FIGURA 13 - Esquema da configuração da amostra entre as garras no teste de ruptura.



Fonte: GORJAN *et al.*, 2020

Deve-se considerar que durante o procedimento de rasgo, conforme a força de rasgo é aplicada, a carga aumenta para $F_{\text{máx}}$ e assim que os fios se rompem, diminui para F_{min} instantaneamente (figura 14) (GORJAN *et al.*, 2020).

FIGURA 14 - Esquema de flutuação da força durante o teste de rasgo.

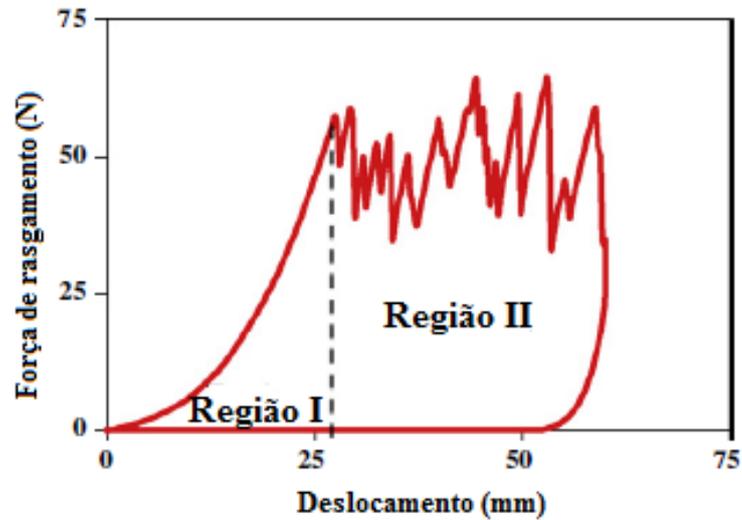


Fonte: Adaptado de GORJAN *et al.*, 2020

A curva de carregamento se divide em duas partes. A primeira (Região I na figura 31) corresponde à força necessária para levar o tecido até o primeiro ponto de rasgo. Do primeiro pico

em diante, o rasgo começa a se propagar no tecido. A segunda parte da curva (Região II na figura 15) apresenta uma sucessão de mínimos e máximos (TRIKI *et al.*, 2011).

FIGURA 15 - Curva típica de força-deslocamento de carga / descarga na configuração do rasgo da língua.

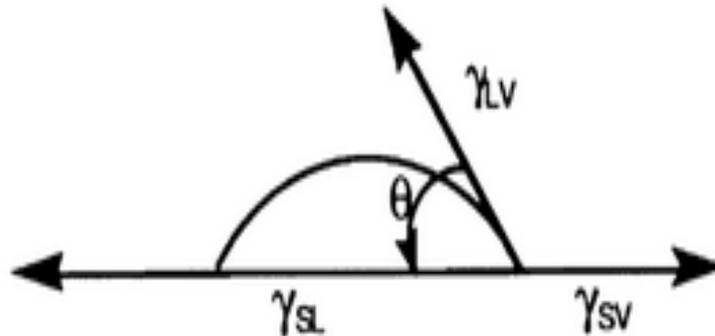


Fonte: TRIKI *et al.*, 2011.

5.7.5 Medida de ângulo de contato

O ângulo de contato (θ) é definido como o ângulo entre um plano tangente a uma gota do líquido, e um plano contendo a superfície onde o líquido se encontra depositado, conforme esquematizado na figura 16.

FIGURA 16 - Esquema representativo das tensões superficiais e do ângulo de contato entre uma gota e uma superfície

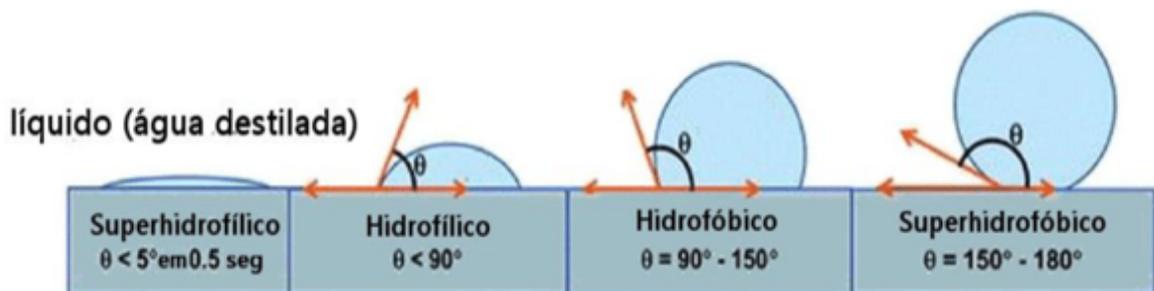


Fonte: ULMAN, 2013.

O método utilizado para as medidas de ângulo de contato é o da “gota do sésnil”, o qual envolve depositar uma gota do líquido sobre uma superfície sólida através de microseringa. A gota é ampliada com uma lente e o ângulo de contato é medido por meio de princípio de goniométrica. O ângulo de contato representa o valor, em graus, que uma gota de determinada substância líquida forma sobre uma superfície sólida. Tais valores são dependentes da estrutura da superfície e da rugosidade da amostra, entre outros fatores (SILVA *et al.*, 2007).

De modo geral, quanto maior o valor do ângulo de contato, menor a molhabilidade da superfície até a situação oposta em que o ângulo de contato se torna zero para superfícies que molham completamente figura 17.

FIGURA 17 - Diagrama que mostra a relação do ângulo de contato θ com a molhabilidade da superfície.



Fonte: Domínio público.

6 PARTE EXPERIMENTAL

6.1 Materiais

Os materiais utilizados para nos revestimentos seguem listados na **tabela 2**.

TABELA 2 - Materiais usados para obtenção dos revestimentos.

| MATERIAL | FORNECEDOR E PROPRIEDADES |
|--|---|
| ÁGUA | Água deionizada com resistividade de 18Ωm. |
| ALGODÃO ORGÂNICO | Adquirido pelo site da loja Flávia Aranha. https://loja.flaviaaranha.com |
| CERA DE ABELHA | Engenharia das essências. |
| BREU | Sigma Aldrich (cod.) 60895 |
| ÓLEO DE BURITI MAURITIA FLEXUOSA | Mercado Ver - o - Peso (Belém, Pará) |
| ÓLEO DE JOJOBA SIMMONDSIA CHINENSIS | Engenharia das essências. |
| DODECILSULFATO DE SÓDIO | Synth. 90% (Puro) Lote: 221238 |
| HIDRÓXIDO DE SÓDIO | Neon (lentilhas) Lote: P.10.0594.024.03.30 |
| PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO | Neon (Solução Aquosa) 35% PA Lote: 01984 |
| PERSULFATO DE AMÔNIO | Vetec Lote: 1004855 |

Fonte: Diagramado pela autora.

6.2 Métodos

Um esquema geral da metodologia que foi utilizada na presente pesquisa está apresentado na figura 18.

FIGURA 18 – Esquema da metodologia utilizada para a obtenção da embalagem proposta na presente pesquisa.



Fonte: Diagramado pela autora.

Primeiramente as amostras de tecido foram pré-tratadas para receber o revestimento (figura 19). O tecido de algodão orgânico passou por um processo de limpeza denominado purga (usado para retirar as impurezas como gordura, cera, e óleo natural que impregnaram no substrato durante a tecelagem), no qual foi utilizado 20 g de tecido. Para a solução de purga misturou-se 0,22 g de surfactante (dodecilsulfato de sódio – DSS) com 0,58 mL de água deionizada. A seguir acrescentou-se 0,6 g de hidróxido de sódio, 0,3 g de persulfato de amônio, 0,8 mL de peróxido de hidrogênio e 400 mL de água deionizada.

Os passos para o processo da purga foram (i) aquecer a solução de purga em manta a uma temperatura de 90 °C; (ii) inserir o tecido na solução de purga por 45 min., mantendo a

temperatura de 90 °C, e (iii) enxaguar com água deionizada a uma temperatura de 50 °C. Finalmente enxaguar novamente em água deionizada abundantemente, à temperatura ambiente e, para finalizar a purga, deixar secar o tecido naturalmente.

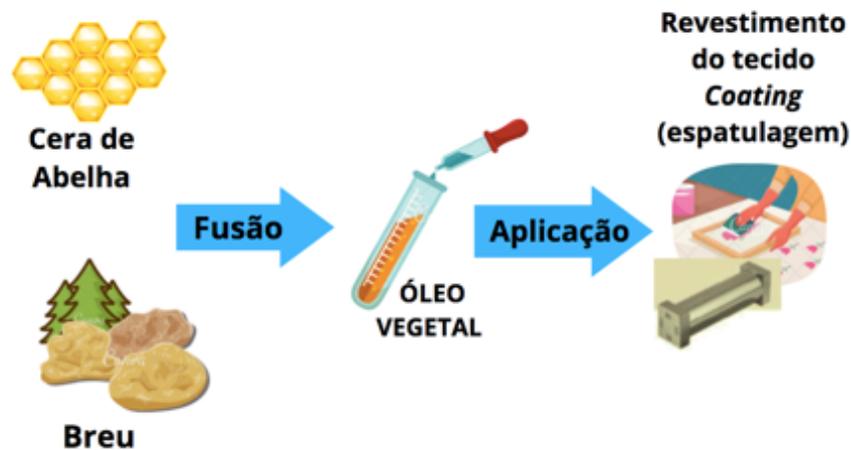
FIGURA 19 – Pré-tratamento do tecido para receber o revestimento.



Fonte: Fotos da Autora

Após o pré-tratamento do tecido, foram testadas diversas composições de revestimentos a partir da fusão e mistura da cera de abelha, breu e óleo vegetal, até alcançar a composição que foi avaliada ao longo de toda parte experimental. Tal composição é constituída de 56% de cera de abelha, 24% de breu e 20% de óleo de Jojoba (R-Jojoba) ou óleo de Buriti (R-Buriti). A figura 20 ilustra o método proposto para o desenvolvimento dos tecidos revestidos como alternativa ao filme de PVC convencional usado para acondicionar alimentos.

FIGURA 20 - Método proposto para obtenção do tecido revestido: “revestimento do tipo *Bee's Wrap*”.

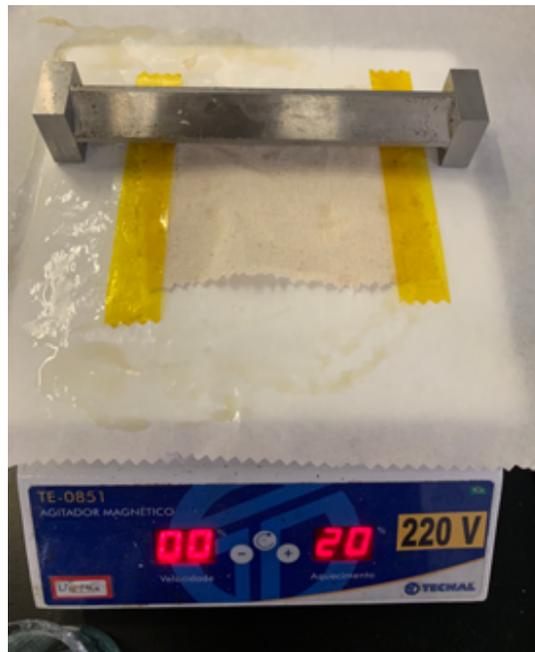


Fonte: Diagramado pela autora.

Detalhadamente, com auxílio de uma manta térmica funde-se primeiramente o breu. Após a sua fusão em torno de 70 °C, acrescenta-se a cera de abelha misturando-se bem por 5 min até a homogeneização. A mistura é então retirada do calor, e o óleo vegetal é adicionado antes que ocorra a solidificação. Em seguida a mistura é vertida sobre a amostra do tecido de algodão orgânico purgado medindo 10 cm x 15 cm.

Para que o revestimento fique bem aderido, o tecido deve ser colocado sobre uma superfície metálica aquecida a uma temperatura mínima de 45 °C. As amostras foram fixadas com auxílio de fita Kepton®. Os tecidos foram revestidos utilizando o método de espatulagem. Para isso foi usado um aplicador para formação de filme com espessura de 150 µm (figura 21). Formou-se uma fina camada do revestimento sobre o tecido, o qual foi retirado com o auxílio de uma pinça e colocado a temperatura ambiente para secar por um período de 30 min.

FIGURA 21 - Tecido sob agitador magnético.



Fonte: Fotos da Autora

6.3 Caracterizações do revestimento e tecido revestido

6.3.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

Para os experimentos de DSC foi usado um calorímetro de varredura diferencial PerkinElmer® DSC800, equipado com um PerkinElmer® Intracooler II e calibrado com padrão de índio de alta pureza. Cerca de 3 mg de amostras do revestimento e seus componentes foram pesadas com precisão em uma ultra-microbalança (PerkinElmer®, AD 6000). O seguinte protocolo foi aplicado a cada amostra:

- (1) isoterma por 10 min a 10 °C;
- (2) aquecimento a partir de 10 °C até 80 °C com razão de aquecimento de 5 °C min⁻¹;
- (3) isoterma por 3,0 min a 80 °C;
- (4) resfriamento a partir de 80 °C até 10 °C com razão de resfriamento de 5 °C min⁻¹.

6.3.2 Termogravimetria (TG)

Os ensaios de TG foram realizados em uma termobalança (Shimatzu DTA-60) usando atmosfera de ar sintético com fluxo de 50 mL min^{-1} . Amostra do breu com cerca de 5,0 mg foi aquecida, de modo controlado, a partir da temperatura ambiente até $750 \text{ }^\circ\text{C}$ com razão de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$.

6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

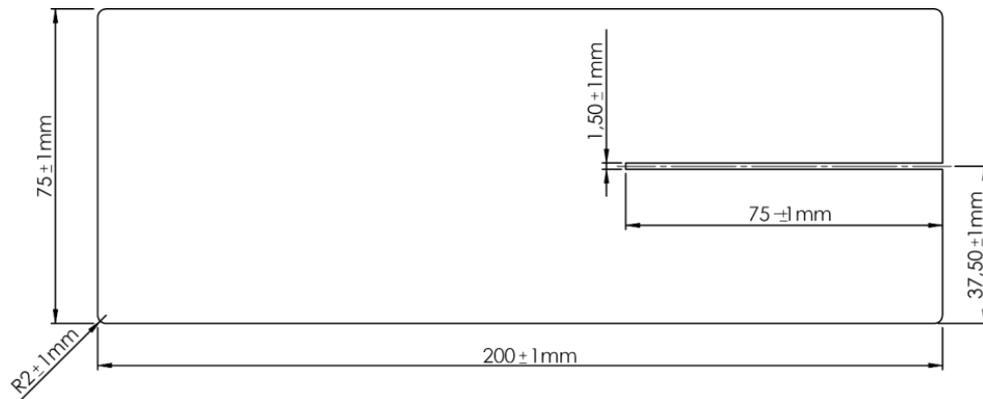
A morfologia da superfície das amostras do tecido sem revestimento (controle) e tecido revestido foi observada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para isso foi utilizado um equipamento de bancada modelo Hitachi 4000 Plus com feixe de elétrons operando a 5 kV. As amostras foram fixadas em um porta-amostra com auxílio de uma fita condutora de carbono, e as imagens foram captadas usando o detector de elétrons retroespalhados (BSD).

6.3.4 Propriedades mecânicas (Resistência ao rasgo)

A resistência estática ao rasgo foi avaliada de acordo com o método descrito na norma ASTM D2261-13. Baseando-se método, os corpos de prova foram cortados com a dimensão de $200 \times 100 \text{ mm}^2$ com um corte de $75 \pm 1 \text{ mm}$ feito no centro da borda menor. De modo que o corpo de prova ficou no formato de calças. A borda maior é perpendicular à direção da aplicação de força (DUARTE, 2013). A configuração do corpo de prova é mostrada na figura 22.

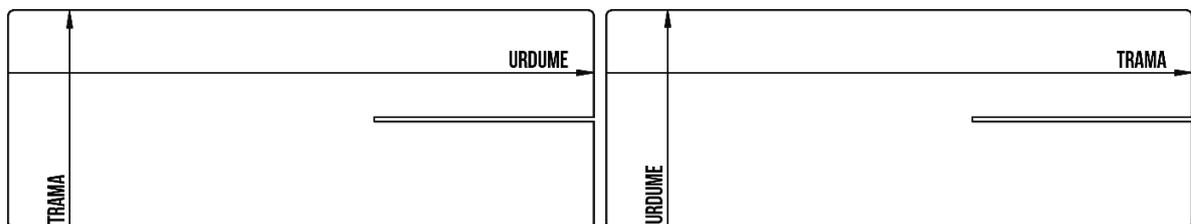
Foram testados cinco corpos de prova de amostras de tecido de algodão sem e com revestimento, tanto na direção normal quanto à direção transversal à máquina. Portanto, foram avaliadas cinco amostras na direção do urdume e cinco amostras na direção da trama (figura 23).

FIGURA 22 - Corpo de prova para ensaio de resistência estática ao rasgo.



Fonte: DUARTE, 2013.

FIGURA 23 - Corpos de prova ressaltando os sentidos de corte urdume e trama.



Fonte: DUARTE, 2013.

Cada "perna" dos corpos de prova foi presa na garra superior e inferior da máquina de teste de tração Emic DL 2000. A distância entre as garras foi definida em 37,5 mm, e a velocidade da garra superior foi de 300 ± 10 mm/min. A força de ruptura foi calculada como a média de 10 pontos consecutivos de força máxima e mínima no diagrama de rasgo (DUARTE, 2013).

6.3.5. Medidas de ângulo de contato

O ângulo de contato formado pela gota de água na superfície dos tecidos revestidos foi medido pelo método da gota séssil. As medidas foram realizadas com auxílio de um goniômetro DIGIDROP-DI (GBX *Instruments*). Os resultados representam as médias entre os ângulos direito e esquerdo, obtidos após deposição de gotas com volume padronizado (2 μL), sobre amostras com dimensões de 2 cm x 2 cm. Foram feitas três medições consecutivas, à temperatura ambiente, empregando o modo *Surface Energy* do *software*, que permite a medida direta do ângulo de contato (em graus).

6.4 Avaliação do desempenho da embalagem

O desempenho da embalagem proposta na presente pesquisa foi avaliado pelo grau de preservação de amostras de maçãs descascadas, após acondicionadas por um tempo pré-determinado em R-Jojoba e R-Buriti. Para efeito de comparação, o mesmo procedimento foi realizado com filme de PVC convencional.

6.4.1 Colorimetria

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* na superfície das maçãs foram determinados com auxílio de um espectrofotômetro Konica Minolta CM-600D. Os seguintes parâmetros operacionais foram utilizados: refletância SCE, varredura de 360 a 740 nm e ângulo do observador de 10° com iluminante D65. Os dados foram coletados pelo software Spectra Magic NX. Cada amostra foi medida em três lugares diferentes, e os resultados representam a média do valor encontrado em três regiões diferentes. Os valores de L^* , a^* e b^* após 1 h de acondicionamento das maçãs foram utilizados para obter o índice de escurecimento (BI), determinado pela equação 1 (SÓLIS-CONTRERAS *et al.*, 2021).

$$X = \frac{(a^* + 1,75 L^*)}{5,64 L^* + a^* - 3,02 b^*} \quad BI = \frac{100 (X - 0,31)}{0,172} \quad (1)$$

6.4.2 Perda de água

Amostras de maçãs frescas foram descascadas e cortadas em fatias com tamanho aproximado de 5 x 2 cm e pesadas (m_i). Em seguida as fatias foram acondicionadas nas embalagens desenvolvidas e deixadas por tempos predeterminados (2 h, 4 h, 18 h e 24 h) para serem novamente pesadas (m_f). Amostras acondicionadas em filme de PVC convencional (21,3 μ m de espessura) serviram como controle. A porcentagem de perda de massa (M) foi calculada de acordo com a equação 2 (LI *et al.*, 2019). Os testes foram realizados em triplicata.

$$M(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

6.4.3 Acidez titulável (TA)

A titulação para determinação da acidez das maçãs foi realizada de acordo com o procedimento reportado por Lee *et al.* (2019). 10 g de maçã descascada são trituradas em homogeneizador. São adicionados 100 mL de água deionizada a 10 mL do suco minimamente processado com posterior filtração. A titulação dessa solução é feita com NaOH (0,1 M) usando fenolftaleína como indicador. O ponto final da titulação é identificado pela virada da solução incolor para vermelho claro. A acidez titulável (TA) após 24 h de acondicionamento das maçãs foi calculada por meio da equação 3.

$$TA\% = \frac{0,067C_1V_1V_2}{V_3m} \times 100 \quad (3)$$

Na qual C_1 (M) é a concentração de NaOH, V_1 (mL) é o volume total de NaOH, V_2 (mL) é o volume total do suco de maçã, m (g) é a massa de maçã fresca usada para fazer o suco e 0,067 é o coeficiente de conversão de ácido málico.

Os experimentos foram repetidos três vezes em paralelo e os resultados foram expressos como valores médios juntamente com o desvio padrão.

6.4.4 Termografia de infravermelho (IRT)

Para os experimentos de IRT foi usada uma câmera de visão térmica Thermocam Flir modelo P 640 High. Este dispositivo permite obter imagens térmicas e visuais na faixa entre -20 e 250 °C. O software CAMTM Quick Report 1.2 SP2 Flir Systems, 2009 foi utilizado para analisar as temperaturas das superfícies das maçãs e converte-las em imagens térmicas. Os dados numéricos obtidos de cada pixel são compatíveis com o Excel e podem ser convertidos em gráficos de temperaturas. Para regulação da câmera termográfica foram determinados os parâmetros de ajuste mais importantes, sendo a emissividade fixada em 0,96 conforme pesquisa realizada por Veraverbeke *et al.*, (2003), em temperatura refletida e atmosférica de 20°C, com umidade relativa de 50 % e distância do objeto de 0,90 metros.

Foram realizados dois tipos de experimentos, no primeiro foram usadas metade de maçãs descascadas. Foram obtidas imagens térmicas iniciais, e após 5 dias de acondicionamento a temperatura ambiente em filme PVC ou R-Buriti.

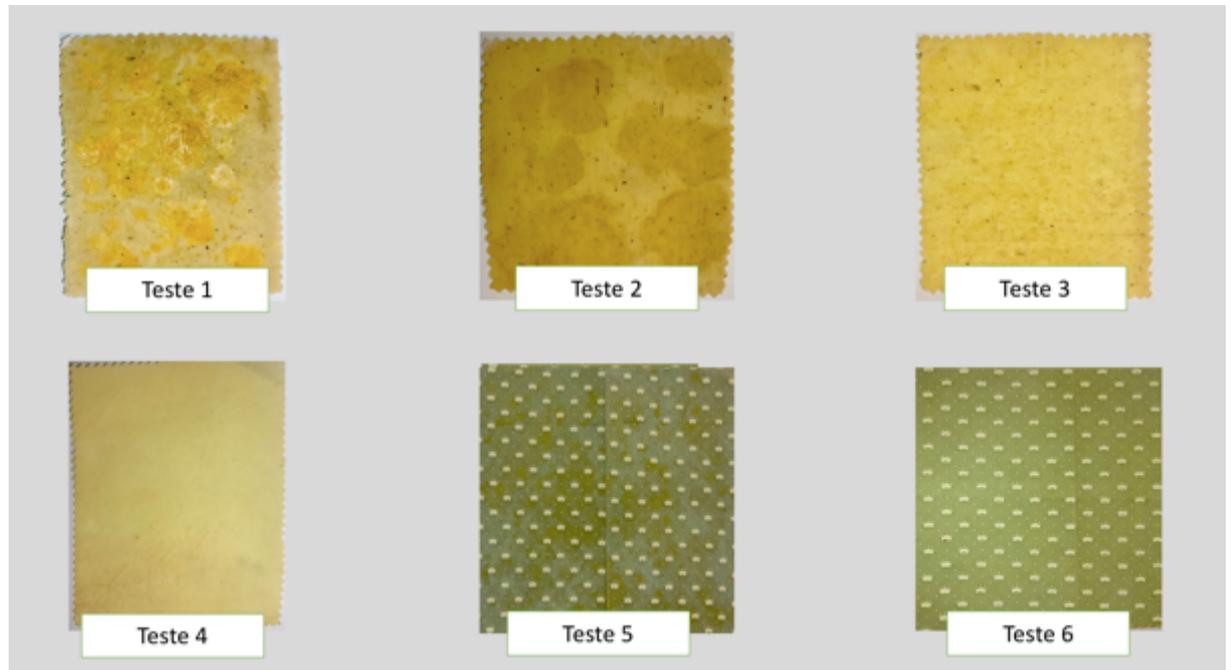
No segundo experimento, as imagens térmicas das maçãs inteiras, com a casca, acondicionadas em R-Jojoba, R-Buriti e filme PVC foram captadas a cada 7 dias no mesmo horário, em um total de 28 dias. As análises foram realizadas de forma qualitativa (análise visual das imagens) e de forma quantitativa a partir de valores das diferenças de temperatura mostradas ao longo das linhas de perfil traçadas verticalmente passando através de tecidos sadios e deteriorados da superfície das maçãs, cada linha contendo 244 pixels.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Prospecção da composição e aplicação do revestimento

Esta foi uma etapa preliminar na qual, tanto a composição como a ordem de adição dos componentes na mistura, foram testados e avaliados. Tendo-se por base que a embalagem deve ser maleável e apresentar uma textura uniforme, vários testes foram realizados e a avaliação teve como critérios o aspecto visual e a sensação tátil da amostra (figura 24).

FIGURA 24: - Resultados preliminares das amostras para embalagem.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação às amostras apresentadas na figura 24, as observações são as seguintes:

TESTE 1 (algodão orgânico pré-tratado)

Composição (%): Cera e abelha: Breu: óleo de Malaleuca = 48,25: 34,5: 17,25

Ordem da adição e temperatura: componentes adicionados concomitantemente a 60 °C.

Observação: o breu não se incorporou à cera de abelha e ao óleo, deixando um aspecto quebradiço. Provavelmente a temperatura ideal não foi atingida.

TESTE 2 (algodão orgânico pré-tratado)

Composição (%): Cera e abelha: Breu: óleo de Malaleuca= 48,25: 34,5: 17,25

Ordem da adição e temperatura: componentes adicionados concomitantemente a 90 °C.

Observação: o breu não se incorporou à cera de abelha e ao óleo, porém o aspecto visual melhorou. Observou-se manchas que sugerem a separação do breu dos outros componentes.

TESTE 3 (algodão orgânico pré-tratado)

Composição (%): Cera e abelha: Breu: óleo de Jojoba= 48,25: 34,5: 17,25

Ordem da adição e temperatura: Primeiramente o breu foi aquecido a 90 °C por 3 min até sua fusão, em seguida adicionou-se a cera de abelha e o óleo.

Observação: o breu conseguiu fundir a cera de abelha e a mistura ficou homogênea, mas a textura do tecido ficou rígida.

TESTE 4 (algodão orgânico pré-tratado)

Composição (%): Cera e abelha: Breu: óleo de Jojoba = 56,0: 24,0: 20,0

Ordem da adição e temperatura: Primeiramente o breu foi aquecido a 90 °C por 3 min até sua fusão. Em seguida foi adicionada a cera de abelha. A mistura fundida foi retirada do aquecimento e logo em seguida o óleo foi adicionado.

Observação: notou-se que o breu foi incorporado à cera de abelha e ao óleo. O aspecto visual da amostra foi considerado satisfatório, com o tecido bem maleável.

TESTE 5 (tricoline 100% algodão pré-tratado)

Composição (%): Cera e abelha: Breu: óleo de Jojoba = 56,0: 24,0: 20,0

Ordem da adição e temperatura: Primeiramente o breu foi aquecido a 90 °C por 3 min até sua fusão. Em seguida foram adicionados a cera de abelha e o óleo.

Observação: percebeu-se manchas causadas pelo óleo, que provavelmente não se misturou aos outros componentes da mistura. O resultado sugeriu que o óleo deve ser incorporado logo após a fusão da mistura do breu com a cera de abelha.

TESTE 6 (tricoline 100% algodão pré-tratado)

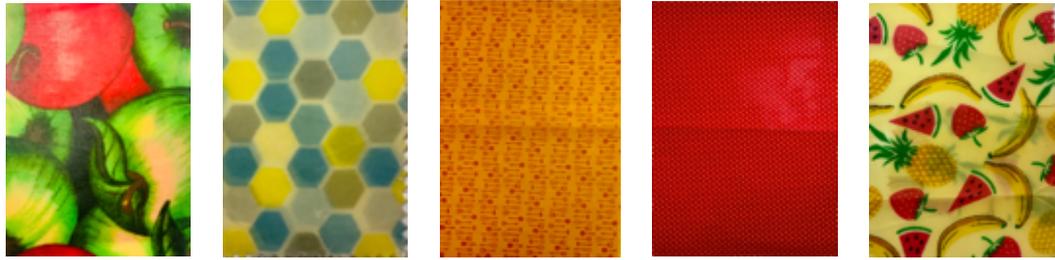
Composição (%): Cera e abelha: Breu: óleo de Jojoba = 56,0: 24,0: 20,0

Ordem da adição e temperatura: Primeiramente o breu foi aquecido a 90 °C por 3 min até sua fusão. Em seguida foi adicionada a cera de abelha e a mistura fundida foi retirada do aquecimento para adição do óleo.

Observação: o tecido ficou com revestimento uniforme e maleável. Conclui-se que é necessário que a mistura esteja perfeitamente homogênea antes da aplicação.

O teste 6 foi repetido em várias amostras de tecido tricoline 100% algodão pré-tratado, tanto com óleo de Jojoba (R-Jojoba) como com óleo de Buriti (R-Buriti). O óleo de Buriti, por ter uma coloração avermelhada, foi utilizado nos tecidos de coloração mais escura (figura 22).

FIGURA 25- Amostras comprobatórias.



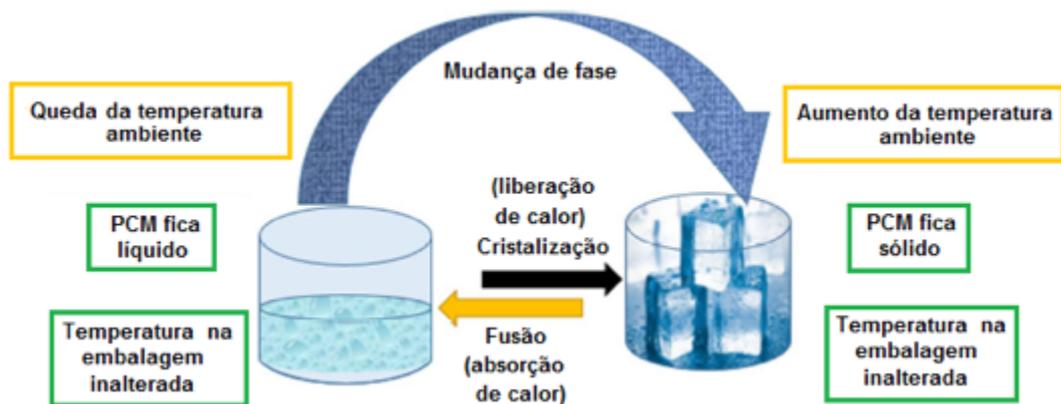
Fonte: Elaborado pela autora.

7.2. Caracterizações do revestimento e tecido revestido

7.2.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Durante armazenamento ou transporte, os alimentos requerem temperaturas adequadas para manter o frescor. Materiais de mudança de fase (PCMs) podem manter a temperatura da embalagem, alterando sua fase de líquido para sólido ou vice-versa, para absorver ou liberar calor latente (SINGH *et al.*, 2018). A figura 26 ilustra o esquema do funcionamento dos PCMs.

FIGURA 26 - Como PCMs funcionam com a flutuação da temperatura.



Fonte: Adaptada de SINGH *et al.*, 2018.

A cera de abelha tem propriedades que permitem usá-la como PCM. Tem temperatura de fusão baixa, alto calor latente, inércia química, estabilidade térmica cíclica (aquecimento-resfriamento), e nenhuma segregação de fase no aquecimento (DINKER *et al.*, 2017).

Baptista *et al.* (2020) prepararam PCMs a partir de misturas de cera de abelha com óleo de girassol hidrogenado, tanto virgem como depois de ser usado para cozinhar. Segundo os autores, sob as condições adequadas de uso essa mistura é uma opção promissora para ser aplicada como PCM.

A caracterização das propriedades térmicas de um PCM deve ser realizada antes de aplicá-lo em material para embalagem. Os pontos mais importantes da caracterização do desempenho térmico do PCM incluem estabilidade térmica, temperatura de mudança de fase, temperatura de fusão, temperatura de cristalização, entalpia de fusão e cristalização e condutividade térmica (não abordada na presente pesquisa), entre outros (SINGH *et al.*, 2018).

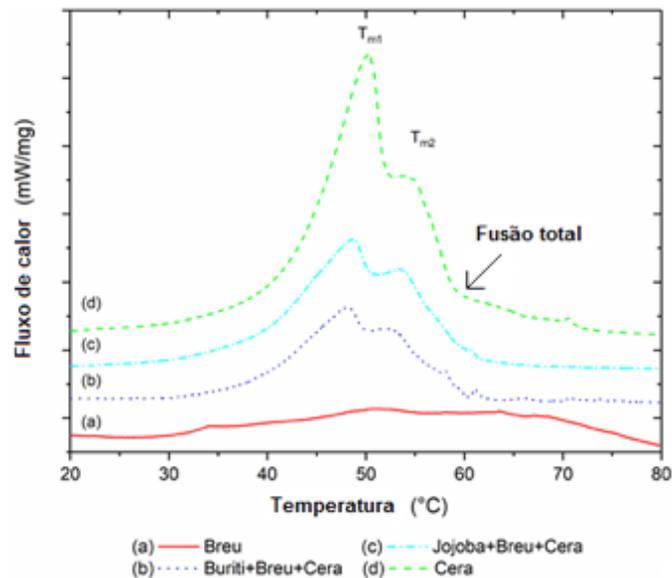
Lopez Hernandez *et al.* (2018), por exemplo, usaram óleo de coco e cera de abelha como PCM porque o ponto de fusão da mistura desses componentes se mostrou adequado para aplicação em substrato têxtil. De acordo com eles, foram realizados experimentos de DSC para identificar os valores de capacidade térmica e entalpia de mudança de fase. Além disso, o DSC forneceu o ponto de fusão do PCM, portanto, eles poderiam saber a temperatura na qual ele começaria a absorver ou liberar energia térmica.

Ainda segundo Lopez Hernandez *et al.* (2018), os resultados fornecidos por termografia de infravermelho (IRT) mostraram que a temperatura do tecido não modificado aumentou mais rapidamente do que do tecido modificado, quando ambas as amostras foram expostas à alta temperatura. Isso significa que o tecido modificado absorveu a mesma energia térmica do tecido não modificado, mas conseguiu permanecer na mesma temperatura mais tempo devido à presença do material de mudança de fase.

Dá para concluir a importância desse comportamento quando o tecido é usado para aplicação em embalagens para alimentos. Embora não tenha sido objetivo da presente pesquisa realizar um estudo específico sobre o comportamento da cera de abelha como PCM, as propriedades térmicas dos componentes do revestimento foram caracterizadas.

A figura 27 apresenta as curvas de DSC do primeiro aquecimento. Como observado, a curva de aquecimento da cera de abelha foi caracterizada por um pico principal (T_{m1}) e um ombro (T_{m2}).

FIGURA 27 - Curvas de DSC do primeiro aquecimento (EXO para baixo).



Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme reportado na literatura, a cera de abelha compreende uma fase amorfa e duas fases cristalinas. À temperatura ambiente, a parte cristalina das ceras de abelha é constituída, principalmente, por uma estrutura ortorrômbica. Uma pequena parte se organiza segundo uma estrutura monoclinica (GAILLARD *et al.*, 2011). A cera de abelha pura exibe três transições polimórficas antes de seu ponto de fusão em torno de 65 °C. Tais transições polimórficas foram detectadas em experimentos de DSC realizados com razão de aquecimento de 1 °C min⁻¹ (GAILLARD *et al.*, 2013). Na presente pesquisa a razão de aquecimento usada foi de 5 °C min⁻¹. Nesse caso, sugere-se que esteja ocorrendo uma sobreposição de tais transições com a fusão do material. A fusão total da cera de abelha foi marcada na figura 27. Especificamente isso quer dizer que a transformação de fase completa da cera de abelha ocorre em temperaturas maiores do que a temperatura de fusão (AMIN *et al.*, 2017).

Winkler-Moser *et al.* (2019), assim como na presente pesquisa, encontraram duas transições endotérmicas na curva de DSC da cera de abelha. De acordo com eles, tais picos são devidos aos ésteres e hidrocarbonetos presentes na cera. Embora a temperatura de fusão para a cera de abelha seja amplamente divulgada na literatura na faixa de 65 °C, outros autores também encontraram essa transição em 50 -52 °C (UMAR *et al.*, 2018).

Por outro lado, a curva de DSC referente ao breu não exibiu nenhuma transição térmica. Isso é devido ao seu caráter totalmente amorfo (GAILLARD *et al.*, 2011).

Na figura 27, os perfis de DSC, obtidos para as composições com breu e os óleos vegetais, diferem um pouco do perfil original da cera de abelha. As duas transições principais se apresentaram separadas. Conforme a literatura, em blendas de cera de abelha com mais de 15% em massa de breu as transições polimórficas são reduzidas para duas, com as temperaturas associadas mais baixas (GAILLARD *et al.*, 2013).

A tabela 3 apresenta os dados obtidos a partir das curvas de DSC no aquecimento. Os valores representam a média de dois resultados.

TABELA 3 - Propriedades Térmicas obtidas a partir das curvas de DSC no aquecimento.

| Amostras | T_{m1} (°C) | T_{m2} (°C) | T_i (°C) | T_f (°C) | ΔH_n J g⁻¹ |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| Breu | – | – | – | – | – |
| Cera | 51,9 | 56,3 | 43,3 | 56,3 | 119,1 |
| Cera+Breu+Buriti | 47,9 | 52,7 | 40,8 | 59,4 | 84,6 |
| Cera+Breu+Jojoba | 48,5 | 53,3 | 38,0 | 53,1 | 107,4 |

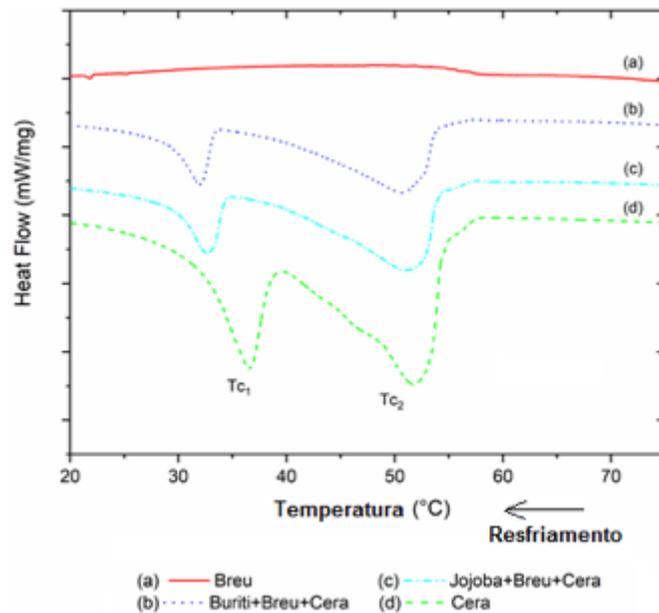
T_m = temperatura de fusão, T_i = temperatura inicial, T_f = temperatura final e ΔH_n = entalpia de fusão.

Fonte: Elaborada pela autora.

A tabela 3 mostra que tanto as temperaturas das transições T_{m1} e T_{m2} quanto a entalpia de fusão nas composições com breu e óleo vegetal são menores do que na cera de abelha pura. A adição do breu aumenta a quantidade de fase amorfa e conseqüentemente diminui a parte cristalina. Já que a entalpia de fusão é a quantidade de calor envolvida na fusão da parte cristalina, se a parte cristalina está menor é aceitável que a entalpia de fusão seja menor. Além disso, a cera de abelha cristaliza em uma estrutura em forma de agulha, e quando misturada com breu o tamanho da agulha diminui (GAILLARD *et al.*, 2013).

A figura 28 apresenta as curvas de DSC do resfriamento. Nas curvas de resfriamento aparecem duas transições exotérmicas distintas, exceto para o breu, que foram caracterizadas como cristalização em T_{c1} e T_{c2}.

FIGURA 28 - Curvas de DSC do resfriamento (EXO para baixo).



Fonte: Elaborada pela autora.

A tabela 4 apresenta os dados obtidos a partir das curvas de DSC no resfriamento. Os valores representam a média de dois resultados.

TABELA 4 - Propriedades Térmicas obtidas a partir das curvas de DSC no resfriamento.

| Amostras | T _{c1} (°C) | T _{c2} (°C) | T _i (°C) | T _f (°C) | ΔH _c J g ⁻¹ |
|------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Breu | — | — | — | — | — |
| Cera | 36,6 | 51,8 | 54,6 | 38,9 | -99,1 |
| Buriti+Breu+Cera | 31,8 | 50,6 | 53,7 | 33,3 | -78,3 |
| Jojoba+Breu+Cera | 32,3 | 50,8 | 53,7 | 34,1 | -78,5 |

T_c = temperatura de cristalização, T_i = temperatura inicial, T_f = temperatura final e ΔH_c = entalpia de cristalização.

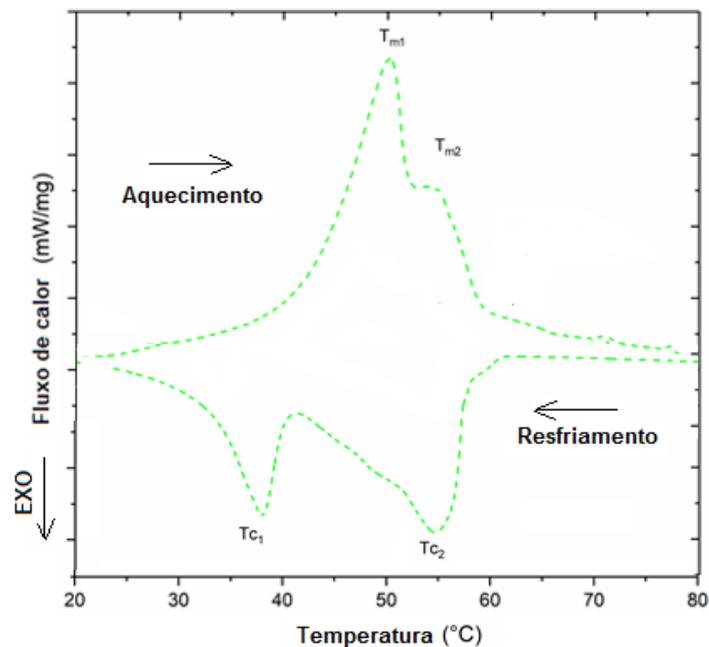
Fonte: Elaborada pela autora.

Na figura 28, os perfis de DSC, obtidos para as composições com breu e os óleos vegetais mantiveram o perfil original da cera de abelha. Percebe-se duas transições exotérmicas bem distintas, e pelos valores apresentados na tabela 4 é possível constatar que nas composições

as transições foram deslocadas para temperaturas mais baixas. Moghtadaei *et al.* (2018) preparam oleogéis com cera de abelha e óleo de gergelim. Segundo os autores, a cera de abelha aumentou o ponto de fusão dos oleogéis. Quanto mais alto é o teor de cera de abelha, mais alto o ponto de fusão do oleogel. A relação entre o ponto de fusão e a concentração da cera de abelha é devido à formação de uma rede cristalina mais forte em concentrações mais altas do organogelador. Os autores perceberam que, embora os oleogéis contivessem mais ácidos graxos insaturados, seu ponto de fusão era superior ao das gorduras animais. Tal propriedade permitiu que parte da gordura animal em alimentos fosse substituída por oleogéis mais saudáveis. Essa foi uma pesquisa que mostrou que não só o breu, mas o óleo vegetal presente na composição do revestimento tem influência nas transições térmicas da cera de abelha.

Ao analisar o ciclo completo de aquecimento-resfriamento da cera de abelha, é possível observar que T_{c1} acontece em temperatura bem mais baixa do que T_{m1} (figura 29).

FIGURA 29 - Curvas de DSC do ciclo de aquecimento-resfriamento da cera de abelha.



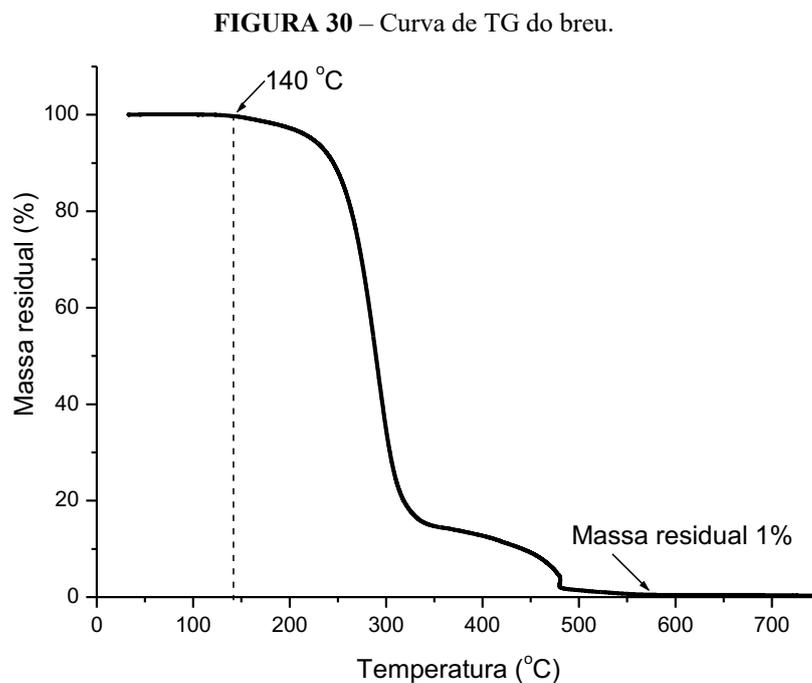
Fonte: Elaborada pela autora.

Esse tipo de comportamento é chamado de super resfriamento, que é o processo de resfriamento de um líquido abaixo do seu ponto de congelamento, sem que se torne sólido (SHARMA & SAGARA, 2005). No caso de PCMs tal ocorrência impede que o calor

armazenado seja liberado no momento certo. A investigação mais profunda do papel do revestimento como PCM vai exigir estudos futuros abordando essa questão. No entanto, até onde vai o nosso conhecimento, existem estudos que abordam a cera de abelha como PCM, mas não nesse tipo de aplicação. Sob esse ponto de vista, o presente estudo pode ser caracterizado como inovador.

7.2.2 Termogravimetria (TG)

O uso de breu em materiais processados industrialmente pode exigir cuidados adicionais. De acordo com a literatura, parte dos componentes químicos do breu se degradam após atingir 200 ° C (KANERVA *et al.*, 2019). A figura 30 apresenta a curva de TG do breu.



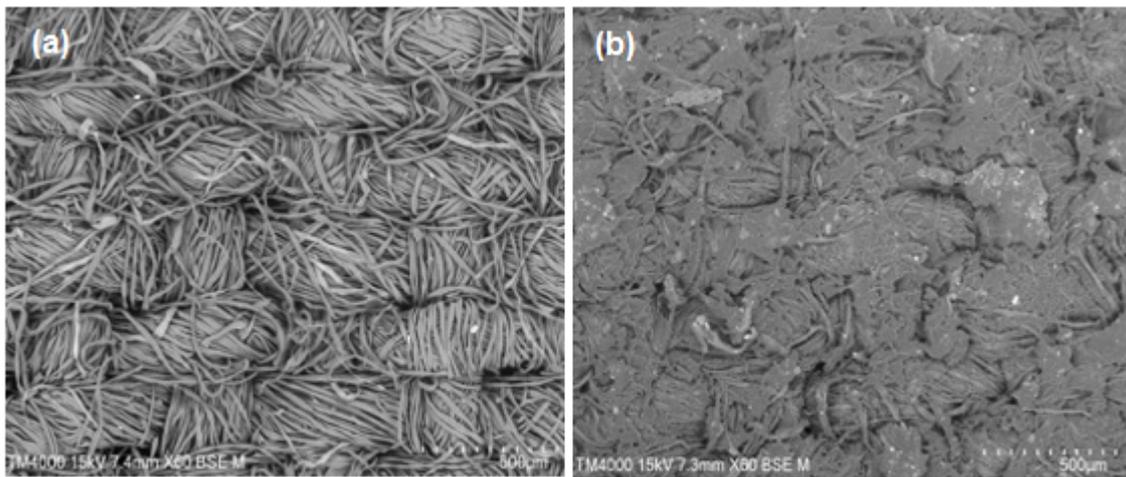
Fonte: Elaborada pela autora.

A perda de massa em torno de 140 °C corresponde à fração de terebentina do breu (FRANCES *et al.*, 2020). A degradação principal ocorre em cerca de 200 °C e termina em cerca de 350 °C, conforme também encontrado por Kanerva *et al.* (2019) e Frances *et al.* (2020). Tais temperaturas ficam bem acima da temperatura usada para processar o revestimento proposto na presente pesquisa.

7.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A imagem de MEV foi realizada com o objetivo de observar mudanças na morfologia da superfície do tecido. A imagem da figura 31a mostrou que o pré-tratamento de purga no tecido contribuiu para que os fios ficassem mais abertos. Tal alteração na morfologia dos fios provavelmente facilitou a incorporação do revestimento à superfície do tecido.

FIGURA 31 - Micrografia das amostras de tecido de algodão. a) após o pré-tratamento de purga e b) revestido com a composição de cera de abelha, breu e óleo de buriti (R-Buriti). 4000X



Fonte: Diagramada pela Autora

Na figura 31b nota-se que os espaços entre os fios foram preenchidos pelo revestimento evitando a passagem de oxigênio entre as fibras, mostrando que o tratamento superficial foi aderido de forma eficiente. De uma maneira geral, observa-se uma homogeneidade do revestimento sobre a superfície. Esse resultado corrobora com a proposta da pesquisa de impedir a passagem do ar e demais elementos, isto é, reduzir a permeabilidade da embalagem, evitando assim a peroxidação do alimento acondicionado pelo tecido revestido.

7.2.4 Propriedades mecânicas (Resistência ao rasgo)

O rasgo é uma das propriedades responsáveis por acrescentar valor a tecidos submetidos a tensões mecânicas. Um tecido cuja resistência ao rasgo é baixa é considerado produto inferior.

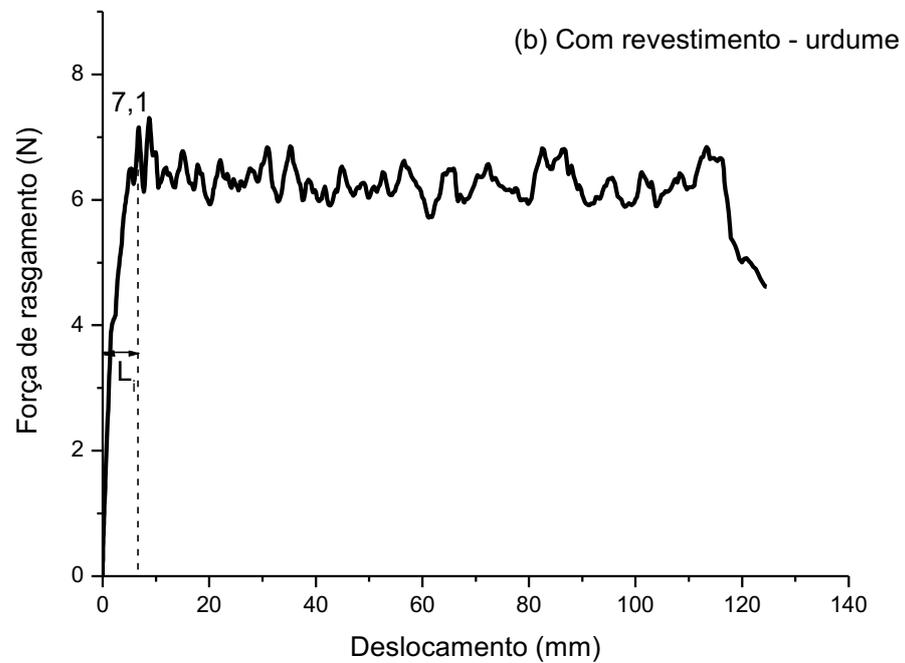
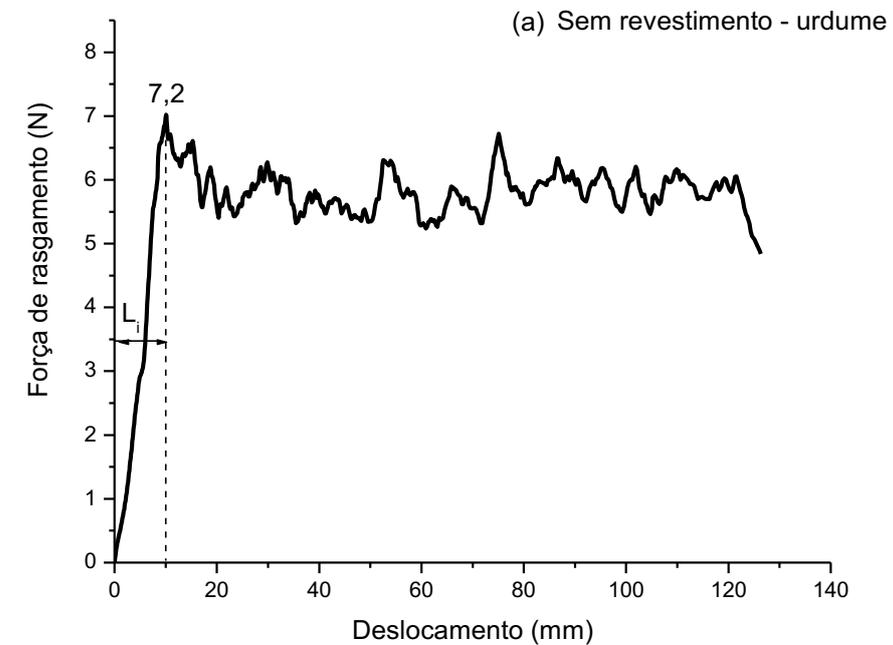
A resistência ao rasgo é consideravelmente afetada por características diversas de fios e tecidos, em especial pelo tipo de acabamento a que o tecido é submetido (PINHEIRO *et al.*, 2013).

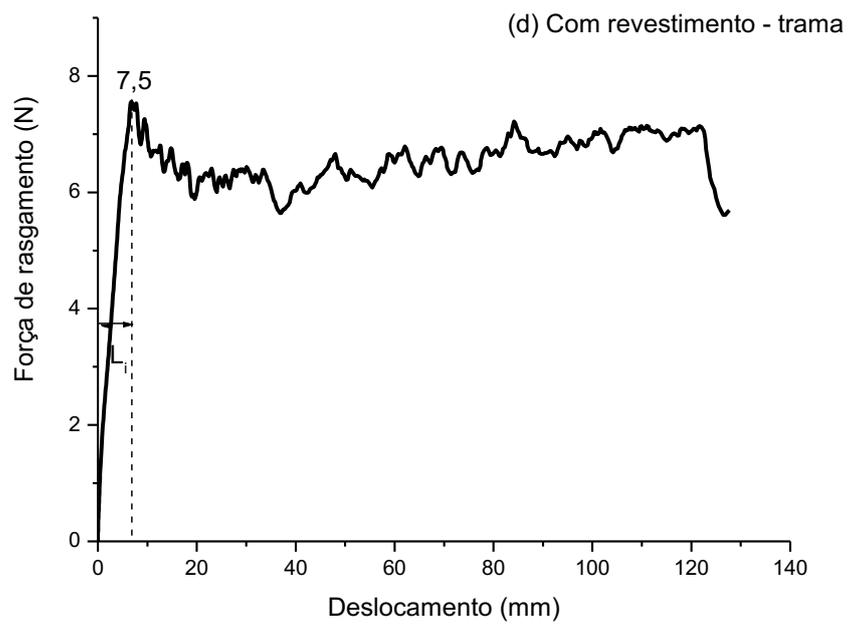
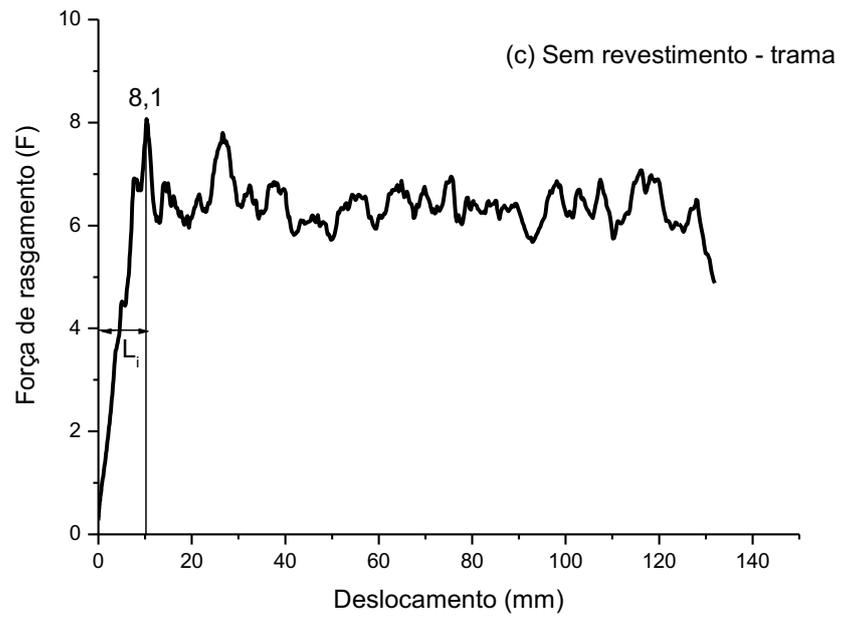
Na presente pesquisa, tal ensaio foi realizado somente com o tecido revestido com a composição que usou óleo de Buriti (R-Buriti), além do controle (tecido sem revestimento). A propriedade medida foi a força necessária para propagar um rasgo existente na amostra de tecido. As figuras 32a-d ilustram a variação da força de rasgamento em função do deslocamento da garra. Como identificado nessas figuras, o rasgo começa a se propagar após o deslocamento L_i .

Em geral, os resultados obtidos indicaram que a celulose (principal componente das fibras de algodão) apresentaram resistência semelhante antes e depois do processo de modificação do tecido. Porém, após a modificação o tecido ficou menos elástico. Isto é, o tecido se alongou menos (menor L_i) até o rasgo começar a se propagar. Domene-López *et al.* (2018) acrescentaram diferentes teores de breu em blendas amido / PVA. Eles observaram um aumento do alongamento na ruptura para até 8% de breu. Acima desse teor eles observaram uma tendência oposta, e atribuíram esse comportamento à uma possível segregação de fases quando usaram teores mais altos de breu.

Embora sejam materiais bem diferentes, é possível fazer uma analogia com o resultado dos autores e indicar essa hipótese. Uma outra sugestão seria a ocorrência de algum tipo de degradação na fibra. Quando as fibras estão sujeitas a fatores de degradação tais como calor, radiação UV etc., um sinal característico da degradação da fibra é justamente uma redução no alongamento durante o teste de tração (SZULC *et al.*, 2020).

FIGURA 32 - Variação da força de rasgamento durante o teste: (a) sem revestimento - urdume ($F = 7,2$ N e $L_i = 10,0$ mm), (b) com revestimento - urdume ($F = 7,1$ N e $L_i = 6,6$ mm), (c) sem revestimento - trama ($F = 8,1$ N e $L_i = 10,2$ mm) e (d) com revestimento - trama ($F = 7,5$ N e $L_i = 6,8$ mm).

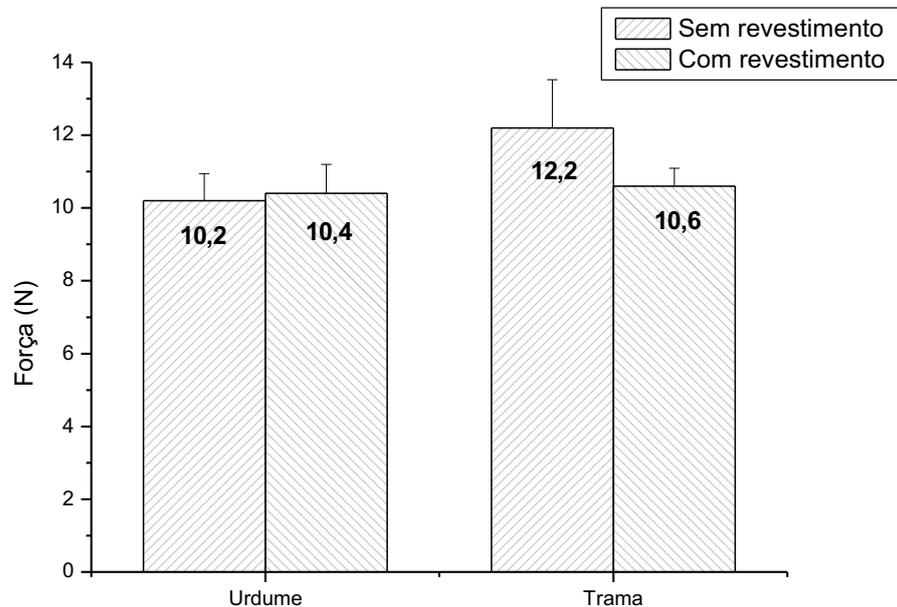




Fonte: Elaborado pela autora.

A figura 33 apresenta a comparação da média da força máxima entre o tecido sem o revestimento e com revestimento.

FIGURA 33 - Média de força máxima nos sentidos urdume e trama.



Fonte: Elaborado pela autora.

No sentido da trama esse valor teve uma redução de aproximadamente 15% após a modificação. Szulc *et al.* (2020), modificaram dois tipos de tecidos recobrando-os com cera de abelha. Nesse caso o objetivo dos autores foi incorporar propriedades antimicrobianas aos tecidos. Os autores observaram uma redução bem menor da F_{max} nos dois tipos de tecidos em relação à F_{max} dos tecidos sem modificação (3,7 e 2,4%). As mudanças sutis nas propriedades mecânicas dos tecidos após o processo de modificação podem ser devido à diminuição nas forças de atrito entre as fibras, que por sua vez pode ter causado algum enfraquecimento da resistência à tração do tecido.

Os autores mencionaram ainda que a resistência à tração dos tecidos durante alguns processos industriais é reduzida em até 15-20%. Portanto, mesmo a redução na média da força máxima na direção da trama ainda é aceitável.

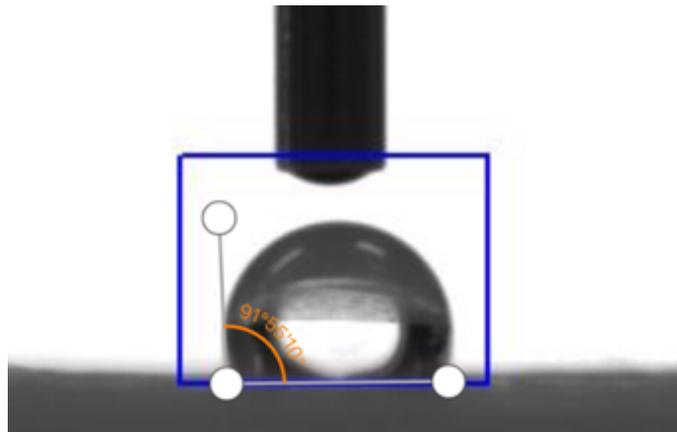
Conforme reportado na literatura, a embalagem de plástico deve ter boa resistência à propagação do rasgo, a fim de evitar danos à embalagem durante o processamento, transporte e aplicação. A força de propagação do rasgo em filmes plásticos LDPE/EVA para embalagens

de alimentos foi reportada em cerca de 1,55 N (SUNG *et al.*, 2014). Tal valor está bem abaixo dos valores encontrados apresentados na figura 33. Esse é um aspecto positivo da embalagem proposta na presente pesquisa.

7.2.5 Medidas de ângulo de contato (θ)

A literatura reporta que ângulos de contato menores do que 90° ($\theta < 90^\circ$) significa que a superfície é favorável ao umedecimento, ou seja, possui alta molhabilidade. Quando o ângulo de contato é maior que 90° , a superfície do material é considerada hidrofóbica (SU *et al.*, 2021). A figura 34 mostra o formato da gota d'água na superfície do tecido revestido com a composição que usa óleo de buriti (R-Buriti).

FIGURA 34 - Imagem da gota séssil ($2,0 \mu\text{L}$) sobre a superfície do tecido revestido.



Fonte: Elaborado pela autora.

O ângulo de contato, portanto, caracteriza o grau de molhabilidade da superfície. Isto é, traduz o equilíbrio entre as forças adesivas e coesivas. A superfície de um papel de filtro revestida com cera de abelha apresentou ângulo de contato em torno de 109° , caracterizando-a como superfície hidrofóbica (YORK *et al.*, 2019).

Hutton-Prager *et al.* (2021) impregnaram substratos de papel com ceras de grau alimentício para aumentar a hidrofobicidade e aplicá-los em embalagens para alimentos. Segundo eles, as interações intermoleculares entre ceras e celulose foram responsáveis por modificar a hidrofobicidade dos substratos. Os ângulos de contato das amostras impregnadas e

com posterior tratamento térmico de 140 °C e 160 °C foram, respectivamente, 110° e 120°. Conforme tais autores, as ligações de hidrogênio entre as ceras e a celulose foram capazes de suportar temperaturas mais altas na região de degradação.

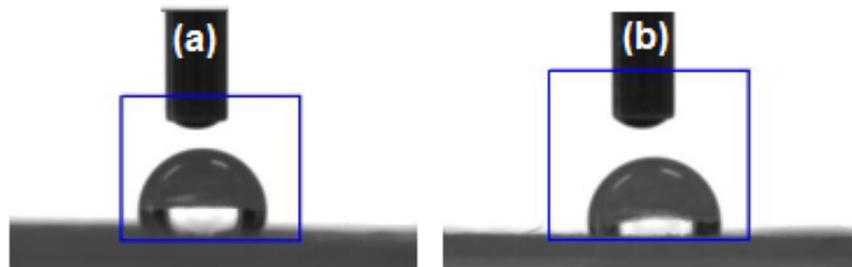
Além disso, a cera de abelha evita a passagem de umidade ou oxigênio para os alimentos (REICHERT *et al.*, 2020). Há indicação de que são formados cristais na superfície das ceras, os quais são mais eficientes em impedir a difusão de compostos de moléculas pequenas, isto é, moléculas de oxigênio e água, entre outras (YORK *et al.*, 2019).

Por outro lado, o breu também incorpora hidrofobicidade às superfícies. Su *et al.* (2021) impregnaram amostras de bambu com solução de breu em etanol (20% m/v). O ângulo de contato das amostras tratadas com breu foi de aproximadamente 93°, enquanto que das amostras controle (sem o breu) foi de apenas 60°. O tratamento com breu mudou o caráter da superfície de hidrofílica para hidrofóbica.

O tratamento com breu, ao contrário da cera de abelha, tem pouco efeito sobre as ligações de hidrogênio com substratos celulósicos. Portanto, o mecanismo pelo qual o breu reduziu a higroscopicidade do bambu é provavelmente somente um efeito físico causado pelo revestimento hidrofóbico, sem envolver qualquer tipo de interação (SU *et al.*, 2021).

A figura 35 mostra as imagens das gotas de água sobre as superfícies dos tecidos revestidos com as composições usando óleo de Jojoba (R-Jojoba) e óleo de Buriti (R-Buriti) valores comparativos entre o ângulo de contato do tecido de algodão revestido e do filme de PVC.

FIGURA 35 – Imagens das gotas de água sobre a superfície dos tecidos revestidos: (a) revestimento com óleo de Jojoba (R-Jojoba) e (b) revestimento com óleo de Buriti (R-Buriti).



Fonte: Elaborado pela autora.

Visualmente pode-se perceber que os ângulos de contato não apresentam diferença significativa. Para cada amostra do tecido R-Jojoba e R-Buriti foram realizadas medidas em três e quatro regiões diferentes, respectivamente. Para cada medida foram gerados dez valores de ângulo de contato (θ). A média dos valores encontrados para θ nas amostras R-Jojoba e R-Buriti é de $89,21 \pm 1,85$ e $89,20 \pm 1,46$, respectivamente. Tais valores confirmaram que o tipo de óleo usado na composição do revestimento não tem influência na molhabilidade do tecido.

A tabela 5 apresenta a média dos valores encontrados para θ em cada uma das regiões das duas amostras.

TABELA 5 – Média das medidas do ângulo de contato (θ) em diferentes regiões das amostras.

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| R-Jojoba | $90,43 \pm 1,02$ | $90,61 \pm 2,33$ | $86,59 \pm 0,87$ | *** |
| R-Buriti | $90,84 \pm 0,55$ | $89,22 \pm 0,64$ | $89,88 \pm 0,59$ | $86,88 \pm 1,82$ |

Fonte: Elaborado pela autora.

Pelos valores de θ encontrados na tabela 5, é possível concluir que o revestimento está distribuído de forma bastante homogênea na superfície da amostra.

Em geral o filme de PVC é hidrofóbico e seu ângulo de contato com a água já foi reportado em $103 \pm 1,8^\circ$ (LI *et al.*, 2006). Diversos valores do ângulo de contato para o filme de PVC são encontrados na literatura, por exemplo, $97 \pm 2^\circ$ (YUAN *et al.*, 2008). Na realidade o valor do ângulo de contato para o PVC parece estar relacionado com o tipo e quantidade de plastificante usado na composição do filme. Chen *et al.* (2011) encontraram para o PVC puro e plastificado com 30% de PEG valores médios do ângulo de contato de $85,1^\circ$ e $47,4^\circ$, respectivamente.

7.3. Avaliação do desempenho da embalagem

Para os testes de avaliação de colorimetria, perda de massa e acidez titulável, as maçãs selecionadas foram primeiramente lavadas com água potável e, na sequência, com água deionizada, para remover qualquer substância residual. Posteriormente foram descascadas e

cortadas manualmente em fatias com auxílio de faca de aço inoxidável desinfetada como mostra a figura 36.

FIGURA 36 – Fotografia das maçãs preparadas para os experimentos.



Fonte: Elaborado pela autora.

A figura 37 mostra as fatias de maçã acondicionadas nos tecidos, com revestimentos que usaram tanto óleo de Jojoba (R-Jojoba) como óleo de Buriti (R-Buriti), onde permaneceram pelo período de duração de cada teste.

Figura 37 – Fotografia das maçãs acondicionadas.



Fonte: Figura elaborada pela autora.

7.3.1 Colorimetria

O LAB é um sistema subtrativo de cor proposto pela Commission Internationale L'Eclairage – CIE. O espaço LAB utiliza três eixos (MICHEL & BILLINGTON, 2012):

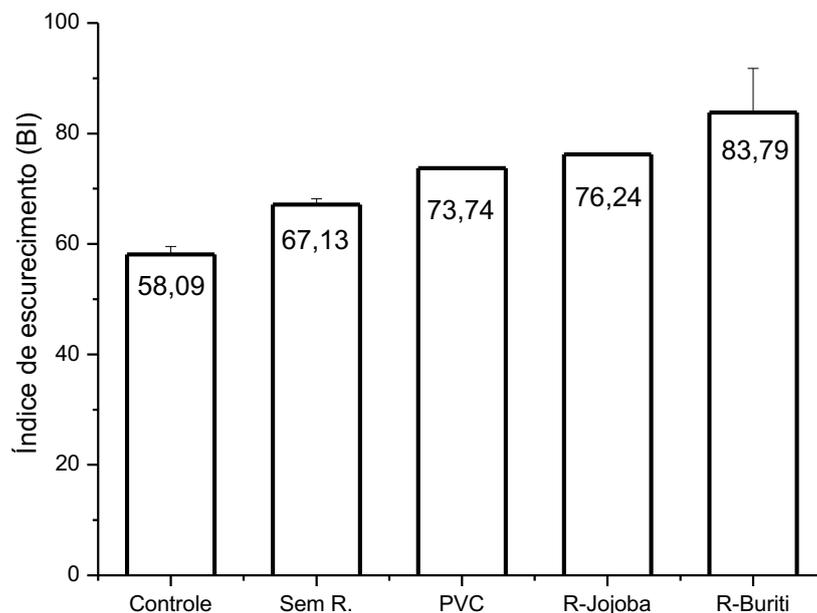
L*: luminosidade: 0 indica preto perfeito, 100 indica branco perfeito. Se seguirmos os eixos L*, vamos ver todos os tons de cinza.

a*: eixos vermelho-verde: valores de a* positivos caracterizam cores vermelhas, valores negativos de a* designam cores verdes.

b*: eixos amarelo-azul: valores positivos de b* são para cores amarelas, valores negativos de b* assinalam cores azuis.

Assim, os valores de BI, calculados com auxílio da equação 1 mostraram o índice de escurecimento da maçã após 1 h de acondicionamento em relação ao controle (fruto assim que foi descascado) (figura 38). Obviamente, quanto maior o valor de BI, mais oxidação o fruto sofreu.

FIGURA 38 – Índice de escurecimento (BI) das amostras de maçã após 1 h do início do experimento.
(Sem R. = maçã não acondicionada)



Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme pode ser visto pela figura 38, em 1 h de acondicionamento nenhuma das embalagens protegeu a fruta das reações de escurecimento enzimático. Entretanto, o filme convencional de PVC obteve melhor desempenho do que as embalagens propostas.

Ierna *et al.* (2017), fizeram esse teste com tubérculos de batata minimamente processados. Tais autores compararam um filme convencional (CONV) com um biofilme compostável comercial (BIO). Nessa pesquisa o BIO apresentou um desempenho pior do que o CONV, em termos de garantir a qualidade e o prolongamento do tempo de vida de prateleira dos tubérculos de batata minimamente processados.

De acordo com os autores, a migração de água para a superfície do biofilme modificou drasticamente suas propriedades. Conforme detalhado por esses autores, a composição da micro atmosfera (concentração de O₂ e CO₂ no espaço livre entre a embalagem e o tubérculo) foi o fator preponderante. O filme CONV reduziu a difusão de gás e então, foi observado um aumento da concentração de CO₂ e uma redução do nível de O₂, devido à intensa atividade respiratória do tubérculo. Apesar da redução do nível de O₂, ainda foi caracterizada intensa atividade metabólica aeróbica, importante para a qualidade dos vegetais minimamente processados.

Por outro lado, o filme BIO, mesmo com propriedades de barreira ao O₂ e CO₂ mais efetivas do que as do filme CONV, a micro atmosfera na embalagem apontou maior concentração de O₂ e menor concentração de CO₂. Com isso, a maior quantidade de O₂ favoreceu o escurecimento enzimático das fatias de batata, causado pela reação entre as enzimas oxidativas e os compostos fenólicos.

Azevedo *et al.* (2018) avaliaram o efeito de filmes bioativos, produzidos a partir de proteína isolada de soro de leite e argila montmorilonita (MMT), na inibição do escurecimento enzimático de maçãs minimamente processadas. Os autores observaram que com filmes sem o ácido cítrico o escurecimento dos frutos era maior. Também perceberam um sinergismo entre o filme, a argila e o ácido cítrico.

Conforme detalhado pelos autores, em maçãs minimamente processadas, as células do tecido são quebradas e enzimas, como as polifenol oxidases (PPO), são liberadas e colocadas em contato com seus substratos, causando escurecimento enzimático. A presença de ácido cítrico, identificado como um agente anti-escurecimento devido ao seu efeito inibitório sobre PPO, reduz a atividade enzimática.

A adição de MMT auxilia na melhoria das propriedades de barreira a gás, diminuindo a quantidade de oxigênio disponível. As peroxidases têm atividade na reação de oxidação de compostos fenólicos na presença de peróxido de hidrogênio. Como resultado da oxidação, obtêm-se quinonas, que são instáveis. Então, após oxidação não enzimática na presença de O₂, polimerizam e formam melanina que promove o escurecimento.

Suzuki *et al.* (2020) testaram filme de PVC, plastificado com óleo de soja usado e epoxidado, para aumentar o tempo de prateleira de fatias de maçãs. Os autores relataram que, à temperatura ambiente, somente o filme de PVC aditivado com vitamina C foi capaz de reduzir o índice de escurecimento das maçãs durante o armazenamento. Em relação ao filme de PVC, esse resultado vem ao encontro do resultado encontrado na presente pesquisa. Aqui, como o filme de PVC não estava aditivado, não se percebeu nenhuma redução no índice de escurecimento das fatias de maçã em relação a aquelas não acondicionadas.

Em compensação, os vegetais são uma fonte rica de compostos bioativos. Al-Ghamdi *et al.* (2019) estudaram a atividade antimicrobiana do óleo de Jojoba em diferentes concentrações contra diferentes microrganismos. Os resultados indicaram que o óleo de Jojoba é uma fonte promissora de compostos bioativos com propriedades antimicrobianas.

O óleo de buriti é rico em carotenoides, contém cerca de $1706 \pm 54 \mu\text{g}$ de carotenoides totais / g e β -caroteno é considerado o principal carotenoide, perfazendo 90% do teor total. Carotenóides são conhecidos por serem poderosos antioxidantes (ZANATTA *et al.*, 2010).

Silva *et al.* (2016) incorporaram óleo de buriti em filmes de quitosana com o objetivo de desenvolver materiais para embalagens bioativas. De acordo com os autores, os flavonóides são os principais polifenóis presentes nos extratos de buriti, principalmente flavonóides glicosilados e antocianinas, responsáveis por sua capacidade antioxidante.

Koolen *et al.* (2013) avaliaram a capacidade antioxidante e o teor fenólico de frutos de buriti. Foram identificados provisoriamente 13 compostos: ((+) - catequina, hexosídeo de ácido cafeico, ácido clorogênico, quercetina, narigenina, miricetina, vitexina, escoparina, rutina, cianidina-3-rutinosídeo, cianidina-3-glicosídeo, (-) epicatequina e caempferol). Esse resultado indica que a atividade antioxidante em extratos fenólicos de buriti é bastante potente e implica na presença de compostos com atividade sequestradora de radicais livres potente.

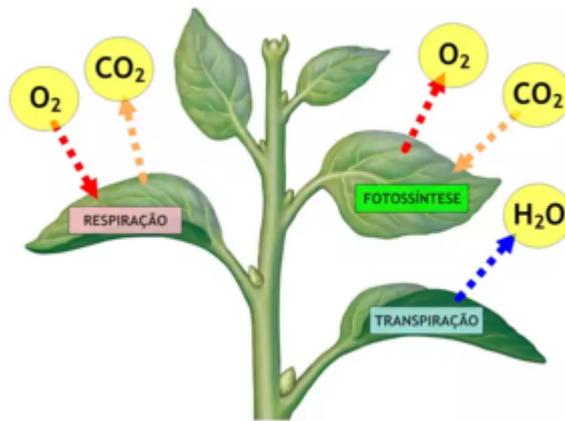
Apesar dos resultados pouco favoráveis, embalagens alternativas com menor impacto ambiental são uma tendência irreversível. Como consequência, novas pesquisas envolvendo o controle da permeabilidade a gases da embalagem devem prosseguir.

7.3.2 Perda de massa (M%)

A perda de massa é considerada um fator importante para avaliar a qualidade da maçã, e está intimamente relacionada à perda de água (LI *et al.*, 2019). Este é um fator que afeta a qualidade de produtos minimamente processados, pois está relacionada à perda de firmeza e aparência, o que pode levar à reprovação dos consumidores.

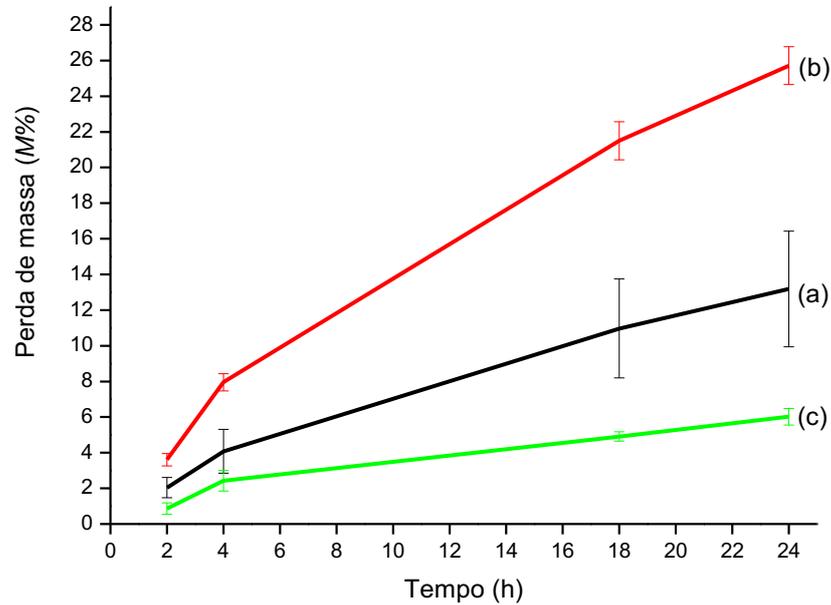
A carência de água nos frutos relaciona-se, principalmente ao processo de transpiração em excesso (figura 39) e ao tempo de armazenamento, que por diversas vezes produz o efeito de enrugamento, amolecimento dos tecidos e perda de brilho, tornando os frutos mais susceptíveis às deteriorações, podendo suceder mudanças na cor e no sabor (KADER, 1996).

FIGURA 39 – Processos que ocorrem nos vegetais.



Fonte: <https://www.estudopratico.com.br/transpiracao-vegetal-cuticular-e-estomatica/>

As porcentagens de perda de massa ($M\%$), calculadas de acordo com a equação 2, mostraram que as fatias das maçãs descascadas, acondicionadas nas três embalagens, apresentaram um processo de perda gradual de massa (figura 40). Os valores encontrados para $M\%$ aparecem na tabela 6.

FIGURA 40 – Perda gradual de massa (M%): (a) R-Jojoba, (b) R-Buriti e (c) PVC.

Fonte: Elaborada pela autora.

TABELA 6 – Perda gradual de massa (M%) das fatias das maçãs.

| Amostra | 2h | 4h | 18h | 24h |
|---------|-----------|-----------|------------|------------|
| Jojoba | 2,04±0,57 | 4,08±1,23 | 10,97±2,78 | 13,19±3,24 |
| Buriti | 3,61±0,35 | 7,95±0,48 | 21,50±1,07 | 25,71±1,06 |
| PVC | 0,86±0,32 | 2,43±0,58 | 4,91±0,26 | 6,02±0,47 |

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme pode ser observado, tanto pela figura 40 como pela tabela 6, o PVC apresentou o melhor desempenho em termos de perda de água, no entanto percebeu-se uma substancial condensação da água nesse tipo de embalagem. O PVC é muito usado em embalagens, justamente devido à sua resistência biológica e excelente propriedade de barreira à água (FERREIRA *et al.*, 2016). Por exemplo, o pepino sem embalagem perde umidade e se torna opaco e invendável em três dias, mas 1,5 g de embalagem plástica pode manter um pepino fresco por 14 dias (FERREIRA *et al.*, 2016).

Em um trabalho anterior Olarte *et al.* (2009) reportaram o aumento da vida de prateleira de brócolis e couve flor acondicionados em diferentes tipos de filmes de PVC. Entretanto, os

autores apontaram que a exposição à luz estimulou a abertura dos estômatos facilitando a troca de gases entre o tecido da planta e a atmosfera dentro da embalagem. Assim, foi observada uma perda considerável de vapor d'água nas embalagens de ambas as hortaliças armazenadas na presença de iluminação.

Além disso, segundos autores, a exposição à luz estimulou a atividade respiratória de modo que para a couve-flor, a composição da atmosfera dentro das embalagens variava de acordo com a permeabilidade do filme usado e as condições de armazenamento. No entanto, no caso dos brócolis, o aumento da atividade respiratória devido à iluminação foi compensado pela atividade fotossintética que ocorreu nessas condições, de tal forma que a composição da atmosfera dentro dos pacotes dependia exclusivamente da permeabilidade do filme.

Ban *et al.* (2014) também relacionaram a menor perda de água em cogumelos comestíveis com a menor permeabilidade dos filmes usados para acondicioná-los. No caso deles, foram comparados dois filmes de polietileno (PE) e um filme de PVC. Somente um dos filmes de PE, o de mais baixa permeabilidade, combinado com tratamento de revestimento dos cogumelos, estendeu a vida de prateleira a 12 °C em até 7 dias e satisfaz os critérios de aceitação do consumidor.

No entanto, apesar das vantagens dos filmes plásticos, o problema crucial do uso de plásticos em embalagens são os resíduos pós-consumo. O setor de embalagens é de longe o maior contribuinte para os resíduos plásticos (FERREIRA *et al.*, 2016). Além disso, ésteres ftalatos, usados para plastificar tais filmes, podem migrar da embalagem para o alimento. Embora os limites legais normalmente não sejam atingidos, outros fatores de exposição e o acúmulo desses produtos químicos no corpo humano devem ser considerados (ALP & YERLIKAYA, 2020).

Por outro lado, a celulose é um dos polímeros mais abundantes do planeta. No entanto, a absorção de água devido à hidroflicidade da celulose representa um problema: com o aumento da umidade relativa, maior a absorção de água leva a uma diminuição na eficácia da propriedade de barreira. Além disso, a água também tem um efeito plastificante no filme que causa uma redução significativa em sua propriedade de barreira (BALASUBRAMANIAM *et al.*, 2020).

Ribeiro *et al.* (2007) e Vargas *et al.* (2008) mostram que revestimentos à base de polissacarídeos possuem alta permeabilidade ao vapor de água, não evitando apropriadamente a perda de massa das amostras, apesar da redução da taxa de respiração das mesmas. A

incorporação de componentes hidrofóbicos, como óleos vegetais, ácidos graxo e ceras naturais e sintéticas, visam aumentar a resistência da cobertura ao vapor de água.

Pérez-Gago *et al.* (2002) e Valencia-Chamorro *et al.* (2010), ressaltam que revestimentos de hidroxipropil metilcelulose com diferentes tipos de lipídeos tais como, cera de abelha, cera de carnaúba ou breu, reduziram a perda de massa de tangerinas inteiras.

Navarro-Tarazaga *et al.* (2011) citam que a perda de massa de ameixas com revestimento de hidroxipropil metilcelulose contendo cera de abelha foi inferior à de amostras com revestimento sem o lipídeo. Segundo Sánchez-González *et al.* (2011), a adição de óleo vegetal de bergamota em revestimentos à base de quitosana melhora as propriedades de barreira ao vapor d'água do filme, reduzindo significativamente a perda de massa de uvas de mesa.

Mazzon *et al.* (2021) revestiram tecidos de algodão puro com um antioxidante de qualidade alimentar (hidroxitolueno butilado, BHT) e embeberam o tecido em poliéster biodegradável (policaprolactona, PCL). Este revestimento foi protegido com um segundo revestimento de silicone hidrofóbico biocompatível. Segundo os autores, os tecidos tratados exibiram uma absorção de vapor de água muito baixa e permaneceram respiráveis sem alteração de cor visível.

A diferença acentuada de perda de massa que aparece na tabela 6, entre a amostra que usou óleo de Jojoba e óleo de Buriti, foi atribuída às características intrínsecas do óleo de Jojoba. Ele se adapta em regiões áridas e áreas semiáridas por tolerar altas temperaturas (cerca de 50 °C) e também tolera o estresse hídrico (KHATTAB & AMIN, 2018). Além disso, existem estudos mais antigos que investigaram a relação entre as taxas de troca gasosas nas folhas de Jojoba e a densidade de fluxo de fótons (LORETO & BONGI, 1989). Tais estudos necessitam de um maior aprofundamento.

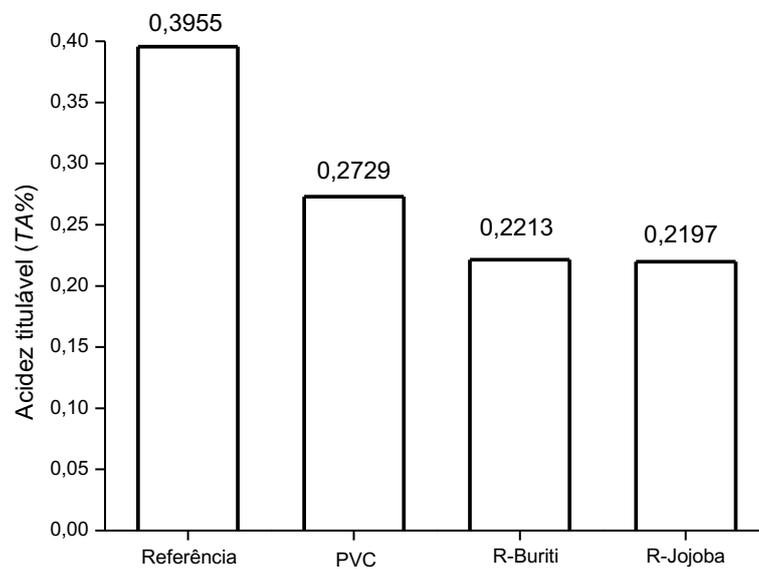
7.3.3 Acidez titulável (TA%)

Os frutos são órgãos vivos que respiram, mesmo depois de colhidos da árvore (JAN *et al.*, 2012). Durante o período de armazenamento há uma intensificação da taxa de respiração e maior consumo dos ácidos orgânicos, como resultado do descascamento, corte e outras atividades mínimas de processamento (COFELICE *et al.*, 2019). Portanto, o processo de amadurecimento devido à reação de oxidação desses ácidos diminui o valor de TA (SOLÍS-CONTRERAS *et al.*, 2021). Em outras palavras, a redução menos acentuada nos valores de TA

é resultado das propriedades de barreira dos revestimentos usados para retardar o processo de amadurecimento durante o armazenamento das frutas.

A figura 41 mostra os valores encontrados para TA% (equação 3), após 24 h do acondicionamento das fatias de maçãs descascadas nas embalagens, e para a amostra referência (sem embalagem).

FIGURA 41 – Acidez titulável (TA%) após 24 h de acondicionamento nas embalagens testadas.



O desvio padrão entre os valores não foi significativo, por isso as barras de erro não aparecem no gráfico.

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme pode ser observado, O maior valor para a acidez titulável é da amostra referência (sem acondicionamento), ao passo que os menores valores foram encontrados para as amostras acondicionadas nas embalagens propostas. Esse resultado quer dizer que as embalagens não foram capazes de retardar o processo de respiração. Essa é uma questão que ainda precisa ser mais bem trabalhada.

Quanto ao sabor, que é um dos mais importantes parâmetros de qualidade na determinação da aceitação dos frutos pelo consumidor, o sabor ácido pode ser previsto com base na acidez titulável (HARKER *et al.*, 2002; LI *et al.*, 2019). A diferença entre R-Jojoba e R-Buriti foi muito pequena. Mesmo assim, diferenças no sabor ácido já são percebidas quando

as maçãs diferem em mais de 0,08% (ou seja, 800 mg kg⁻¹) no valor da acidez titulável (HARKER *et al.*, 2002).

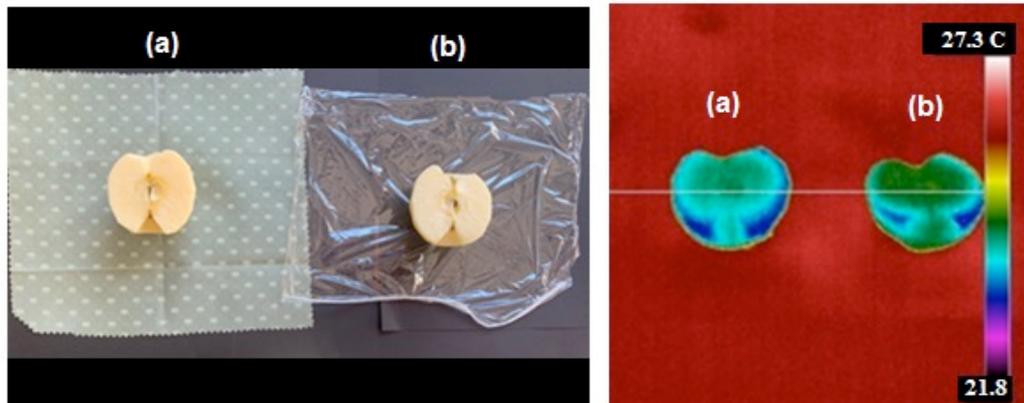
Além do ponto de vista ambiental, uma das potenciais vantagens do uso de cera de abelha como parte de um material de embalagem para alimentos são suas propriedades antimicrobianas (PINTO *et al.*, 2021). Esse ensaio não foi realizado na presente pesquisa. Entretanto, Pinto *et al.* (2021) testaram uma embalagem similar à da presente pesquisa, com nome comercial de AbeegoTM. Segundo eles, AbeegoTM foi capaz de inibir significativamente a contagem de células viáveis de espécies bacterianas - gram positivas e gram negativas. No entanto, nenhuma atividade antifúngica ou antiviral perceptível foi observada.

Ainda segundo os mesmos autores, presumivelmente, grande parte da atividade antibacteriana do AbeegoTM vem da fração de própolis da cera de abelha. No entanto, também pode haver contribuições do breu, óleo vegetal ou até mesmo do tecido.

7.3.4 Experimentos de termografia de infravermelho (IRT)

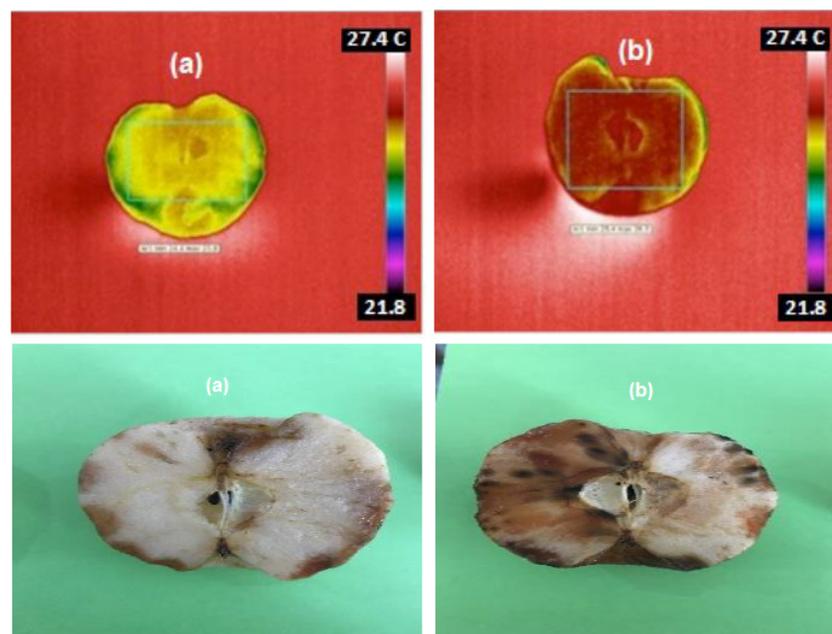
IRT é baseada no fato que todos os objetos no ambiente emitem radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho (NAGY, 2015). As imagens adquiridas com câmeras infravermelhas são convertidas em imagens visuais, atribuindo-se uma cor a cada nível de energia infravermelho (USAMENTIAGA *et al.*, 2014). De temperaturas mais altas para mais baixas, as cores atribuídas são branco, vermelho, amarelo, verde e azul (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2013). No primeiro experimento, IRT passiva¹ foi utilizada como uma ferramenta para monitorar o processo de amadurecimento das frutas em termos da temperatura absoluta das maçãs. Comparamos o processo de amadurecimento das maçãs quando acondicionadas em R-Buriti ou filme de PVC. A figura 42 mostra as imagens visíveis e térmicas no início do experimento de IRT. A figura 43 mostra as imagens térmicas após cinco dias de armazenamento em temperatura ambiente.

FIGURA 42 – Imagens visíveis e térmicas no início do experimento de IRT: (a) tecido de algodão revestido (R-Buriti) e (b) filme de PVC.



Fonte: Elaborado pela autora

FIGURA 43 – Imagens termográficas e foto do estado geral das maçãs após cinco dias embaladas e mantidas em temperatura ambiente: (a) tecido de algodão revestido (R-Buriti) e (b) filme de PVC.



Fonte: Elaborado pela autora

¹A termografia pode ser feita de duas maneiras: passiva e ativa.

–Na termografia passiva, os próprios objetos servem como fonte de energia para a câmera. A câmera capta as imagens de acordo com a diferença de temperatura desses objetos com o fundo.

–Na termografia ativa, é necessário ter uma fonte de energia. A energia emitida é refletida pelos objetos em estudo e captada pela câmera.

Por uma análise qualitativa percebe-se na figura 43 que a temperatura da maçã embalada em filme de PVC ficou visivelmente mais alta, quando comparada a embalada no tecido revestido de R-Buriti, o que indica um amadurecimento mais rápido.

Gurupatham & Wiles (2019) capturaram imagens térmicas de frutas por meio de uma câmera térmica, por três dias consecutivos em um horário específico, nas mesmas condições ambientais. As imagens térmicas mostraram que a temperatura dos frutos aumenta com o grau de amadurecimento durante o armazenamento, o que ocorre devido à respiração dos frutos.

Por outro lado, a maior emissão de calor pela maçã acondicionada no filme de PVC também indica menor taxa de transpiração e, conseqüentemente, menor perda de água (MORALES et al., 2014). De fato, o PVC apresentou o melhor desempenho em termos de perda de água (figura 40). Conforme já foi mencionado, percebeu-se uma substancial condensação da água nesse tipo de embalagem, demonstrando que o PVC reteve a transpiração da fruta, o que pode ter influenciado no amadurecimento precoce da fruta e conseqüente deterioração.

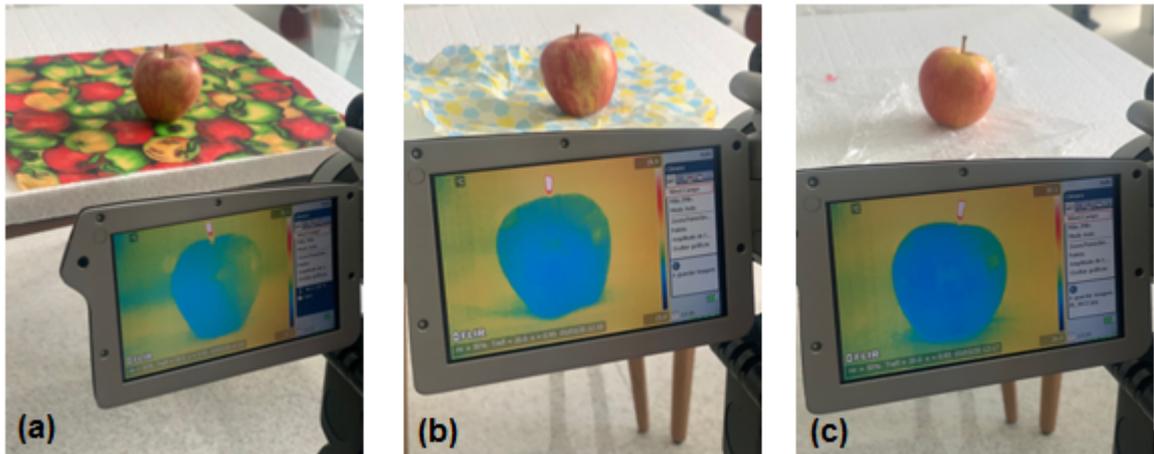
García-García et al. (2011) armazenaram tomates frescos em bandejas de papel cartão revestidas com filme de poli(ácido láctico) (PLA) e envoltas com filme de polietileno de baixa densidade (LDPE) com duas espessuras diferentes: 70 ou 20 μm . Segundo eles, ficou demonstrado que a capacidade do PLA de adsorver vapor de água, além da espessura do filme de LDPE foi decisiva para o controle da atmosfera da embalagem e para evitar a condensação do vapor de água na fruta e no filme.

As bandejas envoltas em filme de LDPE espesso apresentaram maior retenção de vapor de água a partir da terceira semana de armazenamento em diante, resultando em menores perdas de peso nos tomates.

Vale a pena ressaltar que o estudo desses autores também envolveu o controle da concentração de etileno (C_2H_4) na atmosfera da embalagem. O etileno acelera a respiração, levando ao amadurecimento, amolecimento e senescência de frutas e vegetais, porém não foi um fator abordado na presente pesquisa.

No segundo experimento, utilizou-se o mesmo método da termografia passiva, com maçãs inteiras e com a casca visando garantir uma melhor conservação da fruta para monitoramento durante 28 dias. Para captura das imagens as maçãs foram posicionadas sobre uma placa de poliestireno expandido (isopor), para evitar ruídos das imediações nas medidas, e a câmera foi disposta perpendicularmente em relação as maçãs, o foco foi ajustado (figura 44).

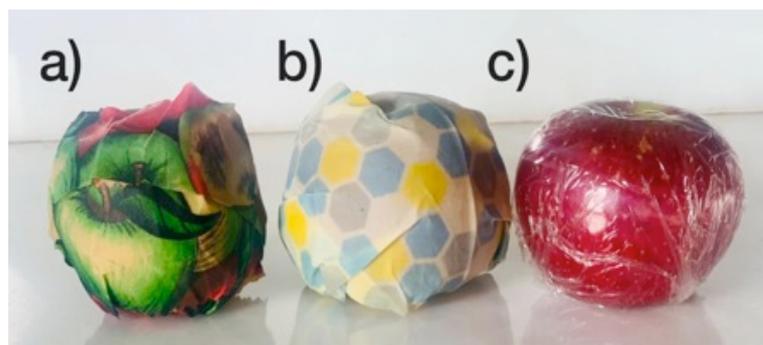
FIGURA 44 – Posicionamento de medição realizado durante o experimento: (a) R-Buriti, (b) R-Jojoba e (c) PVC.



Fonte: Elaborado pela autora

Após a medida inicial, que serviu como controle, as frutas foram acondicionadas nas embalagens de tecido revestidas de R-Jojoba, R-Buriti e em filme PVC (figura 45) e monitoradas aos 7, 14, 21 e 28 dias. Após cada medição as maçãs permaneceram dentro das embalagens, em local fresco, ventilado, com iluminação e temperatura ambiente moderada, até a medição seguinte.

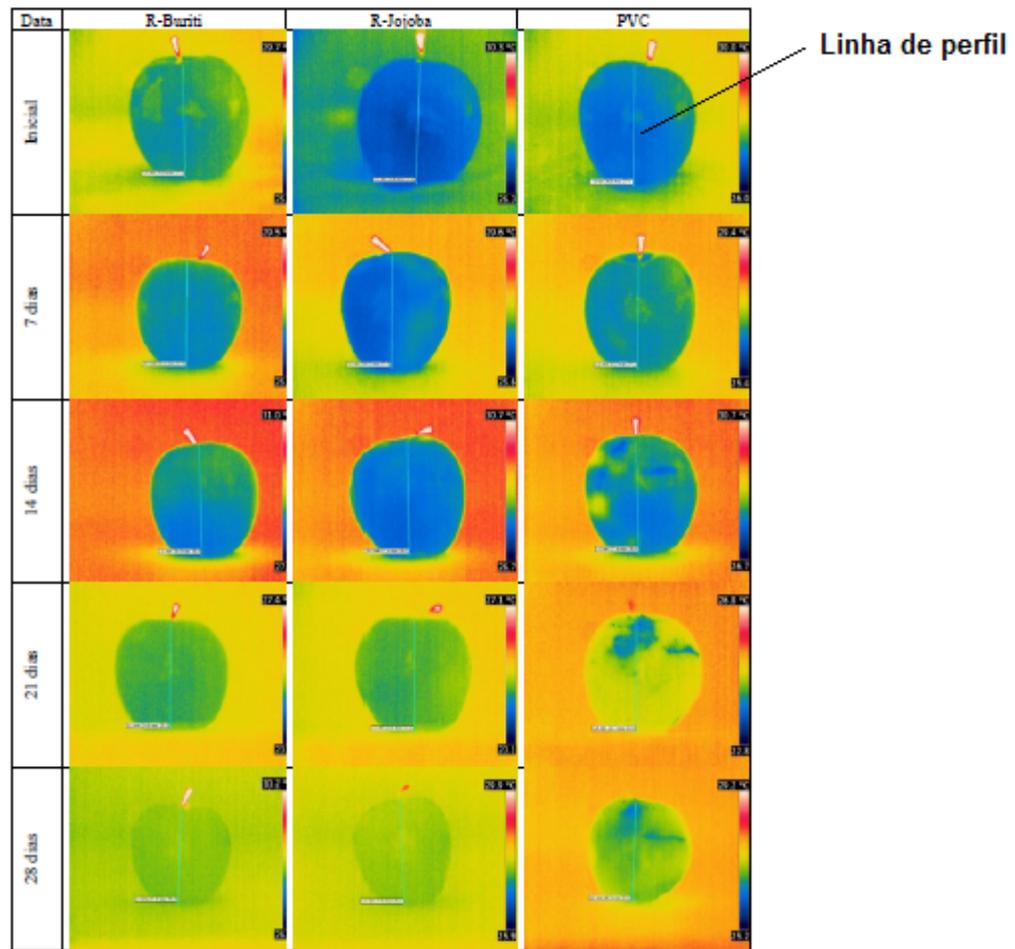
FIGURA 45 – Maçãs acondicionadas em: (a) R-Buriti, (b) R-Jojoba e (c) PVC.



Fonte: Elaborado pela autora

A figura 46 apresenta as imagens térmicas correspondentes ao acompanhamento do amadurecimento das frutas.

FIGURA 46 – Imagens termográficas do acompanhamento do amadurecimento das maçãs.



Fonte: Elaborado pela autora

Inicialmente as análises foram realizadas de forma qualitativa segundo a escala cromática situada do lado direito de cada termograma e depois de forma quantitativa a partir de valores de oscilação da temperatura, mostradas ao longo de linhas de perfil traçadas verticalmente na superfície das maçãs (cada linha corresponde a um conjunto de até 241 pixels). Percebe-se que a temperatura ambiente variou em função do dia do experimento (dias quentes e dias frescos), o que afetou a nitidez das imagens, quanto mais quente o dia, melhor a resolução da imagem térmica. Contudo não se pode afirmar com certeza, por uma análise qualitativa, qual a significância das diferenças de temperatura visto que elas são sutis.

As maçãs acondicionadas nas embalagens R-Buriti e R-Jojoba não apresentaram alterações visíveis, contudo, a maçã acondicionada no filme de PVC, a partir do 14º dia começa

a apresenta manchas azuladas na parte superior da fruta, o que sugere os primeiros indícios de deterioração. Tal situação se agrava entre o 21º e 28º dias, visto que a temperatura da maçã naquele local se apresenta mais baixa em relação ao restante da fruta. Fato oposto ao ocorrido com as maçãs descascadas do primeiro ensaio, o que era esperado, uma vez que a fruta descascada tende a deteriorar mais rápido, condensando o calor da respiração da fruta.

Na sequência foi realizada uma análise quantitativa utilizando o software QuickReport, para a leitura dos valores de temperatura de cada pixel ao longo das linhas de perfil, traçadas no sentido vertical das frutas (241 pixels). O intuito dessa análise foi verificar se seria possível detectar diferenças de temperatura entre o tecido supostamente sadio e o tecido deteriorado da maçã acondicionada no PVC, assim como, avaliar se nas maçãs embaladas com tecido R-Buriti e R-Jojoba, não estaria ocorrendo alguma mudança térmica. Os valores de temperatura registrados em cada linha de perfil (inicial, aos 7, 14, 21 e 28 dias) foram transportados para o Excel e transformados em gráficos de oscilação de temperatura (figuras 47-49).

FIGURA 47 – Oscilação da temperatura sobre as linhas de perfil verticais (R-Buriti).

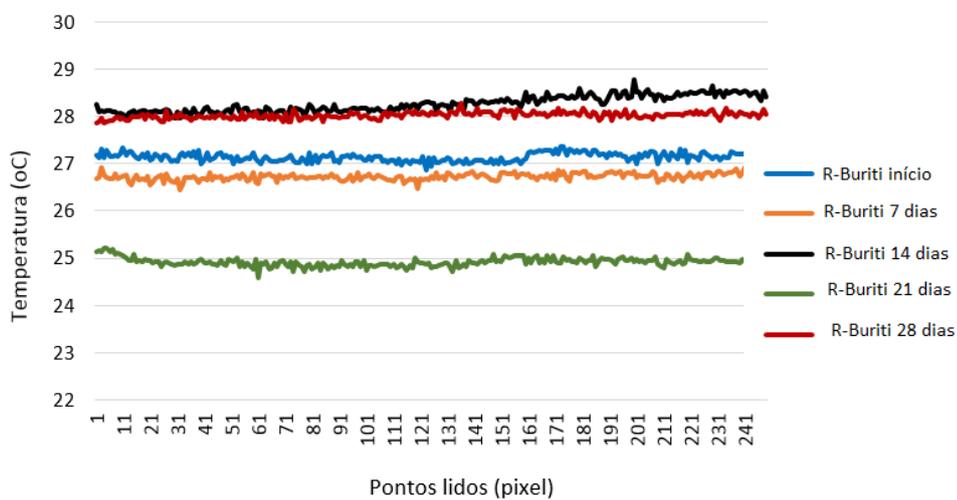


FIGURA 48 – Oscilação da temperatura sobre as linhas de perfil verticais (R-Jojoba).

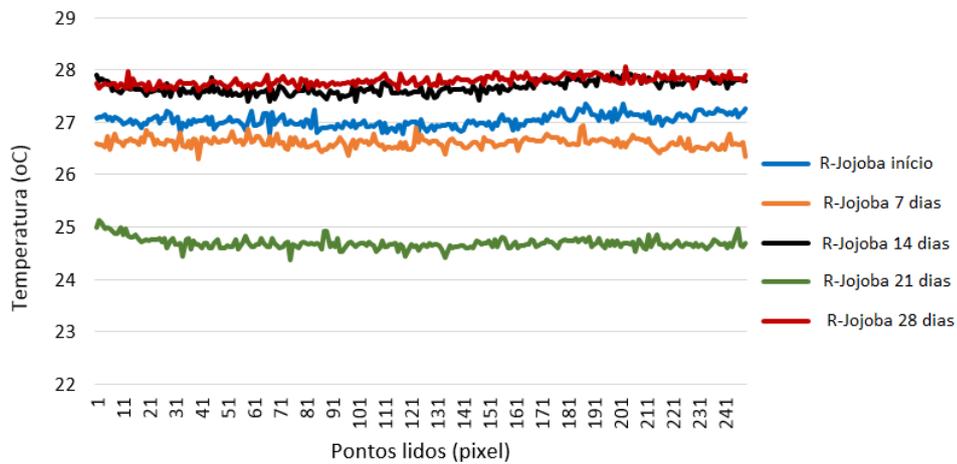
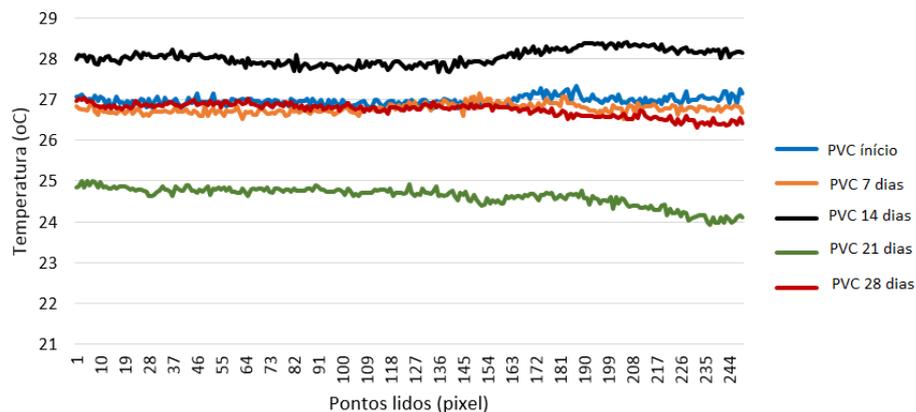


FIGURA 49 – Oscilação da temperatura sobre as linhas de perfil verticais (PVC).



As diferenças detectadas no gráfico mostram que existe uma diferença sutil de temperatura aos 28 dias apenas na maçã embalada com PVC, não sendo perceptível nas maçãs embaladas com tecido R-Buritis e R-Jojoba. Isso porque não se percebe visualmente mudanças nessas frutas até os 28 dias. Contudo, a temperatura ambiente influenciou fortemente as medidas, conforme pode ser observado, principalmente no 21º dia, ou seja, quanto mais quente/frio o dia maior/menor foi a temperatura das maçãs, independentemente do tipo de embalagem utilizada.

Jia et al. (2015), reportaram que o grau de deterioração de pêssegos pode ser avaliado pela diferença de temperatura entre os tecidos deteriorados e tecidos de sadios. De acordo com

eles, essa diferença era pequena no início do processo de deterioração, mas aumentou gradualmente com o agravamento do grau de deterioração, até atingir 0,7 °C após 32 horas.

Ainda segundo tais autores, a avaliação do grau de amadurecimento/deterioração por meio da diferença de temperatura entre tecido sadio e deteriorado, é mais viável do que por meio da temperatura absoluta (primeiro experimento). Isso devido tanto à variação da temperatura ambiente, como à margem de erro na medida do sistema Flir.

Em uma tentativa de identificar, por meio da termografia, a diferença de temperatura entre tecido sadio e tecido deteriorado, foram tomadas duas medidas pontuais nas maçãs (com a ferramenta ponto do software), uma na parte inferior que aparentemente estava sadio em todas as frutas, e outra na parte superior onde era visível a deterioração na fruta embalada com PVC. Os valores estão registrados na Tabela 7.

TABELA 7 - Medidas pontuais de temperatura das maçãs na parte inferior e superior.

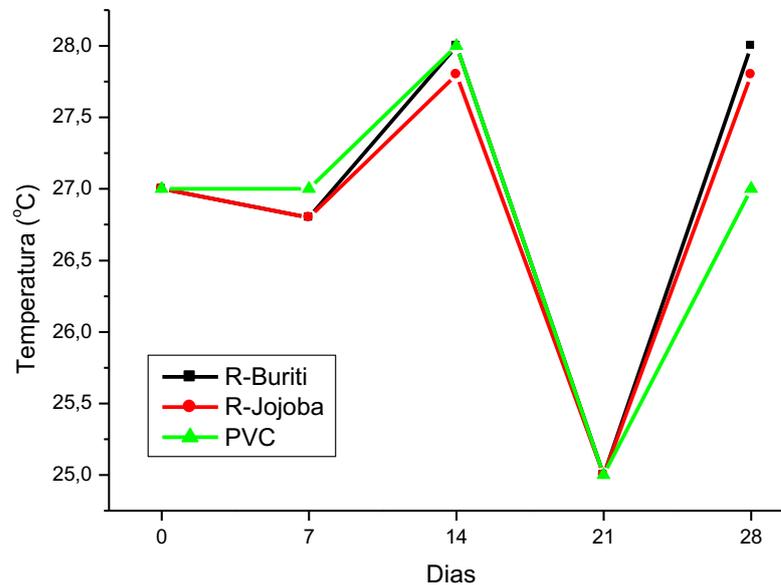
| | Dias | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | |
|---|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Temperatura pontual (°C) na parte inferior sadia das maçãs | | | | | | | ΔT |
| Tecido revestido de R-Buriti | | 27,0 | 26,8 | 28,0 | 25,0 | 28,0 | 1,0 |
| Tecido revestido de R-Jojoba | | 27,0 | 26,8 | 27,8 | 25,0 | 27,8 | 0,8 |
| Filme de PVC | | 27,0 | 27,0 | 28,0 | 25,0 | 27,0 | 0 |
| Temperatura pontual (°C) na parte superior deteriorada das maçãs | | | | | | | ΔT |
| Tecido revestido de R-Buriti | | 27,0 | 26,8 | 28,8 | 25,0 | 28,0 | 1,0 |
| Tecido revestido de R-Jojoba | | 27,0 | 26,5 | 27,9 | 24,8 | 27,8 | 0,8 |
| Filme de PVC | | 27,0 | 26,9 | 28,4 | 24,0 | 26,4 | -0,4 |

ΔT= diferença de temperatura entre 0 e 28 dias.

Fonte: Elaborado pela autora

Existe uma variação sutil de temperatura entre as medidas aos 7°, 14°, 21° e 28° dias quando comparada à medida inicial de 27,0 °C (controle). A maior temperatura registrada foi de 28,8 °C, sendo esta diferença de 1,8 °C quase no limite do erro de medição de 2% da medida, o que dificulta a precisão das análises.

Devido a esse fato, e com base na Tabela 7, foram construídos mais dois gráficos. A figura 50 mostra as temperaturas registradas na parte inferior das maçãs (supostamente sadias).

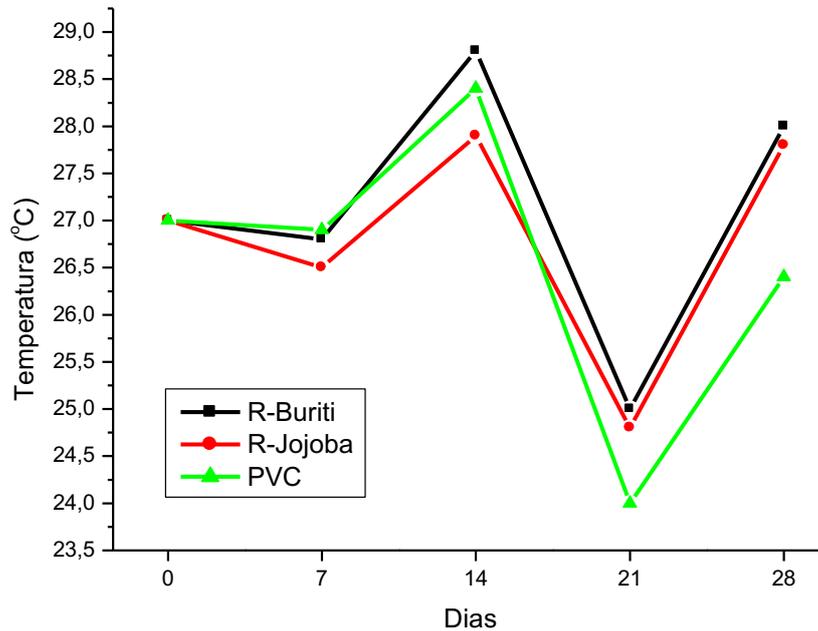
FIGURA 50 – Tendência de oscilação da temperatura da parte sadia da maçã ao longo de 28 dias.

Fonte: Elaborado pela autora

É perceptível a influência da temperatura ambiente e variação da temperatura da fruta em todas as medidas e em todas as amostras. O comportamento é semelhante para todas as frutas até os 21 dias. Porém, aos 28 dias a maçã embalada no tecido R-Jojoba a temperatura se mostra ligeiramente mais baixa se comparada com a R-Buriti, enquanto na maçã embalada no PVC, a temperatura apresenta-se bem mais baixa. Tal fato poderia indicar uma possível deterioração inicial na parte inferior da fruta embalada em tecido revestido de R-Jojoba, e em maior grau no PVC.

A figura 51, que mostra as temperaturas registradas na parte superior das maçãs (supostamente deterioradas), reforça essa hipótese.

FIGURA 51 – Tendência de oscilação da temperatura da parte deteriorada da maçã ao longo de 28 dias.



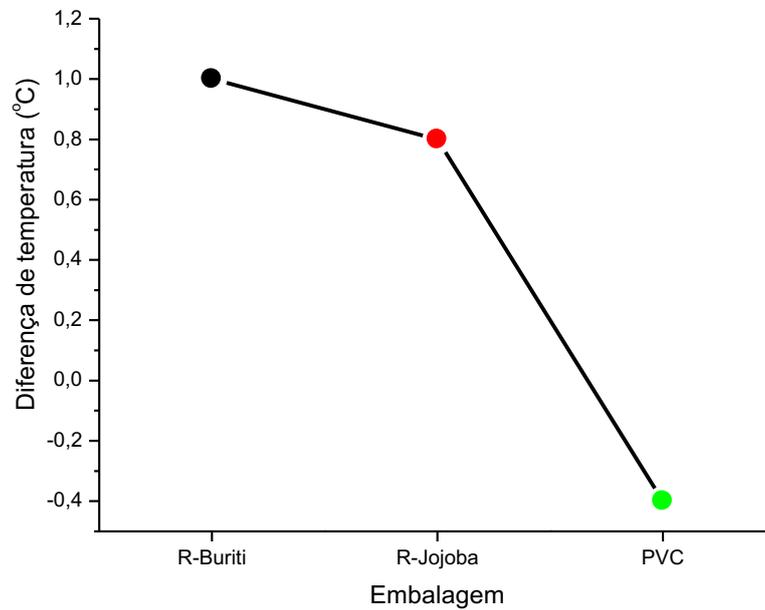
Fonte: Elaborado pela autora

O gráfico mostrou que na maçã embalada em R-Buriti as temperaturas estão sempre mais altas do que na maçã embalada em R-Jojoba. A maçã embalada no filme de PVC apresentou temperatura significativamente mais baixa em relação às outras embalagens no 21° e 28° dias. Essa queda da temperatura foi associada ao surgimento visível da deterioração da fruta.

Por outro lado, a temperatura da maçã embalada em R-Buriti se mostrou mais alta ao longo dos 28 dias, sugerindo que essa embalagem acondicionou melhor o fruto em comparação com R-Jojoba e o filme de PVC. A análise qualitativa corrobora com essa hipótese, no caso do PVC, a temperatura é menor tanto na parte inferior da maçã quanto na parte superior indicando que a deterioração no PVC é mais rápida.

Para apresentar claramente essa diferença foi construído o gráfico da figura 52, que mostra os valores da diferença entre a temperatura inicial e a temperatura aos 28 dias apenas da parte superior das maçãs, região visivelmente deteriorada na embalagem de PVC.

FIGURA 52 – Diferença de temperatura na parte superior das maçãs, inicial e após 28 dias de acondicionamento nas diferentes embalagens.



Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que na maçã acondicionada em R-Jojoba a temperatura é ligeiramente inferior em relação àquela acondicionada em R-Buriti, indicando que a maçã acondicionada em R-Jojoba possivelmente apresentaria deterioração nos próximos dias. A diferença de temperatura para maçã embalada em filme de PVC foi bem menor, compatível com a deterioração visual (figura 53). Consequentemente a maçã embalada em R-Buriti seria a última a apresentar deterioração, sugerindo que esta é a melhor das três opções de embalagem.

FIGURA 53 – Aspecto visual entre as maçãs acondicionadas em R-Buriti e PVC, após 28 dias.



Fonte: Elaborado pela autora

Em resumo, de acordo com o aspecto visual das maçãs após 28 dias de acondicionamento em embalagens, pode-se concluir que a fruta que permaneceu na embalagem R-Buriti apresenta aspecto geral saudável. Os testes termográficos indicaram que a maçã que permaneceu na embalagem R-Jojoba poderia apresentar algum dano não visível. A fruta que permaneceu no filme PVC sofreu sérias deteriorações tornando-se claramente imprópria para consumo. Vale ressaltar que, no mesmo período a maçã na embalagem de R-Buriti se manteve com um aspecto saudável, em condições de ser consumida, o que torna perceptível a extensão da vida útil do alimento e a eficiência do material desenvolvido na pesquisa.

8 CONCLUSÕES

A pesquisa atingiu seu objetivo geral, sendo concebida uma embalagem natural, oriunda de materiais potencialmente bioativos, como uma alternativa aos filmes de PVC, que é um material altamente poluente ao meio ambiente e gera um acúmulo de resíduos.

Foi constatado por análises e ensaios laboratoriais, que é possível a criação de uma embalagem, sob forma de tecido com revestimento uniforme e maleável, obtido com materiais alternativos e com potencial para se comportar como embalagem ativa.

Diante dos resultados, as principais conclusões da pesquisa são destacadas:

- Até onde vai o nosso conhecimento, não existem estudos que abordam a cera de abelha como PCM nesse tipo de aplicação. Sob esse ponto de vista, o presente estudo pode ser caracterizado como inovador. No entanto, estudos futuros serão necessários para aprofundar essa questão;
- A força de propagação do rasgo no tecido com revestimento ficou acima de valores reportados em literatura para filmes plásticos usados em embalagens de alimentos. Esse é um aspecto positivo da embalagem proposta na presente pesquisa;
- De acordo com as medidas de ângulo de contato (θ), o tipo de óleo usado na composição do revestimento não teve influência na molhabilidade do tecido. Os valores encontrados, na faixa de 90° ficaram abaixo daqueles comumente reportados para os filmes de PVC. Apesar disso, são encontrados filmes de PVC com valores de θ bem menores, dependendo do teor de plastificante usado;
- Os resultados do índice de escurecimento (BI) das maçãs que foram acondicionadas nos tecidos revestidos foram pouco favoráveis. Apesar disso, as embalagens alternativas com menor impacto ambiental são uma tendência irreversível;
- O PVC apresentou o melhor desempenho em termos de evitar a perda de massa (água) das maçãs do que os tecidos revestidos. No entanto, percebeu-se uma substancial condensação da água acumulada na atmosfera entre a maçã e o filme de PVC;

- A maior perda de massa (água) nas maçãs acondicionadas no tecido que usou óleo de Buriti foi atribuída às características intrínsecas do óleo de Jojoba, conhecido por tolerar altas temperaturas;
- Os resultados da acidez titulável (TI) indicaram que as embalagens não foram capazes de retardar o processo de respiração. Essa é uma questão que ainda precisa ser melhor trabalhada;
- Um dos experimentos de termografia de infravermelho (IRT) a maçã envolta em filme de PVC por cinco dias está emitindo uma quantidade maior de calor, o que significa um amadurecimento mais rápido da maçã e menor taxa de transpiração do que aquelas envoltas no tecido revestido;
- Experimentos de IRT realizados com maçãs acondicionadas durante 28 dias mostraram a redução da diferença entre o máximo e mínimo da temperatura nas maçãs acondicionadas nos tecidos revestidos. Foi sugerido um amadurecimento mais uniforme, ao invés da presença de partes sadias contrastando com partes severamente deterioradas.

A contribuição dessa pesquisa para a literatura atinge o diálogo em diversas áreas de ensino, demonstrando a característica que o designer tem de se conectar com a multidisciplinaridade. O design de materiais abre uma vasta oportunidade de criação de novos produtos, e na melhoria de diversos materiais, sendo coerente com um desenvolvimento projetual de serviços e produtos com caráter social, ambiental e econômico.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, notou-se que seria aplicável alguns testes e estudos para ampliar sua conclusão. A seguir, algumas sugestões para complementar este estudo:

- Existe a possibilidade de testar a aplicação do compósito em diversos tipos de tecidos vegetais, procurando alcançar um viés mais sustentável, por meio de materiais que utilizem menos recursos hídricos (tecido da bananeira, tecido do cânhamo, tecido do abacaxi, etc.);
- O teste de lavagem seguido de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), pode revelar o tempo de uso da embalagem proposta nesta pesquisa;
- Pode ser benéfico a análise da biodegradação do solo, comparando a embalagem desenvolvida neste estudo, com embalagens oriundas de diversos plásticos;
- Pesquisas futuras podem verificar o potencial antimicrobiano da embalagem pesquisada;
- Além disso, a pesquisa desenvolvida pode ser testada para sua produção em comunidades mineiras, tendo em vista a produção de tecidos e apicultura local, podendo ser analisados locais promissores para sua produção, visando a implementação da economia criativa, capacitando pessoas e fomentando o comércio local;
- Trabalhos futuros também podem envolver uma análise da viabilidade de produção da embalagem proposta em nível industrial.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROANALYSIS-EQUIPE; Da redação "Jojoba." *AgroANALYSIS* v.8.6, p.19-23, 1984.
- ALBUQUERQUE, M. L. S. *et al.* Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Vibrational Spectroscopy*, v. 33, n. 1-2, p. 127-131, 2003.
- AL-GHAMDI. *et al.* Antibacterial and Antifungal Activity of Jojoba Wax Liquid (*Simmondsia chinensis*). *Pharmacognosy Journal*, v.11(1), 2019.
- ALP, A. C., & YERLIKAYA, P.; Phthalate ester migration into food: effect of packaging material and time. *European Food Research and Technology*, 246(3), p.425-435, 2020.
- ALMEIDA, S.P. *et al.* Cerrado: Espécies Vegetais Úteis. **Planaltina: EMBRAPA-CPAC**, v.464, 1998.
- AMIN, M. *et al.* "Thermal properties of beeswax/graphene phase change material as energy storage for building applications." *Applied Thermal Engineering*, v.112, p.273-280, 2017.
- AMIN, M.; PUTRA N.; ENKOS A.; KOSASIH; PRAWIRO E.; ACHMAD L. R.; MAHLIA T.M.I. Preparation, characterization, and performance study of beeswax/expanded graphite composite as thermal storage material, *Experimental Heat Transfer*, p.139-150, 2017.
- ARRIVABENE, R. M. C. Design? In: ARRIVABENE, R. M. C. **Design projeto mutante**. São Paulo: [s.n.], cap. 3, p. 15-24, 2009.
- ASHOUR ML. *Simmondsia Chinensis* (Jojoba): A comprehensive pharmacognostic study. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. V.2 (2), 2013.
- ASHRAFUL AM, MASJUKI HH, KALAM MA, RIZWANUL FATTAH IM, IMTENAN S, SHAHIR SA, MOBARAK HM. Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non- edible vegetable oils: a review. *Energy Convers Manage*, p.28-202, 2014.
- AZEVEDO, V. *et al.* Effect of whey protein isolate films incorporated with montmorillonite and citric acid on the preservation of fresh-cut apples. *Food Research International*, v.107, p.306-313, 2018.
- BAILEY, A. E.; **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, 5th ed., John Wiley: New York, vol. 3, 1996.
- BAJPAI, V.K.; RAHMAN, A.; SUN C.K. Chemical composition and inhibitory parameters of essential oil and extracts of *Nandinadomestica* Thunb. to control food-borne pathogenic and spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, v.125, p.117-22, 2008.

BARROS, A.; NUNES, F. H. F. M.; COSTA, M. M. F. Manual de boas práticas na produção de cera de abelha: Princípios gerais. **Portugal: Fnep**, 2009.

BCSD. Sustentabilidade. Retrieved, Abr, 2020

<<https://www.bcsdportugal.org/sustentabilidade/sustentabilidade>> Acesso em 15 de fev. 2021.

BEDANTE, N. A influência da consciência ambiental e das atitudes em relação ao consumo sustentável na intenção de compra de produtos ecologicamente embalados (Dissertação de mestrado). **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2004.

BAGAVATHIAPPAN, S. *et al.* Infrared thermography for condition monitoring—A review. **Infrared Physics & Technology**, v.60, p.35-55, 2013.

BALASUBRAMANIAM, S. L., PATEL, A. S., & NAYAK, B. Surface modification of cellulose nanofiber film with fatty acids for developing renewable hydrophobic food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v.26, p.100-587, 2020.

BAN, Z. *et al.* Modified atmosphere packaging (MAP) and coating for improving preservation of whole and sliced *Agaricus bisporus*. **Journal of food science and technology**, 51(12), p.3894-3901, 2014.

BAPTISTA, J. A., EUSÉBIO, M. E. S., & PEREIRA, M. M. New renewable raw materials for thermal energy storage. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, p.1-11, 2020.

BELGACEM, M.N.; GANDINI A. Modificação Superficial de Fibras Celulósicas, **Monômeros, Polímeros e Compósitos de Recursos Renováveis**, Elsevier, Amsterdam, cap.18, p. 385-400, 2008.

BHAMRA, T.; LOFTHOUSE, V. Design for Sustainability: a practical approach. **Aldershot, UK: Gower**, 2007.

BONILLA, J. *et al.* Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 208-213, 2012.

BRUNETTI, M.; SANT'ANNA, F. Ecodesign e a Revisão do Design Industrial para a Criação de Produtos de Baixo Impacto Ambiental. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Joinville, set. 2003.

BÜRDEK, B. Diseño. Historia, teoría y práctica del diseño industrial. **Editora Gustavo Gili**, 2ª edición. Barcelona, 1999.

CAPOROSSI, L.; ALTERI, A.; CAMPO, G.; PACI, E.; TRANFO, G.; CAPANNA, S; PAPAEO, B. Cross Sectional Study on Exposure to BPA and Phthalates and Semen Parameters in Men Attending a Fertility Center. **International Journal of Environmental**

- Research and Public Health**, cap.17, p.489, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijerph17020489>>. Acesso em 15 de fev. 2021.
- CARA, M. **Do desenho industrial ao design no Brasil**: uma bibliografia crítica para a disciplina. 2008. Dissertação (Mestrado em Design e Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Paulo, 2008.
- CARDOSO, R. *et al.* **Uma introdução à história do design**. Editora Edgard Blucher Ltda., 2008.
- CASTRO, A. G; POUZADA, A. S. Embalagens para a indústria alimentar, Lisboa: **Instituto Piaget**, p.610, 2003.
- CAVALCANTI, P.; CHAGA C. História da embalagem no Brasil. São Paulo, **ABRE**, p.253, 2006.
- CHEN, C.; CHIANG, C. Preparation of cotton fibers with antibacterial silver nanoparticles. In: **Materials Letters**. v.62, p. 3607–3609, 2008.
- CHEN, L., SHENG, C. Y., DUAN, Y. X., & ZHANG, J. M. Morphology, microstructure and properties of PEG-plasticized PVC. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v.50(4), p.412-417, 2011.
- CHEN, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein–casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 93-102, 2015.
- CHIANG, C.; MAHALINGAM, S.; & FLAWS, J. A. Environmental Contaminants Affecting Fertility and Somatic Health. **Seminars in Reproductive Medicine**, 35, p. 241–249. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1055/s-0037-1603569>>. Acesso dia 15 de fev. 2021.
- COFELICE, M., LOPEZ, F., & CUOMO, F. Quality control of fresh-cut apples after coating application. **Foods**, 8(6), p.189, 2019.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Circular Economy Action Plan**: For a cleaner and more competitive Europe, 2020.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria, **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção** – Brasília: CNI, 2017.
- COUTO, R. H. N.; COUTO L. A. **Apicultura**: manejo e produtos. 3. ed. Jaboticabal: Funep, 2006.
- CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: **Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC**, p. 160, 2005.

CUNHA, O. Síntese e atividade antimicrobiana de filmes biopoliméricos de dietilaminoetil quitosana de alta massa molecular. **Universidade Estadual de São Paulo (UESP)**, 2019.

DINKER, A.; AGARWAL, M.; AGARWAL, G. D. Preparation, characterization, and performance study of beeswax/expanded graphite composite as thermal storage material. **Experimental Heat Transfer**, v. 30, n. 2, p. 139-150, 2017.

DOMENE-LÓPEZ, D. *et al.* Study of the behavior of biodegradable starch/polyvinyl alcohol/rosin blends. **Carbohydrate polymers**, v.202, p.299-305, 2018

DONG HUA UNIVERSITY. Natural Textile Fibers – Vegetable Fibers. **Textiles and Fashion - Materials, Design and Technology. The Textile Institute**. Woodhead Publishing Series in Textiles: Number v.126, p. 29-54, 2015.

DUARTE, S.L. Estudo comparativo do impacto ambiental do jeans CO/PET convencional e de jeans reciclado, **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2013.

DURÃES, J. A. *et al.* Absorption and photoluminescence of Buriti oil/polystyrene and Buriti oil/poly (methyl methacrylate) blends. **European Polymer Journal**, v. 42, n. 12, p. 3324-3332, 2006.

EMBRAPA. Buriti (*Mauritia flexuosa* L.). Porto Velho: **EMBRAPA Roraima**, 2005.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Cadeia produtiva do algodão orgânico debate estratégias para aumentar a produção**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28873222/cadeia-produtiva-do- algodao-organico-debate-estrategias-para-aumentar-producao>> Acesso em: 10 mar. 2019.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. **In EFSA Journal**, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>>. Acesso em: 16 de fev. 2021.

FAKHOURI, F. M. *et al.* Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57–64, 2015.

FERNANDES, B.C.N., M. & PRATA, A.S. Biodegradable thermoactive packaging using phase change material particles on cellulosic materials. **Cellulose** v.28, p. 6427–6437, 2021. Acesso em: 12 de Ago. 2021. <<https://doi.org/10.1007/s10570-021-03930-7>>

FERREIRA, A. R., ALVES, V. D., & COELHO, I. M. Polysaccharide-based membranes in food packaging applications. **Membranes**, v.6(2), p.22, 2016.

FLETCHER, K.; GROSE, L. **Moda e sustentabilidade design para mudança**. Senac, EditoraSenac. São Paulo, 2011.

FOO, S. Y. *et al.* Effect of Chitosan–Beeswax Edible Coatings on the Shelf-life of Sapodilla (*Achras zapota*) Fruit. **Journal of Packaging Technology and Research**, v. 3, n. 1, p. 27-34, 2019.

FONTOURA D.; CALIL R.; CALIL E.; A importância das embalagens para alimentos - aspectos socioeconômicos e ambientais. **Atas de Saúde Ambiental** (São Paulo, online), ISSN: 2357-7614 – Vol. 4, p. 138-160, 2016.

FRANCES, M. *et al.* Effect of heat treatment on Pinus pinaster rosin: A study of physico chemical changes and influence on the quality of rosin linseed oil varnish. **Industrial Crops and Products**, v.155, p.112-789, 2020.

FRUTUOSO, E. S. Extração, refinação e estudo das propriedades termodinâmicas de cera de cana-de-açúcar. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestre em Ciências) –Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, p.65, 1989.

GAILLARD, Y. *et al.* Superplastic behavior of rosin/beeswax blends at room temperature. **Journal of applied polymer science**, v.128(5), p.2713-2719, 2013.

GAILLARD, Y. *et al.* Green material composites from renewable resources: Polymorphic transitions and phase diagram of beeswax/rosin resin. **Thermochimica acta**, 521(1-2), p.90-97, 2011.

GARCÍA-GARCÍA, I., TABOADA-RODRÍGUEZ, A., LÓPEZ-GOMEZ, A., & MARÍN-INIESTA, F. Active packaging of cardboard to extend the shelf life of tomatoes. **Food and bioprocess technology**, 6(3), p.754-761, 2013.

GENTRY HS. Á história natural da jojoba (*Simmondsia chinensis*) e seus aspectos culturais. **Botânica Econômica**. Vol.12, p. 261–295, 1958.

GEORGE A., - Phase change thermal storage materials-book of **Applied thermal design**, Filadelfia: Taylor & Francis, 1989.

GONÇALVES, M. do C. Microscopia Eletrônica de Varredura. In CANEVAROLO, S.V. **Técnicas de Caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, p.435, 2003.

GORJAN, E. S., EZAZSHAHABI, N., & MOUSAZADEGAN, F. Study on the tearing behaviour of woven shirting fabrics–the effect of yarn and fabric properties. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 2020.

GURUPATHAM, S. K., & WILES, C. Thermal Imaging Technique to Minimize the Wastage of Fruits. In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. **American Society of Mechanical Engineers**, v. 59452, p. V008T09A078, 2019.

HAINES, P. J. Thermal Methods of Analysis Principles: applications and Problems. **Blackie Academic & Professional**. Glasgow, p. 210-228, 1995.

HAN, C.; & HONG, Y.-C. Bisphenol A, Hypertension, and Cardiovascular Diseases: Epidemiological, **Laboratory and Clinical Trial Evidence**, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11906-015-0617-2>>. Acesso em 16 de fev. 2021.

HARKER, F. R., MARSH, K. B., YOUNG, H., MURRAY, S. H., GUNSON, F. A., & WALKER, S. B. Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.24(3), p. 241-250, 2002.

HELLER, M. C.; SELKE, S. E. M.; & KEOLEIAN, G. A. Mapping the Influence of Food Waste in Food Packaging Environmental Performance Assessments. **Journal of Industrial Ecology**, v.23(2), p. 480–495, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jiec.12743>>. Acesso em 16 de fev. 2021.

HESKETT, J. tradução FERNANDES, F. **Desenho Industrial**. 4a edição. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 2012.

HU, Wen; YU, Xun. Encapsulation of bio-based PCM with coaxial electrospun ultrafine fibers. **Rsc Advances**, v. 2, n. 13, p. 5580-5584, 2012.

HUTTON-PRAGER, B., ADENEKAN, K., SYPNEWSKI, M., SMITH, A., MEADOWS, M., & CALICDAN, C. Hydrophobic development and mechanical properties of cellulose substrates supercritically impregnated with food-grade waxes. **Cellulose**, v.28(3), p.1633-1646, 2021.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R.L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. **Frontiers in Microbiology**, vol. 3 (article 12), 2012.

IERNA, A., Rizzarelli, P., Malvuccio, A., & Rapisarda, M. Effect of different anti-browning agents on quality of minimally processed early potatoes packaged on a compostable film. **LWT-Food Science and Technology**, v. 85, p.434-439, 2017.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ALGODÃO. Disponível em: <<http://ampa.com.br/imamt-instituto-mato-grossense-do-algodao/>>. Acesso em: Fev. 2021.

JIA, P. *et al.* High-value utilization of forest resources: Dehydroabietic acid as a chemical platform for producing non-toxic and environment-friendly polymer materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 662-674, 2019.

JAN, I., Rab, A., & Sajid, M. (2012). Storage performance of apple cultivars harvested at different stages of maturity. **J. Anim. Plant Sci**, v. 22, p. 438-447, 2012.

JIAO, L. Z., Wu, W. B., Zheng, W. G., & Dong, D. M. The infrared thermal image-based monitoring process of peach decay under uncontrolled temperature conditions. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, 25(3 Suppl 1), p. 202-207, 2015.

- JOORE P.; BREZET, H. Um modelo de design multinível: o relacionamento mútuo entre o desenvolvimento do sistema de produtos e serviços e os processos de mudança na sociedade. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 92-105, 2015.
- JORGE, N.; GONÇALVES, L. A. G.; **Boletim SBCTA**, p.32, v.40, 1998.
- KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**. 12 ed. Oakland: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, p. 296, 1996.
- KANERVA, M. *et al.* Antibacterial polymer fibres by rosin compounding and melt-spinning. **Materials Today Communications**, p. 100527, 2019.
- KHATTAB, E. A., & AMIN, G. A. Jojoba Seed Yield Response to Water Stress under Circumstances of Sinai. **Annual Research & Review in Biology**, p. 1-11, 2018.
- KOLLEN H.; SILVA F.; GOZZO F.; SOUZA A.; SOUZA A. D. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*) by UPLC–ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, p. 467 – 473, 2013.
- KRISHNAN, K. R.*et al.* Antimicrobial and antioxidant effects of spice extrats on the shelf life extension of raw chicken meat. **International Journal Food Microbiology**, v. 171, p. 32-40, 2014.
- KUMAR A.S., SIDDHARTHA J.D.N., GOVINDA K.V., Phase Change Materials (PCM) for Thermal Control during Spacecraft Transportation, *Int. J. Mech. Indust. Eng.* 3 p.2231-6477, 2013.
- LACERDA, C. O comportamento do consumidor ecológico no mercado, artigo publicado em website portal: **administradores.com**, 2013. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/marketing/o-comportamento-do-consumidor-ecologico-no-mercado/71071/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- LACY P.; SPINDLER W.; & LONG, J. **The Circular Economy Handbook: Realizing the Circular Advantage**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1057/978-1-349-95968-6>>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- LI, N., XIONG, X. L., HA, X., & WEI, X. Y. Comparative preservation effect of water-soluble and insoluble chitosan from *Tenebrio molitor* waste. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 133, p. 165–171, 2019.
- LI, X., CHEN, G., MA, Y., FENG, L., ZHAO, H., JIANG, L., & WANG, F. Preparation of a super-hydrophobic poly (vinyl chloride) surface via solvent–nonsolvent coating. **Polymer**, v. 47(2), p. 506-509, 2006.
- LOPEZ HERNANDEZ O. E., HERCZYŃSKA L., BONET-ARACIL M., Bou-belda e., gisbert-payá j. 100% bio-based microencapsulated phase change materials as regulator of

temperature of textile fabric. **Annals of the university of oradea fascicle of textiles, leatherwork**, 2018.

LORETO, F., & BONGI, G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant physiology**, v.91(4), p.1580-1585, 1989.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v.25, n.0, p.14-26, 2012.

LLIGADAS, G. *et al.* Renewable polymeric materials from vegetable oils: A perspective. **Materials Today**, v. 16, n. 9, p. 337–343, 2013.

MACHADO, L. D. B.; MATOS, J. do R. Análise térmica diferencial e calorimetria exploratória diferencial In CANEVAROLO, S. V. **Técnicas de Caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 435p. 2003.

MAHENDRA, V. Rosin Product Review. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, p. 77-91, 2019.

MAIA, M.; NUNES, F. M. Authentication of beeswax (*Apis mellifera*) by high- temperature gas chromatography and chemometric analysis. **Food Chemistry**, London, v. 136, n. 2, p. 961-968, 2013.

MANHÃES, L.R.T. Caracterização da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*, Mart.): um potente alimento funcional. 2007. 78p. Dissertação (Mestrado). **Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MANZINI, E. Design para a inovação social e sustentabilidade: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Rio de Janeiro: **E-paper, cadernos do Grupo de Altos Estudos**; v.1, 2008.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis. Trad. Astrid de Carvalho. São Paulo: **Ed. USP**, 2002.

MARIATH, J. G. R; LIMA, M.C.C; SANTOS, L. M. P. Vitamin A activity of buriti (*Mauritia vinifera* Mart) and its effectiveness in the treatment and prevention of xerophthalmia. **The American journal of clinical nutrition**, v. 49, n. 5, p. 849-853, 1989.

MARKETS INSIDER. **Flexible Packaging Market** - Global Outlook and Forecast 2019-2024: Increasing Adoption of Flexible Packaging over Rigid Packaging. Retrieved June 13, 2020. Disponível em <<https://markets.businessinsider.com/news/stocks/flexible-packagingmarket-global-outlook-and-forecast-2019-2024-increasing-adoption-of-flexiblepackaging-over-rigid-packaging-1028517548>> Acesso em: 05 fev. 2021.

MARTIRANI, L. *et al.* Sociedade de Consumo e Ambiente: Valores Sociais, Necessidades Psicológicas e Nova Educação. **III Encontro da ANPPAS**, Brasília, DF. Mai. 2006.

- MAZZON, G., CONTARDI, M., QUILEZ-MOLINA, A., ZAHID, M., ZENDRI, E., ATHANASSIOU, A., & BAYER, I. S. Antioxidant and hydrophobic Cotton fabric resisting accelerated ageing. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 613, p. 126061, 2021.
- MAZZOLENI, E.; NOGUEIRA, J. Agricultura orgânica: características básicas do seu produtor. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 2, p. 263-293, 2006.
- MCKELVIE L, BILLS J, PEAT A. Jojoba, Blue Mallee and Broombush: Market Assessment and Outlook. **ABARE Research Report**. Australia, Canberra. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE), 1994.
- MESTRINER, F. A Embalagem hoje e seus novos desafios. **Design Brasil**, 2015. <<https://www.designbrasil.org.br/entre-aspas/a-embalagem-hoje-e-seus-novos-desafios/>>. Acesso em jun 2019).
- MESTRINER, F. **Design de Embalagem**. Curso avançado. 11 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- MIAO, S. *et al.* Vegetable-oil-based polymers as future polymeric biomaterials. **Acta Biomaterials**, v. 10, n. 4, p. 1692–1704, 2014.
- MICHEL, A. T., & BILLINGTON, S. L. Characterization of poly-hydroxybutyrate films and hemp fiber reinforced composites exposed to accelerated weathering. **Polymer degradation and stability**, v. 97(6), p. 870-878, 2012.
- MIRANDA, IP de A. **Guia de identificação das palmeiras de Porto Trombetas/PA**. Universidade Federal do Amazonas: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2008.
- MOGHTADAEI, M., Soltanizadeh, N., & Goli, S. A. H. Production of sesame oil oleogels based on beeswax and application as partial substitutes of animal fat in beef burger. **Food Research International**, v.108, p. 368-377, 2018.
- MORALES, I., ALVARO, J. E., & URRESTARAZU, M. Contribution of thermal imaging to fertigation in soilless culture. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.116(2), p.1033-1039, 2014.
- MORAIS, S. M.; EVELINE, S. B.; CAVALCANTI, S. M. O.; COSTA, L. A. A. Ação antioxidante de chás e condimentos de grande consumo no Brasil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 315-320, 2009.
- MOURA R.A; BANZATO J.M. Manual de Movimentação de Materiais: Embalagem, São Paulo: **IMAM**, 1990.
- MOUSAZADEGAN, F., EZAZSHAHABI, N. Investigation of the Tearing Performance of Fabrics with Various Constructions, Woven from Different Yarn Spinning Systems. **Journal of Textiles and Polymers**, v.5 (2), p. 76-82, 2017.

MURAD E.; AMARAL F.; NEMÉZIO; BOFF E. **Comunicação organizacional verde**. Rio de Janeiro: Editório, 2013.

NAGY, A. Thermographic evaluation of water stress in an apple orchard. **Trees**, v. 2, 2015.

NAIME, R. Gestão de resíduos sólidos. Novo Hamburgo: **Feevale**, 2005.

NAIME, R.; GARCIA, A. C. de A. Percepção ambiental e diretrizes para compreender a questão do meio ambiente. Novo Hamburgo: **Feevale**, 2004.

NAVARRO-TARAZAGA, M. L.; MASSA, A.; PÉREZ-GAGO, M. B. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, Artigo in Press, 2011. doi: 10.1016/j.lwt.2011.03.011.

NGUYEN H. *et al.* Photoprotection for deltamethrin using chitosan-coated beeswax solid lipid nanoparticles. **Pest management science**, v. 68, n. 7, p. 1062-1068, 2012.

NIELSEN, T. D.; HASSELBALCH, J.; HOLMBERG, K.; & STRIPPLE, J. Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/wene.360>>. Acesso em: 22 de fev. 2021.

OLARTE, C., SANZ, S., ECHÁVARRI, J. F., & AYALA, F. Effect of plastic permeability and exposure to light during storage on the quality of minimally processed broccoli and cauliflower. **LWT-Food Science and Technology**, v.42, p. 402-411, 2009.

ORGANIC TRADE ASSOCIATION. **Organic Cotton Facts**. 2013 and Preliminary 2014 U.S. Organic Cotton Production & Marketing Trends, Produced for Cotton Incorporated. 2015. Disponível em: <https://ota.com/sites/default/files/indexed_files/OrganicCottonFacts2015_0.pdf> Acesso em: 10 mar. 2019.

PAUER, E., WOHNER, B., HEINRICH, V., & TACKER, M. Assessing the environmental sustainability of food packaging: An extended life cycle assessment including packaging-related food losses and waste and circularity assessment. **Sustainability**, v.11, p.925, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su11030925>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

PAZMINO, A. Uma reflexão sobre design social, eco design e design sustentável. **Simpósio Brasileiro de Design Sustentável**, v.1, p. 1-4, 2007.

PEDROSA F. Atividade antimicrobiana de plantas medicinais e aromáticas pertencentes à CPMA - **Coleção de Plantas Mediciniais e Aromáticas do CPQBA - UNICAMP**. Instituto de Biociências de Botucatu, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120462>>. Acesso em mar. 2019.

PEREIRA A.A. Efeito inibitório de óleos essenciais sobre o crescimento de bactérias e fungos **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, p.58, 2006.

PÉREZ-GAGO, M. B.; ROJAS, C.; DEL RIO, M. A. Effect of Lipid Type and Amount of Edible Hydroxypropyl Methylcellulose-lipid Composite Coatings Used to Protect Postharvest Quality of Mandarins cv. Fortune. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 8, p. 2903-2910, out. 2002.

PERINI V.B.M; CASTRO H.G; SANTOS G.R; CHAGAS JÚNIOR A.F; CARDOSO D.P; AGUIAR R.W.S *et al.* Effect of vegetal extract in the inhibition of mycelial growth of mycelial growth of *Pyriculariagrisea*. **Journal of Biotechnology and biodiversity**, v.4, n.1, p.70-77, 2013.

PERRON N. R.; BRUMAGHIM J.L.; A Review of the Antioxidant Mechanisms of Polyphenol Compounds Related to Iron Binding, **Humana Press**, p.75-100, 2009.

PIETTA P. G. Flavonoids as Antioxidants, **Journal of Natural Products**, Vol. 63, No. 7, p.1035 – 1042, 2000.

PINHEIRO G.M.; SOUSA, B.C.R.; BASÍLIO C.D.P.C.; DA SILVA C.A.; & DE OLIVEIRA G.N. Melhoria da resistência ao rasgo de tecido plano através do planejamento de experimentos. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v.4(1), p.346-354, 2013.

PINTO, C. T., PANKOWSKI, J. A., & NANO, F. E. The anti-microbial effect of food wrap containing beeswax products. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, p.145-148, 2021.

POVOS INDÍGENAS NO BRASIL-2001/2005, 2006 – **Instituto Socioambiental**, São Paulo. Disponível em: <<http://pib.socioambiental.org/pt/povo>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

PRIOR RL, WU X, SCHAICH K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **J Agric Food Chem**. p.53. 2005. doi: 10.1021/jf05 02698.

QUEIROZ, J. R. C., MAROCHO, S. S., BENETTI, P., TANGO, R. N., & JUNIOR, L. N. Métodos de caracterização de materiais para pesquisa em odontologia. **Revista da Faculdade de Odontologia-UPF**, v.17(1), 2012.

RAFECAS, M.; GUARDIOLA, F.; ILLERA, M.; CODONY, R.; BOATELLA, J.; J. CHROMATOGR. p. 822, 305, 1998.

REICHERT, C. L., BUGNICOURT, E., COLTELLI, M. B., CINELLI, P., LAZZERI, A., CANESI, I., ... & SCHMID, M. Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. **Polymers**, v.12, p.1558, 2020.

REIS, A. F; SCHMIELE, M. Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

RESTREPO-FLÓREZ, J.; BASSI, A; THOMPSON, M. R. Microbial degradation and deterioration of polyethylene—A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 88, p. 83-90, 2014.

RIBEIRO, B. Di. **Aplicação de Tecnologia Enzimática na Obtenção de β -Caroteno a partir de Óleo de Buriti**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Corpo Docente do Curso De Pós-Graduação em Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos Da Escola, Rio de Janeiro, 2008.

RIBEIRO, C., *et al.* Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 63-70, abr. 2007.

RYN, S.; COWAN, S. **Ecological Design: Tenth Anniversary Edition**. Island Press. Washington, DC, 2007.

SÁNCHEZ, M.; AVHAD, M.; MARCHETTI, J.; MARTÍNEZ, M.; ARACIL, J. Jojoba oil. **Energy Conversion and Management**, Elsevier, p 293–304, 2016.

SÁNCHEZ-GONZALEZ, L., *et al.* Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 57-63, abr. 2011.

SARAIVA, N. A. Manejo sustentável e potencial econômico da extração do buriti nos lençóis maranhenses. 2009. 129 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - **Universidade de Brasília**, Brasília, 2009.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L; FERNANDES, T. – Embalagens Ativas – Uma Nova Geração de Embalagens para Frutas e Hortaliças - CETEA – **Boletim Técnico de centro de tecnologia de Embalagem**. v. 13, n. 3, 2001.

SHARMA R. K.; GANESAN P.; TYAGI V.; METSELAAR H.S.C; SANDARAN S.C. Developments in organic solid–liquid phase change materials and their applications in thermal energy storage. **Energy Conversion and Management**, v. 95 p.193–228, 2015.

SHARMA, S. D., & SAGARA, K. Latent heat storage materials and systems: a review. **International Journal of Green Energy**, v.2, p. 1-56, 2005.

SILVA, *et al.* Avaliação das potencialidades dos extratos vegetais de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) para uso em embalagens ativas antimicrobianas e antioxidantes. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2021.

SILVA, M. *et al.* Active packaging material based on buriti oil–*Mauritia flexuosa* Lf (*Arecaceae*) incorporated into chitosan films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 12, 2016.

SILVA, W.A.; PEREIRA, J.; CARVALHO, C.W.P.; FERRUA, F.Q. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de filmes de diferentes fontes de amido. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, n. 1, p. 154-163, 2007.

SILVA, J.R.A. Óleo-resinas de Dez Espécies do Gênero Protium. MSc Thesis, **Universidade do Amazonas**, Manaus, Brasil, p.120, 1995.

SINGH, S., GAIKWAD, K. K., & LEE, Y. S. Phase change materials for advanced cooling packaging. **Environmental Chemistry Letters**, v.16, p. 845-859, 2018.

ŠIRVAITIENE, A. *et al.* Influence of natural fibre treatment on interfacial adhesion in biocomposites. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, 2013.

SLATER, K. Environmental impact of textiles: production, processes and protection. Flórida: **Woodhead Publishing Ltd.**, 2003.

SOLÍS-CONTRERAS, G. A., RODRÍGUEZ-GUILLERMO, M. C., REYES-VEGA, M. D. L. L., AGUILAR, C. N., REBOLLOSO-PADILLA, O. N., CORONA-FLORES, J., ... & RUELAS-CHACON, X. Extending Shelf-Life and Quality of Minimally Processed Golden Delicious Apples with Three Bioactive Coatings Combined with Cinnamon Essential Oil. **Foods**, v.10, p.597, 2021.

SOUSA, D; *et al.* Rosin Based Composites for Additive Manufacturing. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, p. 70-76, 2019.

SU, N., FANG, C., ZHOU, H., TANG, T., ZHANG, S., & FEI, B. Hydrophobic treatment of bamboo with rosin. **Construction and Building Materials**, v.271, p.121507, 2021.

SULEMAN M.; AZMATULLAH K.; ABDUL B.; MUHAMMAD S.; SAMIULLAH; MUHAMMAD A. Antioxidants, its role in preventing free radicals and infectious diseases in human body, **Pure and Applied Biology**, v.8, 2019.

SUNG, S. Y., SIN, L. T., TEE, T. T., BEE, S. T., & RAHMAT, A. R. Effects of Allium sativum essence oil as antimicrobial agent for food packaging plastic film. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.26, p.406-414, 2014.

SUPPAKUL, Panuwat *et al.* Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 11, p. 3197-3207, 2003.

SUZUKI, A. H., OLIVEIRA, L. S., FANTE, C. A., & FRANCA, A. S. Use of Safe Substances as Additives for PVC Films and Their Effect on Enzymatic Browning of Gala Apples. **Food and Bioprocess Technology**, v.13, p.1380-1391, 2020.

SZULC, J., MACHNOWSKI, W., KOWALSKA, S., JACHOWICZ, A., RUMAN, T., STEGLIŃSKA, A., & GUTAROWSKA, B. Beeswax-Modified Textiles: Method of Preparation and Assessment of Antimicrobial Properties. **Polymers**, v.12, p.344, 2020.

- TADA A.; SUGIMOTO N.; SATO K.; ZMAYAKI T.; TANAMOTO K. Analysis of the constituents in jojoba wax used as a food additive by LC/MS/MS. **J Food Hygienic Society of Japan**, 2005.
- TAVARES, M. *et al.* Composição química e estudo anatômico dos frutos de buriti do Município de Buritizal, Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 62, n. 3, p. 227-232, 2003.
- TAUTZ, J. O fenômeno das abelhas. Porto Alegre: **Artmed**, p.288, 2010.
- TORALES L.; GARCÍA-ALONSO J.; PERIAGO-CASTÓN M.J. Nutritional Importance of Carotenoids and Their Effect on Liver Health: A Review, **Journal Antioxidants**, 2019.
- TRIKI, E., DOLEZ, P., & VU-KHANH, T. Tear resistance of woven textiles—criterion and mechanisms. **Composites Part B: Engineering**, v.42, p.1851-1859, 2011.
- TSE L. A.; HO W. M.; WANG, F.; HE, Y. H.; & NG, C. F. **Environmental risk factors of prostate cancer: a case-control study**. v.24(4), 2018.
- TULLOCH, Alexander Patrick. Beeswax-composition and analysis. **Bee World**, v. 61, n. 2, p. 47-62, 1980.
- ULMAN, A. An Introduction to Ultrathin Organic Films from Langmuir-Blodgett to Self-Assembly. **Corporate Research Laboratories**, Rochester, New York, p. 48-58, 2013.
- UMAR, H., RIZAL, S., RIZA, M., & MAHLIA, T. M. I. Mechanical properties of concrete containing beeswax/dammar gum as phase change material for thermal energy storage. **AIMS Energy**, 2018.
- USAMENTIAGA, R., VENEGAS, P., GUEREDIAGA, J., VEGA, L., MOLLEDA, J., & BULNES, F. G. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors**, v.14, p.12305-12348, 2014.
- VALENCIA-CHAMORRO, S. A., *et al.* Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible coatings on penicillium decay development and postharvest quality of old-stored ‘Ortanique’ mandarins. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 75, n. 8, p. S418-S426, out. 2010.
- VARGAS, M., *et al.* Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v. 48, n. 6, p. 496-511, jun. 2008.
- VERAVERBEKE, E. A., VERBOVEN, P., LAMMERTYN, J., CRONJE, P., DE BAERDEMAEKER, J., & NICOLAÏ, B. Thermographic surface quality evaluation of apple. In 2003 ASAE Annual Meeting. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, p.1, 2003.

VOLLET-NETO, Ayrton *et al.* Dietas protéicas para abelhas sem ferrão. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso, Ribeirão Preto. **Genética e biologia evolutiva de abelhas: anais**. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2010. p. 121-129, 2010.

VEZZOLI, C. Design de sistema para sustentabilidade: teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de “sistema de satisfação”. Salvador: **EDUFBA**, 2010.

WENDLANDT, W.W. **Thermal Analysis**. 3rd. Ed. Wiley. New York, p. 210-228, 1986.

WIESE, H. Apicultura: novos tempos. Porto Alegre: **Agrolivros**, 2005.

WIKSTRÖM, F.; VERGHESE, K.; AURAS, R.; OLSSON, A.; WILLIAMS, H.; WEVER R.; SOUKKA, R. Packaging Strategies That Save Food: A Research Agenda for 2030. **Journal of Industrial Ecology**, v.23, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jiec.12769>>. Acesso em: 15 de jan. 2021.

WINKLER-MOSER, J. K., ANDERSON, J., FELKER, F. C., & HWANG, H. S. Physical properties of beeswax, sunflower wax, and candelilla wax mixtures and oleogels. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.96, p. 1125-1142, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Microplastics in drinking-water. **Geneva**, 2019.

YAM, Kit L.; TAKHISTOV, Paul T.; MILTZ, Joseph. Intelligent packaging: concepts and applications. **Journal of food science**, v. 70, n. 1, p. R1-R10, 2005.

YANG L, TAKASE M, ZHANG M, ZHAO T, WU X. Potential non-edible oil feedstock for biodiesel production in Africa: a survey. **Renew Sustain Energy**, v.38, p. 461-77, 2014.

YORK, D. W., COLLINS, S., & RANTAPE, M. Measuring the permeability of thin solid layers of natural waxes. **Journal of colloid and interface science**, v. 551, p. 270-282, 2019.

YUAN, H. K.V. A Novel Encapsulation Method for Phase Change Materials with a AgBr Shell as a Thermal Energy Storage Material. **Energies**, v. 12, n. 4, p. 717, 2019.

Yuan, Z., Chen, H., & Zhang, J. Facile method to prepare lotus-leaf-like super-hydrophobic poly (vinyl chloride) film. **Applied Surface Science**, v.254(6), p.1593-1598, 2008.

ZANATTA C.F.; MITJANS M.; URGATONDO V.; ROCHA-FILHOP.A.; VINARDELL M.P. Photo protective potential of emulsions formulated with Buriti oil (*Mauritia flexuosa*) against UV irradiation on keratino cytes and fibroblasts cell lines. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, p. 70 -75, 2010.

ZHANG, Y. *et al.* Functional food packaging for reducing residual liquid food: Thermo-resistant edible super-hydrophobic coating from coffee and beeswax. **Journal of colloid and interface science**, v. 533, p. 742-749, 2019.

ZOGHBI, M.G.B; MAIA, J.G.S; LUZ, A. I.R. Volatile constituents from leaves and stems of *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. **Journal of Essential Oil Research**, v. 7, n. 5, p. 541-543, 1995.

Anexo 1: Submissão ao Prêmio Péter Murányi 2020 – Alimentação

Carta de Indicação

Prezado Sr. Secretário Executivo da Fundação Péter Murányi, vimos através desta, realizar a indicação ao Prêmio Péter Murányi 2020 – Alimentação, conforme informações abaixo. Declaramos estar ciente de que o trabalho será avaliado por diferentes pessoas e que informações eventualmente confidenciais se tornarão conhecidas. Autorizamos ainda, após a divulgação dos resultados e por prazo indeterminado, a divulgação do trabalho, autores e instituições envolvidas no processo de indicação, como participantes do prêmio, em qualquer meio de comunicação, nacional ou internacional.

DADOS DO COLÉGIO INDICADOR (Instituição)

(para avançar para o próximo campo use a tecla Tab)

| | | |
|--|--|-----------|
| Instituição membro do Colégio Indicador (Responsável pela indicação) | | |
| Universidade do Estado de Minas Gerais | | |
| No caso de Instituição Brasileira CNPJ | No caso de Instituição Estrangeira identificar um documento Nº Tipo | |
| 65.172.579/0001-15 | | |
| Site www.uemg.br | | |
| Dirigente Máximo Responsável (Incluindo titularidade) | Validade do mandato | |
| Profa. Lavinia Rosa Rodrigues | 2022 | |
| Cargo Reitora | | |
| Endereço Institucional | Bairro | CEP |
| Rod. Papa João Paulo II, 4143, Ed. Minas, 8º andar | Serra Verde | 31630-900 |
| Cidade | Estado | País |
| Belo Horizonte | Minas Gerais | Brasil |
| E-mail | Tel com DDD | |
| gabinete@uemg.br | (31) 3916-8759 | |

INFORMAÇÕES DO TRABALHO INDICADO

| |
|---|
| Título do Trabalho |
| O Uso da Embalagem Ativa como Alternativa Tecnológica para Prolongar a Qualidade e Segurança dos Alimentos |
| Autor / Representante da Equipe |
| Danielle Kenya Fraga |
| Apresente brevemente a justificativa de indicação do trabalho |
| O trabalho apresenta relevância e adequação ao objeto e linha temática do Prêmio. Os resultados obtidos apontam para a competência de sua autora, orientanda da professora Dra. Eliane Ayres, uma pesquisadora que se destaca pelos seus vários trabalhos de investigação científica na Universidade do Estado de Minas Gerais. |



Lavinia Rosa Rodrigues
Belo Horizonte 29 de agosto de 2019


Prof.ª Lavinia Rosa Rodrigues
Belo Horizonte
UEMG - Minas 37162-0

Anexo 2: Resumo expandido aprovado para apresentação sob forma de pôster no Congresso Brasileiro de Polímeros – XVI CBPOL (2021)



DOES BEESWAX-BASED COATING ON CELLULOSIC SUBSTRATE ENABLE TO REPLACE POLYVINYL CHLORIDE PLASTIC FILMS (PVC)?

Danielle K. Fraga¹, Caroline S. Pagnan¹, Rosemary B. C. Sales¹ and Eliane Ayres^{1*}

1 – Post Graduation Program in Design (PPGD), State University of Minas Gerais (UEMG), Belo Horizonte, MG, Brazil

eliane.ayres.pu@gmail.com

Abstract - Recently, there is a demand for minimally processed fruit and vegetable-based products. The aim of the present work is to evaluate coated cotton fabric, as an eco-friendly alternative to PVC films in preservation of fresh-cut apples. The coating composition is made from beeswax, rosin and vegetable oil, either Jojoba oil (*Simmondsia chinensis*) or Buriti oil (*Mauritia flexuosa*). The weight loss is a significant factor that causes wrinkling and softening of fruits, affecting the quality and marketability. The weight loss of fresh-cut apple slices wrap in PVC film or coated fabric was compared. The weight loss is strictly related to water loss resulted from transpiration phenomenon. The beeswax coating is an attempt to improve this issue in cellulosic substrates, at the same time that it can impart attractive functionalities. Infrared thermography confirmed the increasing in fruit shelf life by using coated fabric compared with PVC film.

Keywords: *Cellulose, Cotton fabric, Beeswax, Food packaging, PVC film.*