



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS

PÂMELA BARCELAR FERREIRA GOMES DA SILVA DE LUNA

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO NAS PROPRIEDADES DO
POLI (BUTILENO ADIPATO CO – TEREFTALATO)**

Recife
2021

PÂMELA BARCELAR FERREIRA GOMES DA SILVA DE LUNA

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO NAS PROPRIEDADES DO POLI
(BUTILENO ADIPATO CO – TEREFTALATO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais. Área de Concentração: Materiais não metálicos.

Orientadora: Profa. Dra. Glória Maria Vinhas

Coorientadora: Profa. Dra. Yêda Medeiros Bastos de Almeida

Coorientadora: Profa. Dra. Viviane Fonseca Caetano

Recife
2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Monick Raquel Silvestre da S. Portes, CRB4-1217

L961e Luna, Pâmela Barcelar Ferreira Gomes da Silva de
Efeito do óleo essencial de tomilho nas propriedades do poli (butileno adipato co-tereftalato) / Pâmela Barcelar Ferreira Gomes da Silva de Luna. – 2021.
78 f.: il., fig., tab.

Orientadora: Glória Maria Vinhas.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCEN, Ciência de Materiais, Recife, 2021.

Inclui referências e apêndice.

1. Materiais não metálicos. 2. Tomilho - óleo essencial. I. Vinhas, Glória Maria (orientadora). II. Título.

620.19 CDD (23. ed.) UFPE - CCEN 2022-30

PÂMELA BARCELAR FERREIRA GOMES DA SILVA DE LUNA

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO NAS PROPRIEDADES DO POLI
(BUTILENO ADIPATO CO – TEREFTALATO)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais.

Data de aprovação: 16/11/2021

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Glória Maria Vinhas
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
(Orientadora)

Prof. Dr. Ivo Diego de Lima Silva
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
(Examinador externo)

Prof. Dr. Eduardo Padrón Hernández
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
(Examinador interno)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e saúde, por dar forças diariamente para seguir em frente diante de todas as dificuldades e me permitir concluir essa pesquisa; apenas gratidão.

Aos meus pais, Edna e José Raimundo e aos meus irmãos Selmo e Jenny que sempre confiaram em mim me incentivaram em tudo e estiveram presentes em todas as etapas de minha vida, mesmo com a distância física.

Ao meu filho Luís Fernando, que mesmo pequeno, me motivou e me ensinou muito, me fortalecendo a prosseguir com projetos pessoais e suportar minha ausência quando precisei estar engajada na pesquisa.

Ao meu companheiro Diego pelo estímulo e acreditar junto comigo nessa etapa importante de minha vida.

As minhas orientadoras, Profa. Dra. Glória e Prof. Dra Yeda por me aceitar como orientada mesmo com todas minhas restrições de horários, e sempre muito receptivas mesmo quando eu estava atrasada com prazos, e por confiar em mim, e antes de tudo pela amizade e sua preocupação. A Profa. Dra. Viviane por me auxiliar nas correções e orientações finais para que eu pudesse finalmente defender minha dissertação

Aos meus amigos da UFPE: Joanna, Alisson, por não me deixarem desistir do Mestrado, pelo companheirismo e ajuda, com certeza não teria conseguido sem vocês. Aos amigos do LPQ: Michelle, Ivo, Paulo, Pedro, Ingrid, Tiago que me ajudaram muito na pesquisa, sem os quais não teria conseguido.

Aos meus amigos e colegas do trabalho, como Lisca, Diego, Bruna, Joane, Rafael, Marcos, que me incentivaram e que a todos que me ajudaram trocando os serviços para que eu pudesse ir as aulas ou dar prosseguimento a pesquisa. A Fernando, que sempre me encorajou e com certeza estaria muito feliz pela conclusão de algo que sempre sonhei.

Amizades essenciais na minha vida como por exemplo Diana, Lívia, Fernanda, agradeço a paciência e por me “aguentar” em momentos de necessidade, sei que sempre posso contar com vocês.

Aos laboratórios que realizam as análises de FTIR (GIAQ da UFRPE- Unidade Acadêmica de Serra Talhada), TGA (Laboratório de nanoestruturas e polímeros do DEN- UFPE), GC-MS (Central Analítica do DQF - UFPE) e os técnicos e funcionários do DEQ pelo auxílio.

A todos que colaboraram com esta pesquisa, MUITO OBRIGADA.

RESUMO

Novos materiais veem sendo desenvolvidos visando reduzir a utilização de embalagens plásticas degradáveis de curto prazo e assim diminuir a contaminação ambiental, como exemplo desses materiais tem-se os polímeros biodegradáveis. O poli(butileno adipato co-tereftalato) ou PBAT é um polímero biodegradável e pode ser utilizado para fabricação de embalagens ativas onde são incorporados aditivos que proporcionam propriedades diferenciadas a esses materiais. Um aditivo promissor é o óleo essencial de tomilho, que agrega propriedades desejáveis por apresentar propriedades antimicrobianas além de eliminar o uso de conservantes químicos. Neste trabalho foram produzidos filmes de PBAT incorporados com óleo de tomilho em várias composições (1, 2, 5, 10, 15 e 20 % m/m) e foi avaliada a influência desse óleo nas propriedades do PBAT. Os filmes foram caracterizados através de suas características macroscópicas, propriedades mecânicas e térmicas, infravermelho médio e atividade antimicrobiana. Os resultados mostraram que o óleo de tomilho apresentou as concentrações de 52,16 % de o-cimeno, 28,21% de timol e 13,26% de carvacrol. Os filmes apresentaram bandas características tanto do PBAT quanto do óleo, porém nos filmes aditivados foi necessário realizar a Análise de Componentes principais dos espectros de FTIR para evidenciar a incorporação do óleo na matriz polimérica, a qual resultou em seis grupamentos distintos. O óleo apresentou atividade antimicrobiana frente *E. coli* e *S. aureus*. Com relação às propriedades mecânicas, houve redução da tensão máxima na maioria das amostras aditivadas com óleo, mais pronunciada nas amostras com 15% de óleo. Quanto ao módulo de elasticidade, as amostras com 20% de óleo se apresentaram menos rígido ou mais flexível que os demais. Nas propriedades térmicas (temperatura, entalpia e grau de cristalização e temperatura de fusão) mantiveram praticamente constantes com a adição do óleo. Como resultado da análise termogravimétrica, os filmes aditivados apresentaram o mesmo padrão de degradação dos filmes de PBAT puro. Com estes resultados, os filmes de PBAT incorporados com óleo essencial de tomilho mostraram-se promissores para o emprego como embalagem de alimento perecível, contribuindo também para a redução de plástico convencional.

Palavras-chave: PBAT; óleo essencial de tomilho; embalagem ativa.

ABSTRACT

New materials have been developed in order to reduce the use of biodegradable plastic packaging in the short term and thus reduce environmental contamination, as an example of these materials there are biodegradable polymers. Poly(butylene adipate co-terephthalate) or PBAT is a biodegradable polymer and can be used to manufacture active packaging where additives are incorporated that provide differentiated properties to these materials. A promising additive is the thyme essential oil, which adds desirable properties as it presents antimicrobial properties in addition to eliminating the use of chemical preservatives. In this work, films of PBAT incorporated with thyme oil were produced in various compositions (1, 2, 5, 10, 15 and 20% m/m) and the influence of this oil on the properties of PBAT was evaluated. The films were characterized by their macroscopic characteristics, mechanical and thermal properties, mid-infrared and antimicrobial activity. The results showed that the thyme oil presented concentrations of 52.16% of o-cymene, 28.21% of thymol and 13.26% of carvacrol. The films showed characteristic bands of both PBAT and oil, but in the additive films it was necessary to carry out the Analysis of Main Components of the FTIR spectra to evidence the incorporation of oil into the polymer matrix, which resulted in six distinct groups. The oil showed antimicrobial activity against *E. coli* and *S. aureus*. Regarding mechanical properties, there was a reduction in the maximum stress in most samples with oil additives, more pronounced in samples with 15% oil. As for the modulus of elasticity, the samples with 20% oil were less rigid or more flexible than the others. The thermal properties (temperature, enthalpy and degree of crystallization and melting temperature) remained practically constant with the addition of oil. As a result of the thermogravimetric analysis, the additive films showed the same degradation pattern as the pure PBAT films. With these results, PBAT films incorporated with thyme essential oil showed to be promising for use as perishable food packaging, also contributing to the reduction of conventional plastic.

Keywords: PBAT; thyme essential oil; active packaging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Ilustração da estrutura molecular do PBAT	21
Figura 2-	Decomposição do filme de PBAT em compostagem no a) início do ensaio; b) durante o ensaio e c) em 30 dias	24
Figura 3-	Proposta do mecanismo de degradação por etapas do PBAT	24
Figura 4-	Estruturas químicas do a) carvacrol e b) timol e c) o-cimeno, componentes majoritário encontrados no óleo utilizado	28
Figura 5-	Sistema de embalagem antimicrobiana.....	32
Figura 6-	Teste de inibição microbiana do óleo essencial de tomilho para <i>Escherichia coli</i> em a) e b) e para <i>Staphylococcus aureus</i> (c, d).....	41
Figura 7-	Espectro de infravermelho do óleo essencial de tomilho.	43
Figura 8-	Espectro de infravermelho para filmes de PBAT puro e PBAT aditivados com óleo de tomilho	44
Figura 9-	Gráfico de scores PC1xPC2 dos filmes de PBAT puro e aditivado com 1, 2, 5, 10, 15 e 20% m/m com óleo essencial de tomilho	45
Figura 10-	Gráfico dos loadings da PC1	46
Figura 11-	Gráfico dos loadings da PC2	46
Figura 12-	Curvas de DSC para os filmes de PBAT puro e PBAT aditivados	49
Figura 13-	Curvas de TGA para os filmes de PBAT puro (P) e ativados com óleo essencial de tomilho com 1, 2, 5, 10, 15, 20 % m/m de óleo de tomilho respectivamente).....	55
Figura 14-	Derivada das curvas de TGA para os filmes de PBAT puro (P) e ativados com óleo essencial de tomilho com 1, 2, 5, 10, 15, 20 % de óleo de tomilho respectivamente.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Propriedades do PBAT	22
Tabela 2-	Eficácia antimicrobiana de algumas especiarias	27
Tabela 3-	Composição dos filmes preparados	34
Tabela 4-	Componentes majoritários presentes no óleo essencial de tomilho	39
Tabela 5-	Valores médios obtidos para as propriedades mecânicas	47
Tabela 6-	Parâmetros do DSC dos filmes de PBAT puro e PBAT/OT	51
Tabela 7-	Parâmetros da TGA dos filmes	55

LISTA DE SÍMBOLOS

X_c	Grau de cristalinidade a frio
ΔH_f	Entalpia de fusão
T_c	Temperatura de cristalização
T_m	Temperatura de fusão
ΔH_c	Calor latente de cristalização

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
BA	Butileno tereftalato
BT	Butileno adipato
DEN	Departamento de Energia Nuclear
DEQ	Departamento de Engenharia Química
DQF	Departamento de Química Fundamental
DSC	Calorimetria Diferencial Exploratória
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>E. aerogenes</i>	<i>Enterobacter aerogenes</i>
FTIR	Espectroscopia no infravermelho com Transformada de Fourier
GC-MS	Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas
GRAS	Geralmente reconhecido como seguro
LMPC	Laboratório de Materiais Poliméricos e Caracterização
PBAT	Poli butileno adipato co tereftalado
PBS	Poli(butileno succinato)
PBSA	Poli(butileno succinato adipato)
PCA	Análise dos componentes principais
PCL	Policaprolactona
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Poli(tereftalato) de etileno
PHA	Polihidroxialcanoato
PLA	Poliácido láctico
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Polivinilcloro
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
TGA	Análise Termogravimétrica
T _c	Temperatura de cristalização
T _g	Temperatura de transição vítrea

UFC Unidade formadora de colônia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	VISÃO GERAL SOBRE O USO DE PLÁSTICOS	17
2.2	POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS	18
2.3	POLI (BUTILENO ADIPATO-CO-TEREFTALATO) – PBAT	21
2.4	ÓLEOS ESSENCIAIS.....	25
2.4.1	Óleo essencial de tomilho.....	28
2.5	EMBALAGEM ATIVA	30
2.5.1	Embalagem ativa antimicrobiana	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	MATERIAIS	34
3.2	PREPARAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS	34
3.2.1	Filme de PBAT puro	35
3.2.2	Filme de PBAT adicionado de óleo essencial de tomilho.....	35
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO POR CROMATOGRAFIA GASOSA DE MASSAS	35
3.4	ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO	36
3.5	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	36
3.5.1	Análise de componentes principais	36
3.6	ENSAIOS MECÂNICOS	37
3.7	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL	37
3.8	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	FILMES DE PBAT PURO E ADITIVADOS PRODUZIDOS.....	39
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO POR CROMATOGRAFIA GASOSA DE MASSAS	39
4.3	ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO	40
4.4	ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	42
4.4.1	Óleo essencial de tomilho.....	42

4.4.2	Filmes de PBAT puro e aditivados.....	43
4.4.2.1	<i>Análise de Principais Componentes (ACP)</i>	45
4.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS	47
4.6	PROPRIEDADES TÉRMICAS.....	49
4.6.1	Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC).....	49
4.6.2	Análise Termogravimétrica (TGA)	51
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A- FICHA TÉCNICA DO PBAT	67

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a utilização de polímeros pelo setor industrial e pela sociedade aumentou consideravelmente (ARDUSSO *et al.*, 2021). Isso pode ser atribuído às características combinadas desses materiais, como leveza, flexibilidade, facilidade de produção e baixo custo, o que lhe proporcionam diversas aplicações (SKARIYACHAN *et al.*, 2018).

No entanto, o grande consumo de polímeros fez com que crescesse também o acúmulo desse material em solos, aterros e em ambientes marinhos gerando um problema ambiental, pois esses materiais degradam-se muito lentamente quando descartados no meio ambiente (BONILLA *et al.*, 2020)(WILKES; ARISTILDE, 2017). Uma alternativa de redução ou substituição desses polímeros em algumas aplicações de curto prazo, como embalagens alimentícias, seria através do uso de polímeros biodegradáveis.

Os polímeros biodegradáveis possuem degradação mais rápida quando se compara com polímeros não degradáveis, pois quando dispostos em ambientes bioativos desintegram-se pelo processo de catálise enzimática induzidos por microrganismos, como fungos ou bactérias (ZHONG *et al.*, 2020).

Dentre os polímeros biodegradáveis, tem-se o Poli (butileno adipato co-tereftalato) ou PBAT que é um co-poliéster alifático-aromático e é uma opção muito pesquisada e empregada para embalagem ativa biodegradável. Esse polímero é de origem petroquímica com propriedades mecânicas comparáveis ao polietileno de baixa densidade (PEBD), além de propriedades térmicas adequadas para embalagens (GUO *et al.*, 2015), o que o torna um material muito promissor para uma ampla gama de aplicações, por ter biocompatibilidade, boa processabilidade e flexibilidade (ANDRADE *et al.*, 2020; ZUO *et al.*, 2019). A sua biodegradabilidade é atribuída à unidade alifática da sua estrutura química, enquanto que suas excelentes propriedades mecânicas estão relacionadas à unidade aromática presente na cadeia da molécula (JIAN; XIANGBIN; XIANBO, 2020).

Devido à sua facilidade de processamento, podem ser incorporados aditivos ao PBAT visando modificar suas propriedades. Dentre os aditivos utilizados, pode-se citar os óleos essenciais que são substâncias naturais e quando incorporadas aos polímeros

podem lhe atribuir várias propriedades, como por exemplo, antioxidante ou antimicrobiana. Essas alterações na matriz polimérica são muito importantes em embalagens alimentícias, pois visam prolongar o tempo de prateleira dos alimentos e assegurar a qualidade desses produtos.

O desenvolvimento de embalagens ativas para o setor alimentício é uma abordagem essencial pois reduz a proliferação de microrganismos e oxidação de alimentos, evitando o desperdício. Estas embalagens possuem diferentes modos de ação, sendo um de contato direto de seus agentes ativos com os alimentos e o outro um sistema no qual agentes ativos são inseridos na matriz polimérica, como é o caso dos óleos essenciais etc.

A combinação de um polímero biodegradável com óleos essenciais é de extremo interesse, visto que esses óleos representam a busca por alternativas naturais para agregar características como a redução de microrganismos deterioradores e patogênicos, por exemplo. Dentre essas substâncias, tem-se o óleo essencial de tomilho que, segundo a literatura, apresenta excelente efeito antibactericida numa gama ampla de bactérias como por exemplo *E. coli* e *Salmonella* (CUI *et al.*, 2016). Essas propriedades são atribuídas ao timol e ao carvacrol, componentes fenólicos majoritários encontrados no óleo essencial (ALTAN *et al.*, 2018; HU *et al.* 2018; ZHANG *et al.* 2020).

Desta forma, neste trabalho foram desenvolvidos e avaliados filmes de PBAT aditivados com óleo essencial de tomilho visando sua utilização em embalagens ativas. A produção de embalagens com filmes biodegradáveis e aditivos naturais, como os óleos essenciais, promove a redução da poluição e o acúmulo de resíduos no meio ambiente, além de serem uma proposta em potencial para prolongar o tempo de prateleira dos alimentos embalados e diminuir ou até mesmo eliminar a adição de aditivos químicos nos alimentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 VISÃO GERAL SOBRE O USO DE PLÁSTICOS

Os plásticos têm sido utilizados em larga escala desde o início do século 20 devido suas características como maleabilidade, custo baixo de produção, facilidade de processamento, versatilidade, elevada aplicabilidade em vários segmentos, como matéria-prima para fabricação de diversos insumos, como peças para automóveis, embalagens para produtos alimentícios e farmacêuticos, fibras têxteis, isopor, garrafas para bebidas em geral, tubos e conexões, equipamentos médico-cirúrgicos, entre outros (AL-HAMADANI *et al.*, 2020; CARVALHO, FILHO e MORAIS, 2019; MA, Y. *et al.* 2021). Com o aumento do uso desse tipo de material, cresceu também a quantidade de resíduos plásticos descartados no meio ambiente, causando prejuízos econômicos e ambientais.

Segundo Montenegro *et al.* (2020), estima-se que no Brasil foram produzidos cerca de 79 milhões de toneladas de lixo em 2018 e a projeção para 2030 é aproximadamente 100 milhões de toneladas. Desse montante, 13,5% são lixo plástico, classificando o Brasil em quarto maior produtor de lixo plástico do mundo com 11,3 milhões de toneladas de plástico por ano. Dados anteriores mostram que o lixo plástico aumentou consideravelmente nos últimos anos. De acordo com Geyer, Jambeck e Law (2017), no período de 1950 a 2015, cerca de 6,3 bilhões de toneladas de lixo plástico, sendo que a metade desses plásticos produzidos foram nos últimos 13 anos. Desse montante, 9% apenas foram reciclados, 12% incinerados e os restantes 79% dispostos em aterros sanitários ou no ambiente.

Atualmente, dentre os principais destinos dos plásticos pós-consumo, tem-se a reciclagem mecânica, combustão ou a disposição em aterros, sendo que a reciclagem transforma o resíduo em materiais de fácil comercialização, porém muitas cidades não possuem esse tipo de serviço ou quando tem é de forma muito precária, o que dificulta esse processo. Já a incineração não é muito viável devido a poluição do ar e ao alto custo com equipamentos, apesar de reduzir em média 80% dos materiais descartados. Como consequência do descarte dos materiais plásticos, os aterros sanitários acumulam materiais que demoram a degradar no meio ambiente (BONILLA *et al.*, 2020).

Os polímeros sintéticos convencionais são estáveis devidas as suas estruturas químicas que dificultam a absorção da radiação ultravioleta ou ação de microrganismos e por isso mantêm inalterados por vários anos após o descarte (FECHINE, 2013). Por isso, o grande interesse em desenvolver novos materiais que possam ter as características dos plásticos aliado a preservação da natureza vem crescendo ao longo dos anos e muitas pesquisas estão investindo em novos materiais plásticos biodegradáveis (ANDRADE *et al.*, 2020; CAMANI *et al.* 2021; SHARMA *et al.*, 2022; ZHANG *et al.* 2020).

A produção de polímeros biodegradáveis é uma opção promissora para solucionar os problemas ambientais oriundos do uso dos plásticos convencionais, no entanto a sua produção é pequena, representando a capacidade de produção global de somente 4 milhões de toneladas em 2017, ou seja, cerca de somente 1 % da produção total de plásticos sintéticos. Essa baixa produtividade é justificada pelo custo desse material quando comparado ao plástico de origem petroquímica (GEYER, JAMBECK e LAW, 2017).

2.2 POLÍMEROS BIODÉGRADÁVEIS

Uma alternativa a reduzir o material plástico degradável no meio ambiente é o emprego de polímeros biodegradáveis, que segundo a ASTM D883-00, são materiais que tem a degradação ativada por meio da ação de bactérias, fungos e algas e não apenas quebra das ligações químicas como ocorre na fotodegradação as estruturas de carbono resultante funcionam como fonte nutricionais para esses seres (FECHINE, 2013).

Na compostagem, o lixo orgânico é disposto num ambiente de forma que os microrganismos degradem a matéria orgânica e disponibilizem nutrientes para as plantas. É importante analisar se o material tem afinidade com o processo de compostagem e se não gera nenhum resíduo prejudicial as plantas caso este composto final seja utilizado para adubo, senão inviabiliza este processo

De acordo com *Global Industry Analysts* (2021), apesar da crise da COVID-19 no período de 2020-2021, o mercado global de bioplásticos e biopolímeros pode alcançar a US\$ 14,9 bilhões até 2024, registrando uma taxa de crescimento anual de 15,6%. A

Europa representa o maior mercado regional de bioplásticos e biopolímeros, com uma participação estimada de 35,2% do total mundial.

Esses polímeros podem ser divididos em três classes: i) os naturais ou biopolímeros, por exemplo o amido, celulose, quitina, entre outros; ii) os biotecnológicos tem-se o PLA (poliácido láctico); iii) os sintéticos que são PCL- Policaprolactona, PBS- poli(butileno succinato), PBSA-poli(butileno succinato adipato) e o PBAT - poli(butileno adipato tereftalato). Mas, alguns desses polímeros apresentam desvantagens, como por exemplo, o alto custo de produção devido a baixa demanda quando comparado aos plásticos convencionais, valor da matéria-prima e também pela limitação no desempenho mecânico e barreira a gases e vapor d'água (FECHINE,2013, MONDAL *et al.*,2015).

Para que a biodegradação desses polímeros seja rápida, condições apropriadas de umidade, temperatura, pH, disponibilidade de O₂ e a presença de material nutriente são necessárias, e pode ocorrer de duas formas (FECHINE, 2013):

1. Biodegradação aeróbia: $\text{polímero} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{C residual}$
2. Biodegradação anaeróbia: $\text{polímero} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{C residual}$

Os poliésteres são mais suscetíveis ao processo de biodegradação, pois a reação de hidrólise ocorre pela ação das enzimas hidrolases que são excretadas das células de alguns microrganismos. Assim, a degradação total dos poliésteres ocorre em etapas, iniciando com a produção de oligômeros e depois monômeros como ácidos carboxílicos, álcoois e hidroxíácidos (COSTA *et al.*, 2015).

KALITA *et al.* (2020) avaliaram a biodegradação de blendas de PLA, PCL e celulose microcristalina (MCC) em diferentes composições e comparou as propriedades com as dos polímeros puros. As amostras foram submetidas a condições de compostagem simuladas seguindo o protocolo padrão ASTM International D5338-15. As blendas com maior concentração de PCL e MCC na matriz de PLA apresentaram maior porcentagem de mineralização de carbono em comparação às blendas com baixos componentes de PCL e MCC. A análise do peso molecular das amostras mostrou uma

diminuição no seu peso devido ao mecanismo de cisão da cadeia levando à formação de intermediários. Técnicas analíticas revelaram a formação de biofilmes microbianos nas superfícies biopoliméricas combinadas. A microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo mostrou a formação de estruturas semelhantes a fibrilas por PLA, e a formação de manchas ásperas na superfície do PCL reconfirmou a biodegradação das amostras.

CHEN *et al.* (2021) investigaram a biodegradabilidade da blenda de PBAT/PLA. Os filmes foram preparados por “solution casting” e as propriedades térmicas e mecânicas foram analisadas. Em relação as propriedades mecânicas, o módulo de Young manteve-se estável, enquanto a tensão de tração reduziu drasticamente com a degradação em curso. A blenda apresentou uma estabilidade térmica final inferior devido ao processo de degradação.

OBERLINTNERN *et al.* (2021) estudaram a degradação de filmes à base de quitosana puro e com extrato polifenol natural de *Quercus* incorporado em três diferentes tipos de solos (composto industrial, solo de jardim comercial e solo de vinhedo). A degradação e a deterioração das propriedades ativas foram seguidas pela medição da perda de massa dos filmes ativos testados por 14 dias. Os resultados mostraram que as propriedades dos filmes à base de quitosana se deterioraram em menos de 3 dias, seguido pela biodegradação em todos os solos testados após 14 dias. Filmes com extrato de polifenol de *Quercus* incorporado sofrem deterioração das propriedades ativas no composto e no solo do jardim em 6 dias, enquanto o processo de fracionamento e degradação não foi concluído no solo do vinhedo durante os 14 dias. Além disso, também foi revelado que a adição de água ao solo diminuiu a taxa de biodegradação do filme de quitosana ativa no ambiente terrestre.

MITTAL, GARG e BAJPAI (2020) estudaram compósitos à base de PVA/amido e material celulósico de casca de cevada para aplicações em embalagens. Foram usadas algumas técnicas de caracterização, como espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e técnicas de análise térmica para avaliar as propriedades físicas, químicas e morfológicas dos filmes. A avaliação de diferentes propriedades físico-químicas, tais como propriedades mecânicas, propriedades de resistência à água, propriedades de barreira e

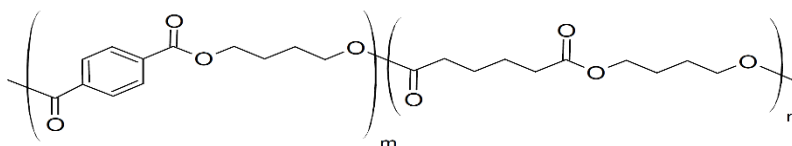
biodegradabilidade também foi realizada. As propriedades mecânicas dos compósitos melhoraram com a adição da casca de cevada enxertado na matriz reticulada de PVA / amido. As propriedades de barreira dos compósitos melhoraram após a adição de casca de cevada e casca de cevada enxertada na matriz. A incorporação de casca de cevada na matriz polimérica melhorou a taxa de biodegradação dos filmes compósitos de PVA / amido. O filme de PVA / amido e casca de cevada enxertada tem aplicação potencial em indústrias de embalagens como um substituto para filmes baseados em polímero sintético não degradável.

Dentre os polímeros biodegradáveis, o PBAT é um dos que vem sendo investigado por se tratar de um polímero de fácil processamento, por possuir propriedades apropriadas embalagens e ser poliéster alifático-aromático que pode ter a biodegradabilidade comprometida em função da porção da estrutura aromática na sua cadeia principal (FECHINE, 2013; MULLER *et al.*, 1998).

2.3 POLI (BUTILENO ADIPATO-CO-TEREFTALATO) – PBAT

Um polímero biodegradável que vem sendo usado na produção de embalagens é o poli(butileno adipato-co-tereftalato)-PBAT (LI *et al.*, 2021; ANDRADE *et al.*, 2020; HERNÁNDEZ-LOPEZ *et al.*, 2019; CARDOSO *et al.*, 2017). É um copoliéster aromático alifático, formado a partir da associação do ácido tereftálico, 1,4- butanodiol e do ácido adípico (Figura 1).

Figura 1 – Ilustração da estrutura molecular do PBAT



Fonte: Basf (2008)

Fabricado pela Basf (2009), comercialmente conhecido como Ecoflex®, e de acordo com fabricante (Tabela 1), possui muitas vantagens tais como: processamento e propriedades mecânicas similares aos polietilenos de baixa densidade, boas propriedades termoplásticas, baixa permeabilidade ao vapor de água,

biodegradabilidade, boas propriedades de processamento para formação de filmes de embalagens (DAMMAK *et al.*, 2021; HERNÁNDEZ-LÓPEZ *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2015). O PBAT pode ser utilizado isolado ou associado a outros polímeros para melhorar ou adicionar propriedades através das blendas poliméricas como é o caso do Ecovio® (PLA e PBAT). A ficha técnica do PBAT está no Apêndice A.

O PBAT é representado estruturalmente em 57% pela unidade repetitiva butileno adipato e 43% pelo butileno tereftalato. Segundo GUO *et al* (2015), os monômeros aromáticos respondem pela boa estabilidade térmica e propriedades mecânicas e os monômeros alifáticos fornecem flexibilidade e boa biodegradabilidade. Feng *et al.* (2014) concluíram que as propriedades finais do PBAT, assim como quase a totalidade dos polímeros semicristalinos, são direcionadas pela morfologia molecular, que é controlada proporcionalmente pelas unidades do butileno tereftalato (BT) e unidades do butileno adipato (BA). O PBAT após cristalização por fusão, contém pequenos cristais com ampla distribuição de tamanho, e a região cristalina é composta principalmente por unidades BT e a região amorfa é predominantemente por BA. Na Tabela 1 é mostrado os valores referentes as principais propriedades do PBAT.

Tabela 1 - Principais propriedades do PBAT

Propriedade	PBAT
Temperatura de Fusão (°C)	100 – 120
Temperatura de Transição vítrea (°C)	-30
Temperatura inicial de decomposição (°C)	280
Resistência máxima à tração (N/mm ²)	35 – 44
Alongamento (%)	560 – 710
Taxa de permeabilidade a vapor de água g.m ⁻² .d ⁻¹	170
Densidade (g/cm ³)	1,2 – 1,5
Solubilidade em água	Insolúvel

Fonte: BASF(2008)

Os filmes de PBAT podem ser preparados por extrusão por sopro, termocompressão e solubilização/evaporação por solvente, porém para produção de filmes em escala industrial utiliza-se majoritariamente a extrusão (LI *et al.* 2015).

Segundo a BASF, apesar do PBAT ser produzido a partir do petróleo, sendo completamente compostável e biodegradável, de acordo com várias normas internacionais como a EN 13432; a AS 4736; a ASTM 6400 e GreenPla.

A taxa de biodegradação dos copoliésteres produzidos a partir do ácido tereftálico, 1,4- butanodiol e do ácido adípico como é o caso do PBAT está diretamente relacionada com a fração molar do ácido tereftálico. MULLER *et al.* 1998, verificaram que a degradação de copoliésteres em meios sintéticos aquosos caiu drasticamente se a fração molar de ácido tereftálico exceder aprox. 30 mol% m/m do componente ácido; verificaram também que, no aterramento de amostras com solo e adubo a 60 ° C esses copoliésteres apresentam a biodegradabilidade em termos de medidas de perda de peso quando a composição do material tem entre 30-55 mol% ácido tereftálico dos componentes ácidos

Sobre a biodegradação desse copoliéster, pesquisadores investigam essa propriedade majoritariamente no solo.

PELLICANO *et al.* (2009) estudaram um composto polimérico formado por poli(hidroxibutirato-co-valerato) – PHBV (Biocycle®), poli(butilenoadipato-tereftalato) – Ecoflex® e amido de mandioca. Foram avaliados o índice de fluidez (MFI), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), ensaios mecânicos de tração e de impacto, e ensaio de biodegradação acompanhada em 60 e 120 dias por análise visual, perda de massa e propriedade mecânica. Os resultados indicaram: que o amido de mandioca atua como uma carga inerte; que existe uma baixa adesão matriz/carga no composto polimérico e que a adição de amido aumenta a taxa de biodegradação do composto, em relação aos polímeros puros. Logo, foi obtido um material para aplicação no curto prazo, com um custo viável, propriedades físico-mecânicas adequadas e excelente taxa de biodegradação

A BASF (2008) conduziu um ensaio para verificar a biodegradabilidade do PBAT e foi alcançada através da compostagem e com condições otimizadas, de acordo com a

Esses óleos têm ganhado espaço, nas últimas décadas, no lugar dos aditivos químicos devido à crescente aceitação dos consumidores por serem naturais e por isso serem considerados conservantes “mais saudáveis”. Possuem muitos fenóis e terpenóides voláteis, que podem inibir um amplo espectro de microrganismos através da perturbação da membrana citoplasmática. (DE OLIVEIRA MONTESCHIO *et al.*, 2017).

São definidos como substâncias líquidas com aspecto oleoso e aroma agradável que são solúveis em solventes apolares (PEREIRA *et al.*, 2014). Classificados como Geralmente Reconhecidos como Seguros (GRAS) pela *Food and Drug Administration* dos EUA, os óleos essenciais são obtidos através de destilação por arraste de vapor de água e por processamento mecânico, tendo como base várias partes de uma planta (ISO 9235, 1997; SHEMESH *et al.* 2015).

São muito utilizados devido suas propriedades terapêuticas e possuem as seguintes propriedades: antibacterianas, fungicidas, antimicrobiana, anti-helmíntico, expectorante, antisséptico, antiespasmódico, antimicrobiano, antioxidante, antivirótico, carminativo, sedativo e diaforético, devido a presença de substâncias químicas como, por exemplo, o eugenol, o citral, pineno, timol, ácido cinâmico e carvacrol (LLANA-RUIZ-CABELO *et al.* 2015).

Apesar de ser extraído do mesmo órgão e da mesma espécie vegetal, a composição química do óleo essencial pode variar significativamente, dependendo por exemplo, de épocas do ano, condições climáticas ou solo (BORGES *et al.* 2012, LEMOS *et al.* 2017).

Os óleos essenciais derivados dos condimentos e plantas aromáticas possuem atividade antimicrobiana contra *Listeria monocytogenesis*, *Salmonella typhimurium*, *E. coli*, *Shigella dysenteriae*, *Bacillus cereus* e *Staphilococcus aureus*, em níveis entre 0,2-10µl/mL. orégano e o tomilho têm demonstrado ação antifúngica e antimicrobiana por possuírem compostos fenólicos que contêm eugenol, carvacol e/ou timol que são os principais responsáveis pela ação bactericida (FIB, 2010) A Tabela 2 apresenta algumas plantas ou condimentos e seus respectivos efeitos antimicrobianos.

Tabela 2 - Eficácia antimicrobiana de algumas especiarias

Planta ou especiaria	Inibição
Coentros, oréganos e salsa	Bactérias Gram positivas e Gram negativas, incluindo a <i>Listeria monocytogenes</i>
Pimenta da Jamaica, manjerição, alcarávia, citronela, manjerona, sálvia, alecrim e alho	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
Manjerição, citronela, alho e menta	Largo espectro, bactérias Gram positivas e Gram negativas
Oréganos, sálvia e tomilho	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>
Cominhos	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
Endro	<i>Clostridium botulinum</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i>

Fonte: Revista Food Ingredients Brasil (2010).

Apesar da potencialidade dos óleos essenciais para serem utilizados visando a conservação de alimentos, é necessário conhecer suas propriedades antibacterianas, através da determinação da Concentração Mínima Inibitória (CMI) e da Concentração de 50% de Inibição (CI50) desses metabólitos, correlacionando seus potenciais e a composição química dos mesmos (HYLDGAARD; MYGIND; MEYER, 2012).

Segundo Carson *et al* (1995), a CMI pode ser descrita como a menor concentração que resulta na manutenção ou redução da viabilidade do inóculo. Várias são as técnicas existentes para verificar a atividade antimicrobiana dos óleos essenciais sendo a mais frequentemente a difusão de disco, no qual o disco de papel é embebido pelo óleo essencial e colocado numa placa inoculada com ágar.

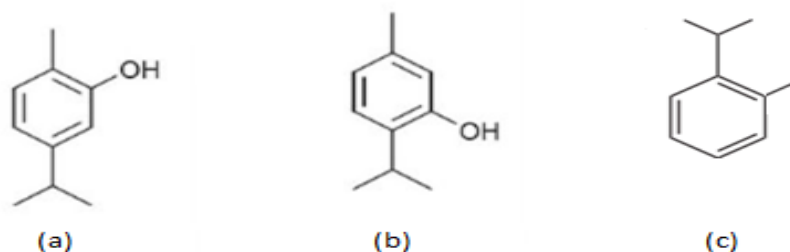
Entre os óleos essenciais mais usados e mais eficazes tem-se o de cravo, orégano, alecrim, tomilho e sálvia (BENAVIDES, 2012). Pesquisas vem sendo desenvolvidas no sentido de aplicar os óleos essenciais como agente antimicrobiano ao longo dos anos.

2.4.1 Óleo essencial de tomilho

O tomilho (*Thymus vulgaris* L.) pertence à família Lamiaceae a qual existem, aproximadamente, 2800 espécies em todo o mundo, sendo cultivado principalmente em climas mediterrâneos. Outros gêneros da mesma família são usados como condimento devido ao seu odor característico, destacando-se a sálvia, manjeriço, orégano, manjerona entre outras, como flores ornamentais ou ainda em cosméticos. Possui atividade antisséptica e antimicrobiana (SHARMA *et al.* 2021).

As propriedades antimicrobianas estão associadas aos compostos fenólicos principais, timol e carvacrol (Figura 4) (JACKIEMI, 2010). Outros compostos em concentrações relevantes, identificados e normalmente presentes são o γ -terpineno (2-31%) e o p-cimeno (10-56%) (BURT, 2004; CUNHA, ROQUE e NOGUEIRA 2012; JOUKI *et al.*, 2014).

Figura 4 - Estruturas químicas do a) carvacrol e b) timol e c) o-cimeno, componentes majoritários encontrados no óleo utilizado



Fonte: Burt *et al.* (2004)

O cimeno (1-metil-2-propan-2-il-benzeno) é um hidrocarboneto aromático formado por um anel benzênico substituído com um grupo metil e um grupo isopropil. A depender da origem e condições de cultivo do tomilho, pode ser obtido na forma de seus isômeros *o*-cimeno e *m*-cimeno (ROMANENKO; TKACHEV, 2006).

O timol é estruturalmente muito semelhante ao carvacrol, diferenciando apenas na posição do grupo hidroxila no anel fenólico. Tanto o carvacrol, 2-metil-5-(1-metiletil) fenol, quanto o timol, 5-metil-2-(1-metiletil)- fenol, são monoterpenos encontrados em várias

plantas aromáticas e são sintetizados a partir do γ -terpineno e do p-cimeno (NOSTRO e PAPALIA, 2012). Os isômeros têm fórmulas moleculares iguais a $C_{10}H_{14}O$ e pesos moleculares de $150,22 \text{ g mol}^{-1}$. No entanto, o carvacrol apresenta-se na forma líquida em temperatura ambiente, enquanto o timol encontra-se como cristais (HOLLAND *et al.*, 2014). Ambas as substâncias tornam a membrana celular permeável e são capazes de desintegrar a membrana externa de bactérias gram-negativas, liberando lipopolissacarídeos (LPS) e aumentando a permeabilidade da membrana citoplasmática (BURT, 2004; LAMBERT *et al.*, 2001).

Ultee *et al.* (2002) concluíram que o carvacrol demonstrou uma alta preferência por fases hidrofóbicas e que as atividades antimicrobianas de compostos semelhantes ao carvacrol (por exemplo, timol e mentol) mostrou que o grupo hidroxila e a presença de um sistema de elétrons deslocalizados são importantes para atividade antimicrobiana do carvacrol. Com base neste estudo, deduziram que carvacrol desestabiliza a membrana citoplasmática, levando a morte celular. Já o p-cimeno, que é uma substância hidrofóbica, gera um inchaço exacerbado da membrana citoplasmática, fragilizando-a (ALVES, 2010).

Cosentino *et al.* (1999) estudaram as propriedades antimicrobiana de um óleo essencial de tomilho e seus componentes, além da sua composição química e concluíram que o timol e carvacrol foram os mais eficazes contra bactérias presentes nos alimentos, confirmando a possibilidade de se utilizar este óleo essencial para prolongar o prazo de validade de alimentos embalados. Nessa mesma pesquisa, obtiveram o MIC para cada um dos microrganismos seguintes: *E. coli* (0,22 – 0,45 $\mu\text{l/mL}$), *S. typhimurium* (0,05 $\mu\text{l/mL}$), *S. aureus* (0,14 – 0,22 $\mu\text{l/mL}$), *L. monocytogenes* (0,45 $\mu\text{l/mL}$) e *B. cereus* (0,45 $\mu\text{l/mL}$).

Jackiemiu *et al.* (2010) estudaram a composição e o rendimento do óleo essencial de tomilho extraído das folhas e hastes de plantas frescas, de um cultivo localizado na região de Curitiba. Através da cromatografia gasosa foram identificados 33 compostos, sendo os principais o timol, p-cimeno e γ -terpineno.

O óleo essencial de tomilho assim como outras substâncias naturais vem sendo empregados como aditivos naturais em embalagens ativas que visam minimizar a

proliferação de microorganismos através de seus agentes ativos. Essas embalagens, através de seus compostos ativos interagem diretamente ou indiretamente, resultando na diminuição dos microorganismos, aumentando a validade dos produtos.

2.5 EMBALAGEM ATIVA

Uma embalagem tradicional tem a função de proteger os alimentos de interferências externas como umidade, temperatura e luz, que levam a deterioração. Um conceito mais novo remete às embalagens denominadas de ativas que mantêm a segurança alimentar, que são exigências do consumidor como aspecto visual, entre outras. Alguns avanços tecnológicos nesse tipo de embalagem específica levaram ao desenvolvimento das embalagens ativas e inteligentes; as embalagens ativas são definidas como várias tecnologias empregadas a promover uma interação entre alimento e embalagem através de seus agentes ativos, diretamente por contato ou pelo ambiente interno, garantindo a qualidade nutricional e a segurança alimentar (LABUZA, BREENE, 1989; MOURA, 2011; SARANTÓPOULOS, SARTORI, 2016).

Outros benefícios da embalagem ativa são a diminuição do movimento de partículas do material da embalagem para o alimento e a redução de processamentos industriais que podem introduzir organismos patogênicos no produto. Já as embalagens inteligentes são sistemas que monitoram as condições do alimento ou a atmosfera ao redor, detectando mudança de temperatura e pH, indicando assim através de mudanças visuais (Sharma *et al.* 2021)

Os plásticos convencionais são os materiais utilizados na grande maioria das embalagens na indústria alimentícia, por serem termoplásticos, ser facilmente moldados, são extremamente maleáveis, a densidade pode ser alterada para atender especificações do cliente, pode conter componentes adicionais tais como estabilizantes, plastificantes e outros aditivos que auxiliam no processamento, baixo custo e elevada resistência mecânica e química (HENNINGSSON *et al.* 2004; SCHAWARK, 2009).

Algumas técnicas empregadas têm a finalidade de prolongar o tempo de prateleira como: atmosfera modificada, absorvedores de oxigênio, de dióxido de carbono, de odor

estranho, de umidade, embalagens antimicrobianas, emissores de dióxido de carbono, entre outras (SARANTÓPOULOS, SARTORI, 2016).

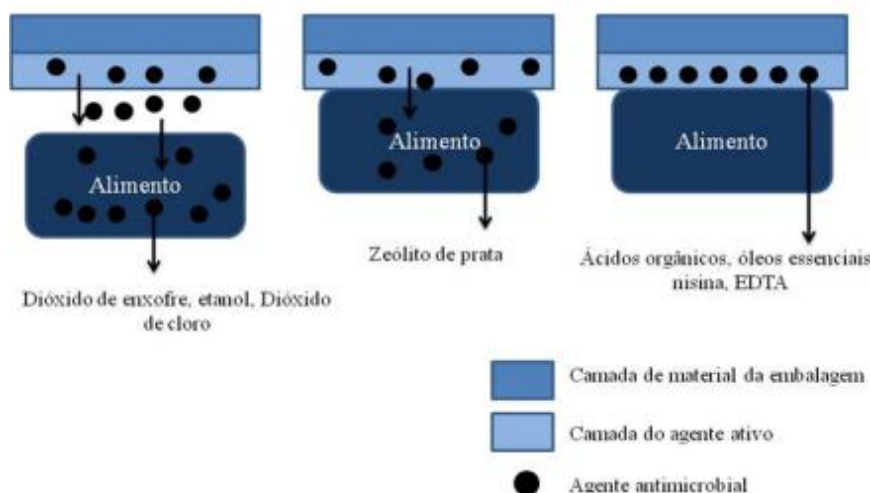
Dentre as embalagens ativas citadas, as antimicrobianas têm um papel fundamental para inibir ou retardar o crescimento microbiano natural do alimento perecíveis. Estas embalagens possuem agentes ativos antimicrobianas que reduzem o crescimento dos microrganismos nos alimentos, aumentando a qualidade e a segurança alimentar bem como o tempo de prateleira (CHEN, 2021).

2.5.1 Embalagem ativa antimicrobiana

A embalagem ativa antimicrobiana é capaz, através de seus agentes ativos, reduzir ou até mesmo eliminar microrganismos patógenos presentes quando em contato com os alimentos. Isso se justifica pela atuação direta na parede ou membrana celular, tornando-a mais vulnerável a perda de material celular levando a morte, ou ainda a atuação nas principais atividades celulares inibindo assim o crescimento antimicrobiano.

O uso de aditivos antimicrobianos químicos sintéticos, que podem ser tóxicos ao organismo humano, tem sido substituído por formas alternativas de preservação dos alimentos por meio da utilização de compostos antioxidantes de fontes naturais, principalmente por compostos fenólicos obtidos de plantas e frutas (ACOSTA-ESTRADA *et al.*, 2014; MOOHUCHIN *et al.*, 2014), como por exemplo os óleos essenciais (REGNIER, COMBRINCK, DUPLOOY, 2012).

Os agentes antimicrobianos são incorporados nas embalagens diretamente à matriz polimérica em rótulos, etiquetas ou estar contidos em sachês. Segundo El Halal e Colussi (2017), esses agentes ativos são adicionados nos filmes poliméricos de duas maneiras: incorporação e imobilização; na incorporação, há liberação do agente antimicrobiano para o alimento, enquanto na imobilização o composto atua apenas na de superfície conforme Figura 5.

Figura 5 Sistema de embalagem antimicrobiana

Fonte: Halal e Colussi (2017).

Alguns estudos de embalagens poliméricas e aditivos antimicrobianos vem sendo desenvolvidos com a finalidade de embalagem ativa para alimentos como apresentado a seguir.

SHARMA *et al.* (2022) produziram filmes de P(3HB-co-4HB) incorporados com óleo essencial de tomilho com a finalidade de embalagem ativa para pães. Os filmes foram preparados por *casting* na proporção de 10, 20 e 30% de óleo essencial de tomilho e foram feitas análises térmicas, morfológicas, químico, mecânica, de barreira e antimicrobiana. Na espectroscopia de infravermelho foi possível detectar a presença do óleo essencial de tomilho. O efeito plastificante do óleo de tomilho nos filmes foi evidenciado pela diminuição da resistência à tração e cristalinidade, embora houve um aumento no alongamento na ruptura e na permeabilidade ao vapor de água. Com relação a atividade antimicrobiana do óleo observou-se que quando o pão foi embalado em filmes contendo 30% de óleo de tomilho a vida útil aumentou para 5 dias, em contrapartida de 1-4 dias no filme puro.

ANDRADE *et al.* (2020) desenvolveram filmes de PBAT puro e ativados com óleo essencial de laranja, para produção de embalagens ativas e como resultado verificou que as diferentes concentrações do óleo não alteraram as propriedades mecânicas dos filmes, a tensão na ruptura e módulo elástico sofreram pequenas modificações quando

se aumentada a concentração o óleo de laranja no filme. Através da técnica disco difusão, verificou-se que houve inibição tanto para *E. Coli* quanto para *S. aureus*.

Cardoso *et al.* (2017) desenvolveram filmes antimicrobianos biodegradáveis de PBAT e óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*) para aplicação no armazenamento de filé de peixe. A incorporação de óleo essencial não produziu efeito nas propriedades térmicas, mas houve modificação nas propriedades mecânicas como resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade. Foi verificado que quanto maior a quantidade de óleo essencial, maior a permeabilidade ao vapor de água. Os ensaios microbiológicos demonstraram a eficiência dos filmes em diminuição da população de coliformes totais, *Staphylococcus aureus* e microrganismos psicrotróficos. A respeito da atividade antioxidantes, quanto maior a concentração de óleo essencial, maior a atividade antioxidante. Além disso, suas propriedades térmicas e de barreira à água demonstraram ser adequadas para aplicações de embalagem de alimentos.

Zehetmeyer (2016) preparou filmes de PBAT com nisina através da extrusão, eletrofiação e casting. As propriedades térmicas, estruturais, mecânicas e antimicrobianas, bem como a biodegradabilidade dos filmes extrudados foi analisado. Os filmes apresentaram atividade antimicrobiana frente a *Listeria monocytogenes*. A temperatura de transição vítrea (Tg) e a temperatura de fusão (Tm) não apresentaram modificação com a incorporação da nisina. Quanto as propriedades mecânicas, verificou-se uma redução na rigidez, diminuição no alongamento a ruptura e manutenção a resistência a tração conforme se aditivou os filmes. Verificou-se também um aumento das propriedades de barreira ao oxigênio para os filmes de PBAT/nisina e indícios da biodegradação e mudança de cor se verificou ao longo dos 30 dias. Os filmes estudados apresentaram características ideais para o emprego como embalagem ativa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

O PBAT, em pellets, foi fornecido pela BASF Industrial S/A sob nome comercial de Ecoflex®. O óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris* L.) utilizado foi do fabricante LAZSLO e o clorofórmio utilizado foi da marca QHemix com concentração de 99,8%.

3.2 PREPARAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS

Os filmes foram preparados de PBAT puro e aditivados foram produzidos utilizando a técnica *solution casting* (ANDRADE *et al* 2020). As massas utilizadas de PBAT e óleo essencial de tomilho estão descritas na Tabela 3. Foram preparados filmes de PBAT aditivados com 0, 1, 2, 5, 10, 15 e 20 % m/m de óleo essencial de tomilho para avaliar o efeito do óleo em baixa e grande concentração nos filmes produzidos. Os filmes foram produzidos em triplicatas.

Tabela 3 - Proporção de PBAT e óleo essencial de tomilho usado na produção dos filmes

Sistema Massa de PBAT (g)	Massa do óleo (g)	Massa do polímero (g)	Massa total (g)
Filme de PBAT puro	0,000	1,400	1,400
Filme de PBAT a 1%	0,014	1,386	1,400
Filme de PBAT a 2%	0,028	1,372	1,400
Filme de PBAT a 5%	0,070	1,330	1,400
Filme de PBAT a 10%	0,140	1,260	1,400
Filme de PBAT a 15%	0,210	1,190	1,400
Filme de PBAT a 20%	0,280	1,120	1,400

Fonte: Autora(2020).

3.2.1 Filme de PBAT puro

Na preparação dos filmes de PBAT puro, pesou-se 1,400 g do polímero e adicionou-se 50 mL de clorofórmio. A mistura foi colocada sob agitação constante durante 30 minutos, à temperatura ambiente (24°C). Após esse período, a solução filmogênica foi vertida em uma placa de petri de vidro e deixada à temperatura ambiente (24°C) até completa evaporação do solvente. Os filmes secos foram removidos das placas de petri de vidro após 5 dias.

3.2.2 Filme de PBAT adicionado de óleo essencial de tomilho

Na preparação dos filmes aditivados, utilizou-se o mesmo procedimento para a produção de filmes de PBAT puro com a adição de uma etapa. Após dissolução do PBAT em clorofórmio, período de 30 min, foi adicionado o óleo essencial de tomilho de acordo com a composição desejada. (Tabela 3). Essa mistura foi mantida sob agitação por mais 15 min. Finalizado esse período, a solução filmogênica foi vertida em placas de Petri. Após o período de 5 dias, os filmes secos foram removidos.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO POR CROMATOGRAFIA GASOSA DE MASSAS

O óleo essencial de tomilho foi através de um cromatógrafo a gás, modelo trace 1330, acoplado a um detector de massas da marca ISQ Single Quadrupole. Todos os equipamentos da marca ThermoScientific. As condições para análise foram: temperatura do injetor foi de 220°C; temperatura do detector a 240°C; velocidade linear de 46,3 cm/seg; razão de split de 20; e fluxo total de 36,8 mL/min. O programa de temperatura foi de 60°C/min, razão de aquecimento de 6°C/min até 100°C, com razão de 14°C/min até 240°C e tempo de análise total de 18,1 min.

3.4 ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO

Para realização dessa análise, utilizou-se a técnica difusão em disco descrita por Bauer *et al* (1966). Inicialmente foi preparado meio de cultura Ágar Nutriente (AN); utilizou discos de papel absorvente para absorção do óleo que seguiu a técnica descrita na Farmacopeia Brasileira e utilizou-se os microrganismos *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.

Para a realização dos ensaios antimicrobianos foram preparadas suspensões das cepas testes em solução salina (NaCl a 0,85% p/v) estéril, as quais foram padronizadas de acordo com a turbidez do tubo 0,5 da escala McFarland correspondendo a aproximadamente 10^8 Unidades Formadoras de Colônia por mililitro (UFC.mL⁻¹). Logo em seguida, as cepas foram inoculadas em placas de petri contendo meio de cultura, com auxílio de uma alça de drigalski. Após 5 minutos, os discos de papel de filtro embebidos com óleo essencial de tomilho foram inseridos na superfície da placa que continha os microrganismos inoculados. Ao término, as placas foram incubadas a uma temperatura a 37 °C por 24 h. Após crescimento microbiano foi feito a medida do halo de inibição dos filmes com auxílio de um micrômetro.

3.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Os espectros de infravermelho médio dos filmes foram registrados utilizando um FT/IR-4600 type da marca Jasco, com acessório ATR (reflexão total atenuada), nas seguintes condições: região espectral de 4000 a 400 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹ e 16 varreduras

3.5.1 Análise de componentes principais

Para a construção da ACP, inicialmente foi realizado um pré-processamento de normalização que visa a redução da influência de variações indesejadas presentes no conjunto de dados através da divisão de cada variável por uma constante (DE SOUZA e POPPI, 2012; LONDRINA, 2006).

Após essa etapa foi construída a Análise por Componentes Principais visando encontrar diferenças espectrais e assim evidenciar a incorporação do óleo essencial de tomilho na matriz polimérica do PBAT em diferentes composições.

Para a análise de componentes principais (ACP) foram selecionadas as regiões espectrais de $3100\text{-}2700\text{ cm}^{-1}$ e $850\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ de PBAT puro e aditivados que apresentam as principais bandas características do óleo essencial de tomilho referentes as ligações CH e CH₂ do cimeno, timol e carvacrol (VALDERRAMA e ROJAS, 2017). Para o tratamento dos dados multivariados foi utilizado a normalização pela máxima das regiões escolhidas e as amostras foram em duplicata.

O software utilizado para tratamentos dos dados foi o *The Unscrambler*, versão 9.7.

3.6 ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos dos filmes foram realizados na máquina universal de ensaio de tração modelo DL-500MF da marca EMIC seguindo a norma ASTM D882-12. Os ensaios ocorreram à temperatura ambiente e sem controle de umidade. Os ensaios foram realizados nas seguintes condições: célula de carga de 500 N; velocidade da garra de 5 mm/min; distância inicial entre as garras de 40 mm; e dimensão do corpo de prova de 2,5 x 7,5 cm.

Os resultados dos ensaios mecânicos foram avaliados estatisticamente através do Teste de Duncan com nível de significância de 5 % ($p > 0,05$), utilizando o usando o software STATISTICA versão 10.0.228.8

3.7 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL

As análises térmicas dos filmes foram realizadas utilizando um calorímetro da marca Mettler Toledo, modelo DSC STAR[®] SYSTEM, utilizando um cadinho de alumínio sob atmosfera de nitrogênio a um fluxo de 50 mL/min com massa variando entre 5 e 6 mg. As condições de aquecimento da amostra foram realizadas em 3 etapas: No primeiro aquecimento, a amostra foi aquecida a partir de 0° até 200°C a uma taxa de 30°C/min e

mantida na temperatura final por 2 min para apagar a história térmica. Em seguida, as amostras foram resfriadas até a 0°C a uma taxa de 10°C/min. No segundo aquecimento a amostra foi novamente aquecida de 0°C a 200°C a uma taxa de 10°C/min para investigar o comportamento de fusão e para medir a cristalinidade dos filmes de PBAT. Os dados foram tratados utilizando o software Integral[®] - Versão B (Canedo, 2014) e os gráficos foram construídos utilizando o programa SIGMAPLOT.

3.8 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Os filmes foram submetidas a análise termogravimétrica utilizando o equipamento da marca Mettler Toledo, modelo TGA/DSC 2 STAR e sob as seguintes condições: faixa de temperatura de 50 a 600°C; taxa de aquecimento de 10°C/min sob fluxo de nitrogênio de 20mL/min. Os pesos das amostras foram na faixa de 15 a 20 mg.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FILMES DE PBAT PURO E ADITIVADOS PRODUZIDOS

Todos os filmes produzidos apresentavam-se flexíveis, macroscopicamente homogêneos, esbranquiçados e com indício de opacidade. Foi observado que o aumento percentual de óleo tornaram os filmes mais transparentes e com a mesma flexibilidade. Os filmes apresentaram-se com odor forte e característico do tomilho, mesmo em pequenas concentrações. A redução da opacidade está relacionada à dispersão do óleo essencial na matriz polimérica; o óleo essencial por ser uma fase lipídica, leva ao aumento da reflectância e baixa rugosidade dos filmes após sua incorporação, causando um aumento do brilho (CARDOSO, 2017).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO POR CROMATOGRAFIA GASOSA DE MASSAS

A técnica de GC-MS foi utilizada para determinar a composição química do óleo essencial de tomilho e através dessa identificou-se, na composição volátil do óleo, 20 componentes, destacando-se os principais, tais como: o-cimeno, timol e carvacrol. Outros em menores proporções, bem como a porcentagem dos componentes majoritários podem ser verificados na Tabela 4.

Tabela 3 - Componentes majoritários presentes no óleo essencial de tomilho

Componentes	Pico área (%)
o-cimeno	52,16
Timol	28,21
Carvacrol	13,26
Canfeno	2,64
α -terpineol	1,29
Outros	2,81

Fonte: Autora(2020).

Sadekuzzaman *et al.* (2018) relataram a presença do cimeno, timol, α -pineno e carvacrol como componentes majoritários. Burt (2004) verificou que os óleos de tomilho analisados têm em sua composição o cimeno variando entre 10 a 56%, o timol na faixa de 10 a 64% e o carvacrol entre 2 a 11%. Porém, a composição do óleo essencial pode apresentar variações, de acordo com a região da plantação de tomilho, da parte da planta que foi extraído o óleo (folhas ou hastes) do clima, das condições do solo disponibilidade de água no mesmo (BORGES *et al.* 2012, BURT 2004, PIRBALOUTI *et al.* 2013).

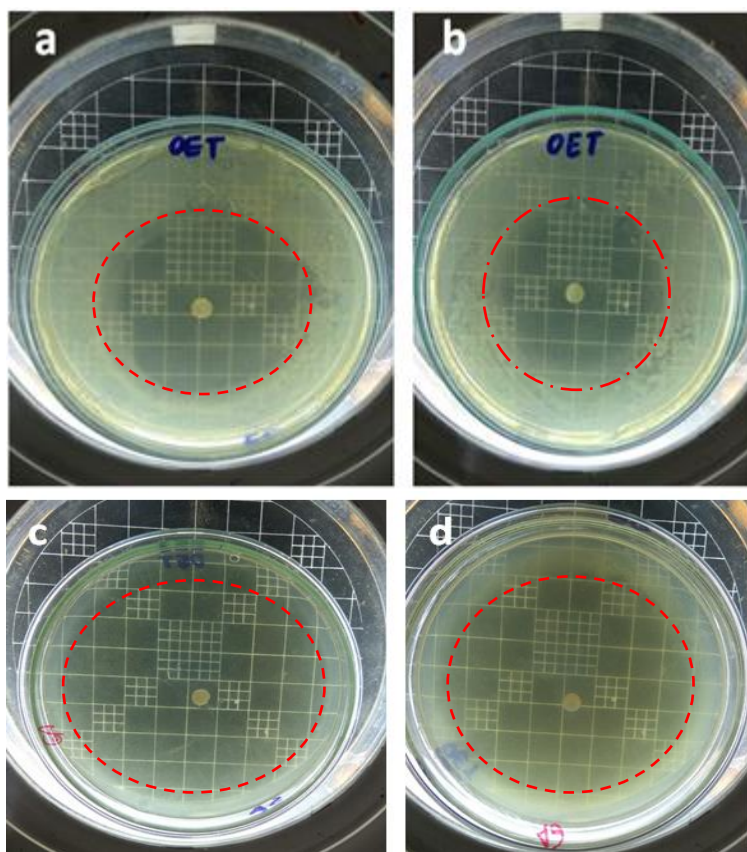
Cosentino *et al.* (1999) investigaram a composição de quatro óleos essenciais de tomilho extraídos de diferentes espécies e obtiveram as faixas para o cimeno entre 4,1-27,6%, timol entre 29,3-50,3%, carvacrol 2,8-20,6%, entre outros entre outros. Neste trabalho os autores concluíram também que as variações de composição entre os óleos influenciam a atividade antimicrobiana, que é afetada pelo meio ambiente, idade e propriedades genéticas.

Jordan *et al.* (2006) encontraram 1,8-cineol e acetato de terpinil como constituintes principais no tomilho espanhol, enquanto Borges *et al.* (2012) mostraram que tomilho coletados em Lavras (Minas Gerais, Brasil) tem como principal composto o borneol. Pirbalouti *et al.* (2013) relataram timol e carvacrol como principais compostos no tomilho iraniano, enquanto pesquisas com tomilho paquistanês mostrou timol como predominante.

4.3 ANÁLISE DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL DE TOMILHO

Na Figura 6 está representado os resultados da atividade antimicrobiana para o óleo essencial de tomilho avaliado. Através do aparecimento dos halos de inibição foi constatado o efeito inibitório do óleo essencial de tomilho frente as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, respectivamente. A média dos halos de inibição observados para *E. coli* foi 49,95 mm e para *S. aureus* foi 86,25 mm.

Figura 6 – Teste de inibição microbiana do óleo essencial de tomilho para *Escherichia coli* em a) e b) e para *Staphylococcus aureus* (c, d)



Fonte: Autora(2020).

Lemos *et al.* (2017) avaliaram óleos de tomilho coletados em diferentes estações no estado de Espírito Santo, assim como seus principais componentes (timol, o-cimeno, y-terpineno e carvacrol). Os autores relataram que os óleos apresentaram atividade antimicrobiana frente as bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella typhimurium*, justificada pela presença de compostos fenólicos (timol e carvacrol) que são reativos devido núcleo aromático, pois criam ligações de hidrogênio com os sítios ativos das enzimas, desativando-as.

Cutillas *et al.* (2018) avaliaram óleos de tomilho a atividade antimicrobiana de óleos de tomilho e observaram que houve formação de halo de inibição para as bactérias *E. Coli*, *S. Aureus*, *C. Albicans* e *P. Paeruginosa*. Observaram também que a maior inibição ocorreu frente as bactérias Gram-positivas. Fatores como a permeabilidade da membrana bacteriana e a distribuição dos componentes do óleo interferem na

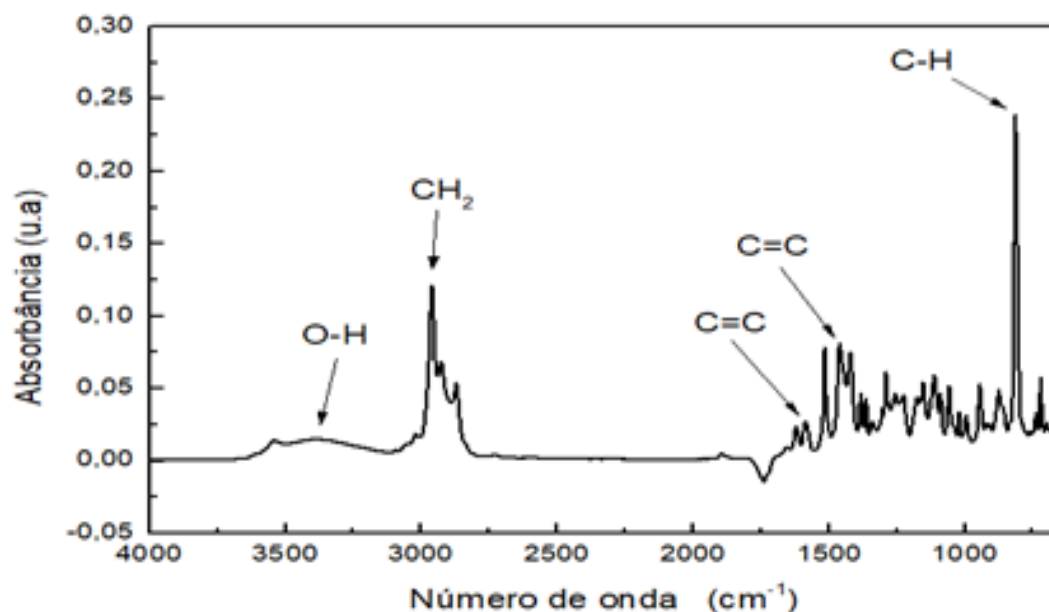
propagação do óleo e sua atividade nas células, justificando a variabilidade das atividades em grupos distintos de bactérias (VALERIANO *et.al*, 2012). O timol e carvacrol proporciona a permeabilidade da membrana, ocorrendo a desintegração da membrana externa, presente na parede das bactérias Gram negativas, liberando lipopolissacarídeos (LPS), que faz aumentar a permeabilidade da membrana citoplasmática ao ATP. Logo, o óleo essencial de tomilho é um aditivo ativo antimicrobiano promissor para produção de filmes com propriedades antimicrobianas em embalagens ativas.

4.4 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

4.4.1 Óleo essencial de tomilho

Na Figura 7 é ilustrado o espectro de infravermelho médio do óleo essencial de tomilho. Através da figura, verifica-se as principais bandas vibracionais dos grupos funcionais presentes nos componentes principais do óleo essencial de tomilho. O pico máximo de absorção em 2964 cm^{-1} é atribuído a vibração de estiramento das ligações alifáticas C-H₂ em concordância com o obtido por Lin, Zhu e Cui (2018). Os picos máximos das bandas, localizadas entre 1583 cm^{-1} e 1459 cm^{-1} referem-se à ligação C=C das estruturas do timol e carvacrol e do anel aromático do cimeno. O pico máximo da banda em 3400 cm^{-1} corresponde a vibração de estiramento O-H devido ao grupo fenólico presentes no timol, carvacrol e cimeno. Os picos máximos das bandas de vibração de dobramento simétrico e assimétrico do grupo isopropil e metil estão localizadas entre 1362 cm^{-1} e 1381 cm^{-1} , respectivamente. Por fim, o pico máximo da banda em 813 cm^{-1} é referente a ligação C-H fora do plano na estrutura do cimeno, o mesmo encontrado por Valderrama e Rojas (2017).

Figura 7- Espectro de infravermelho do óleo essencial de tomilho.

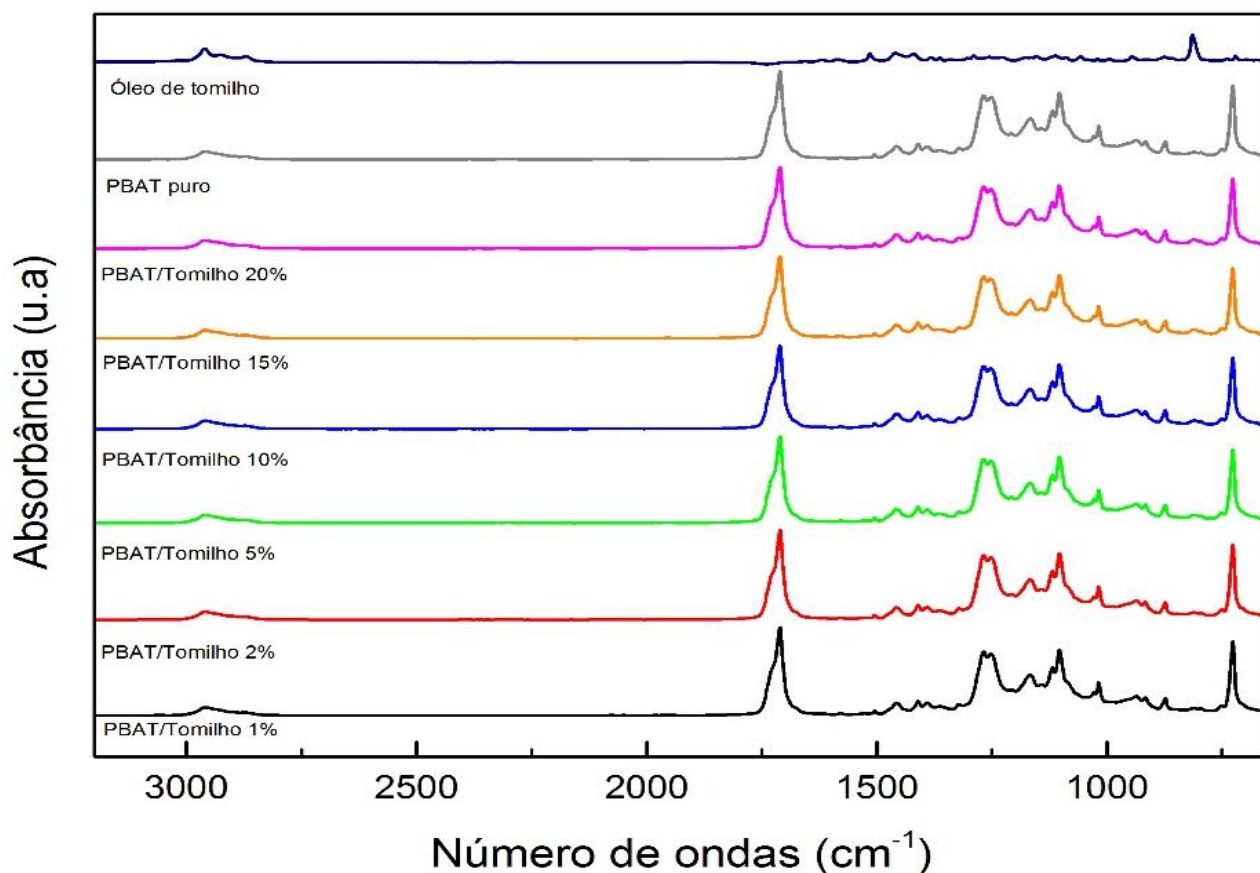


Fonte: Autora (2021)

4.4.2 Filmes de PBAT puro e aditivados

A Figura 8 mostra os espectros de infravermelho do óleo essencial de tomilho e dos filmes de PBAT puro e PBAT aditivados com óleo de tomilho em diferentes composições. No filme de PBAT puro, em concordância com Li *et al.* (2018) e Bheemaneni *et al.* (2018), verifica-se a presença da banda de alongamento com pico máximo em 1709 cm^{-1} que pode ser atribuída às ligações C=O dos grupos carbonila na ligação éster. Outras bandas localizadas em aproximadamente 1250 cm^{-1} referem-se ao estiramento simétrico C-O da ligação éster, outra de flexão plana, por volta de 1400 cm^{-1} , que estão relacionadas as ligações CH₂, e bandas entre 1090 e 800 cm^{-1} associados à presença do anel benzênico substituído. Por último, uma banda em 720 cm^{-1} representa vários grupos adjacentes de metileno (-CH₂)₄, conforme Brandelero *et al.* (2010).

Figura 8 - Espectro de infravermelho para filmes de PBAT puro e PBAT aditivados com óleo de tomilho



Fonte: Autora (2021).

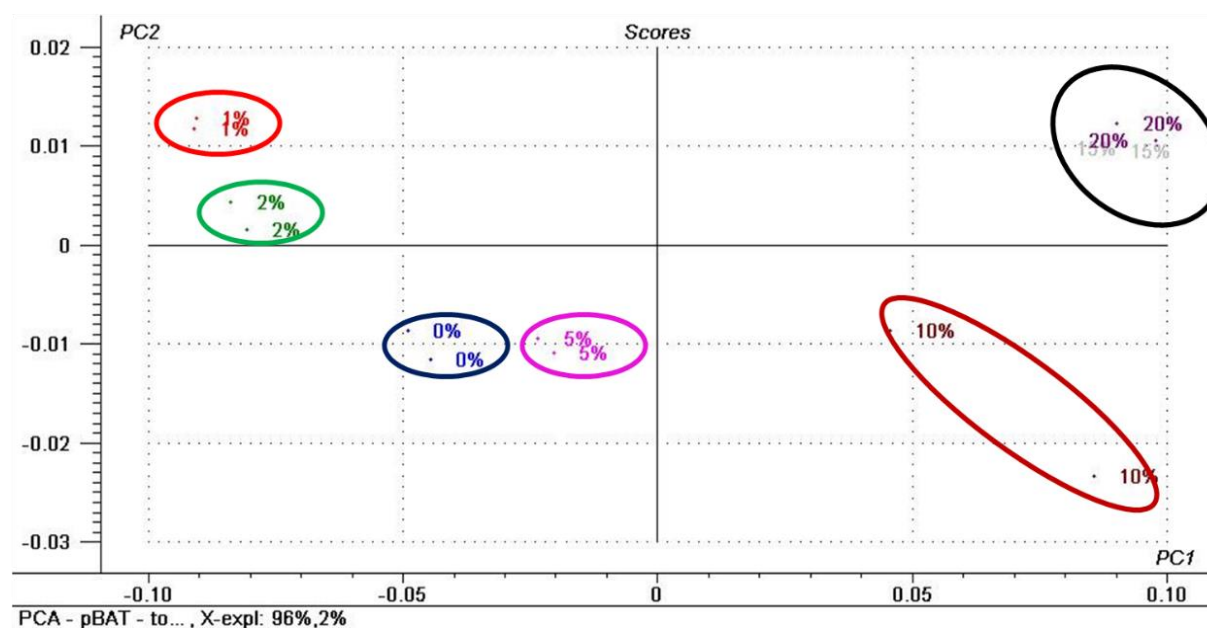
A análise pelo infravermelho do filme aditivado foi realizada com o objetivo de verificar as interações entre o óleo essencial de tomilho e o PBAT. Ao comparar o espectro do filme de PBAT puro e os dos filmes aditivados, verifica-se que são muito semelhantes entre si.

Uma das hipótese é devido ao PBAT estar em maior quantidade nos filmes que o óleo essencial de tomilho; pode também está havendo sobreposição das bandas vibracionais do espectro de infravermelho, dificultando a visualização das bandas relativas ao aditivo. Sendo assim, foi realizado a ACP (Análise de Componentes Principais) para verificar se houve a incorporação do óleo essencial de tomilho no PBAT através de diferenças espectrais.

4.4.2.1 Análise de Principais Componentes (ACP)

Na Figura 9 é ilustrado o gráfico dos scores, onde pode-se visualizar a separação das amostras de acordo com a composição ou similaridade espectral. A partir desse resultado verificou-se o indício da incorporação do óleo essencial de tomilho na matriz polimérica do PBAT para todas as composições avaliadas.

Figura 9 - Gráfico de scores PC1xPC2 dos filmes de PBAT puro e aditivado com 1, 2, 5, 10, 15 e 20% m/m com óleo essencial de tomilho



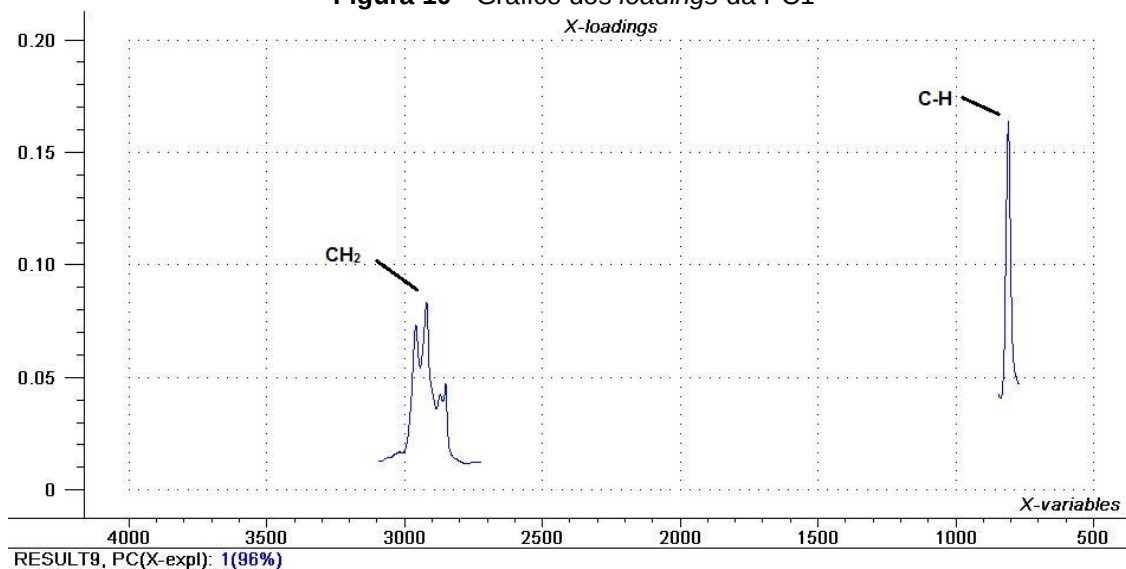
Fonte: Autora (2021).

Os filmes com composição de 15 e 20 % m/m de óleo essencial de tomilho ficaram agrupados, isso pode ser atribuído a saturação de óleo pelo filme polimérico. A porcentagem de variância explicada pela PC1 e PC2 foi 96% e 2%, respectivamente. ANDRADE *et al.* (2020) relatam que a PC1 possibilita verificar a diferença entre os filmes PBAT puros e os aditivados com óleo essencial; já a PC2 permite verificar a diferença entre os filmes nas diversas concentrações de óleo.

As Figuras 10 e 11 ilustram os gráficos dos *loadings* da PC1 e PC2. A partir desses gráficos identificam-se as variáveis (ou comprimentos de onda) que exerceram influência

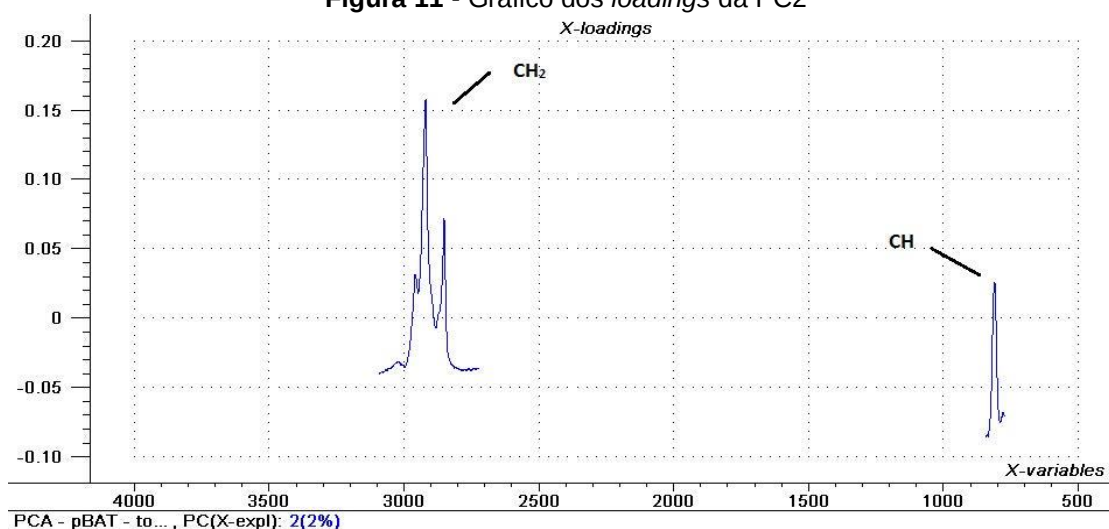
na construção da ACP e separação das amostras por grupos. Foi possível diferenciar os picos responsáveis pela formação dos grupamentos pelas absorções observadas em 2964 cm^{-1} (referente ao óleo essencial de tomilho e PBAT) e 720 cm^{-1} (relativo ao óleo de tomilho), evidenciando indício da incorporação do óleo essencial de tomilho na matriz polimérica.

Figura 10 - Gráfico dos *loadings* da PC1



Fonte: Autora (2021).

Figura 11 - Gráfico dos *loadings* da PC2



Fonte: Autora (2021).

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Um filme biodegradável deve ser resistente ao estresse normal que ocorre durante a sua aplicação, transporte e manuseio, para que se mantenha a integridade dos alimentos (PELLISARI, 2009). As propriedades mecânicas dos filmes poliméricos podem ser influenciadas por diversos fatores tais como: condições de preparo e ensaio das amostras, o grau de cristalinidade do material, massa molecular e o grau de interação da interface polímero-aditivo (PERSICO *et al.*, 2009).

As propriedades mecânicas como tensão máxima, deformação específica e módulo de elasticidade foram avaliadas mediante a realização de ensaio de resistência a tração para os filmes de PBAT puro e PBAT/óleo de tomilho com a finalidade de verificar se a incorporação do óleo essencial de tomilho na matriz polimérica causou modificações nas propriedades mecânicas. Os valores médios das propriedades mecânicas obtidas através das propriedades mecânicas foram comparados estatisticamente pelo teste de Duncan com nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Tabela 4- Valores médios obtidos para as propriedades mecânicas

Amostras	Tensão máxima (Mpa)	Módulo elástico (Nm ²)	Deformação específica (u.a)
PBAT puro	12,1 ± 1,0 ^a	51,5 ± 2,5 ^a	451,8 ± 56,8 ^{b,c}
PBAT/1% OET	10,2 ± 0,3 ^b	45,3 ± 3,1 ^b	473,7 ± 87,4 ^{b,e,d}
PBAT/2% OET	10,3 ± 1,2 ^b	51,7 ± 2,1 ^a	236,3 ± 6,1 ^a
PBAT/5% OET	12,1 ± 0,8 ^a	47,2 ± 1,2 ^b	414,6 ± 63,4 ^{b,c}
PBAT/10% OET	12,9 ± 1,0 ^a	38,6 ± 2,3 ^c	599,6 ± 81,8 ^d
PBAT/15% OET	8,4 ± 1,2 ^c	32,8 ± 1,9 ^d	346,3 ± 104,6 ^{a,b}
PBAT/20% OET	11,6 ± 0,8 ^{a,b}	28,5 ± 2,5 ^e	496,8 ± 53,5 ^{e,d}

a,b,c, d,e mostra que são significativamente diferentes com um $p < 0,05$.

Fonte: Autora (2021).

A adição do óleo essencial de tomilho causou diminuição significativa da tensão máxima para as concentrações para 1%, 2% e 15% m/m de óleo no filme, sendo essa redução mais pronunciada no filme aditivado com 15% de óleo de tomilho, que possui menor resistência mecânica quando comparado com os demais. Nas demais concentrações não houve alteração significativa comparada com o filme de PBAT puro. Variações nos valores de tensão podem estar relacionadas a formulação dos óleos usados e sua pela sua dispersão no filme, alterando os resultados das propriedades mecânicas.

A deformação específica nos filmes aditivado com 2% de óleo de tomilho apresentou maior redução significativa, caracterizando filmes menos flexíveis. Na concentração de 5% de óleo no filme, não apresentou mudança significativa comparado com o filme de PBAT puro. Nas outras concentrações de óleo (1, 10 e 20 % m/m), a presença de óleo essencial pode ter interferido nas interações entre as unidades do polímero, reduzindo as forças intermoleculares ao longo de cadeias de polímeros.

Para o módulo de elasticidade houve uma diminuição significativa dessa propriedade na maioria das amostras, com exceção a de 2% de óleo que não se alterou com a adição de óleo. A maior redução ocorreu nas amostras com 20% de óleo de tomilho, que resulta em queda na rigidez ou maior flexibilidade do filme que pode ser justificada pelo efeito plastificante do carvacrol, um dos principais componentes no óleo essencial de tomilho (PERSICO *et al.*, 2009).

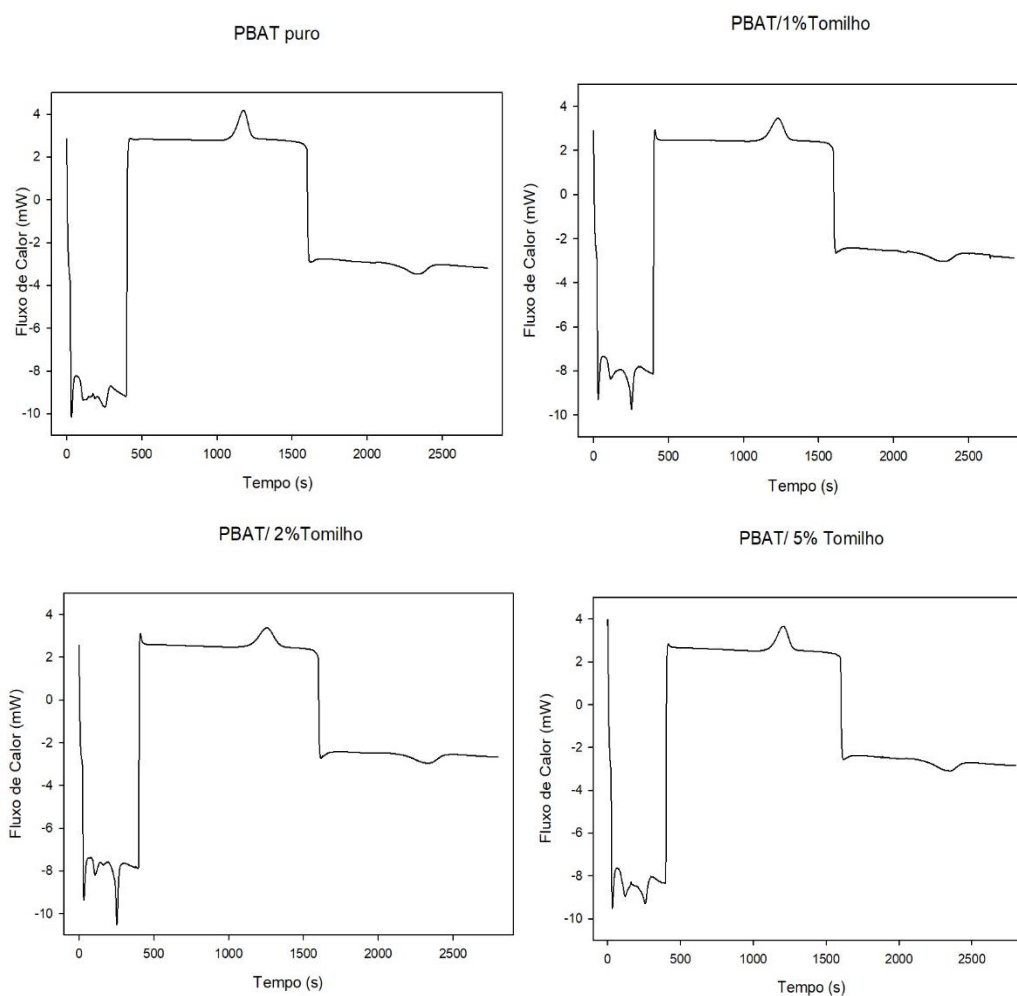
O efeito da incorporação de óleo essencial nas propriedades mecânicas de filmes é muito variável e depende das interações entre os componentes do óleo e a matriz do polímero. Enfraquecimento mecânico é notado principalmente devido uma estrutura heterogênea causada pela adição de lipídios e ao contrário dos componentes lipídicos puros, os óleos essenciais possuem uma composição complexa, o que dificulta a previsão de seu efeito (ATARÉS e CHIRALT, 2016).

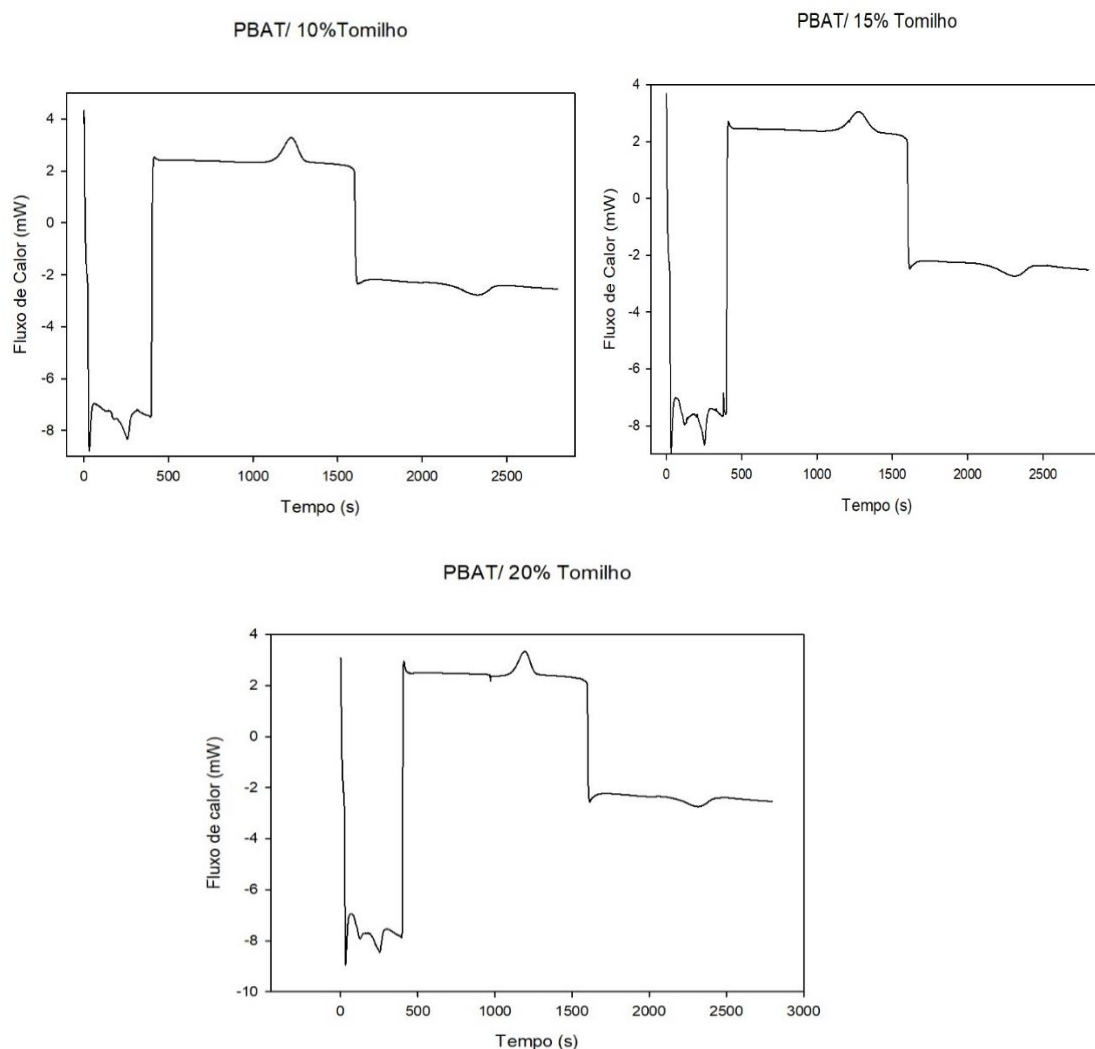
4.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS

4.6.1 Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

O comportamento térmico foi analisado pela técnica DSC, através da qual foi possível obter as temperaturas de fusão, cristalização, entalpia de fusão e porcentagem de cristalinidade que estão representadas na Tabela 5. As curvas de DSC para os filmes estão apresentadas na Figura 12. Para o cálculo das propriedades térmicas foi utilizado a entalpia teórica do polímero 100% cristalino igual a 114 J.g^{-1} (PEREIRA; MORALES, 2014).

Figura 12 - Curvas de DSC para os filmes de PBAT puro e PBAT aditivados





Fonte: Autora (2021).

A temperatura de cristalização e fusão do filme de PBAT puro encontrados foram 70,86°C e 121,73 °C, respectivamente, que estão bem próximo dos valores encontrados na literatura (ARRUDA, 2015; BASF, 2009; COSTA *et al.*, 2017; HERNÁNDEZ-LOPÉZ *et al.*, 2019).

Foram identificados dois picos para todas as amostras conforme se observa na Figura 12, sendo um endotérmico relativo à temperatura de cristalização (T_c) e um segundo exotérmico referente à temperatura de fusão (T_m), também foi observado por Cardoso *et al.* (2017). Na Tabela 6 são apresentados os dados de saída do programa Integral[®] referentes à cristalização à frio do PBAT e PBAT aditivado com óleo essencial

de tomilho, onde ΔH_c é o calor latente de cristalização e X_c é o grau de cristalinidade a frio.

Tabela 5 - Parâmetros do DSC dos filmes de PBAT puro e PBAT/OT

Amostra	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_c (J/g)	X_c (%)
PBAT	121,8	70,8	11,6	10,2
PBAT/1% OET	122,3	61,8	10,4	9,1
PBAT/2% OET	121,6	57,7	12,3	10,7
PBAT/5% OET	125,1	66,1	11,8	10,4
PBAT/10% OET	124,4	62,6	12,3	10,8
PBAT/15% OET	121,8	64,8	12,1	10,6
PBAT/20% OET	119,3	68,1	11,8	10,4

Fonte: Autora (2021).

A diminuição da T_m está relacionado ao aumento de teor de óleo essencial de tomilho, exceto nas concentrações de 1, 5 e 10% que houve um aumento dessa propriedade, justificado pela heterogeneidade da distribuição de óleo no filme. Segundo a literatura, os agentes antimicrobianos presentes nos óleos naturais geralmente não alteram de forma significativa a temperatura de fusão em filmes (SUNG *et al.*, 2014).

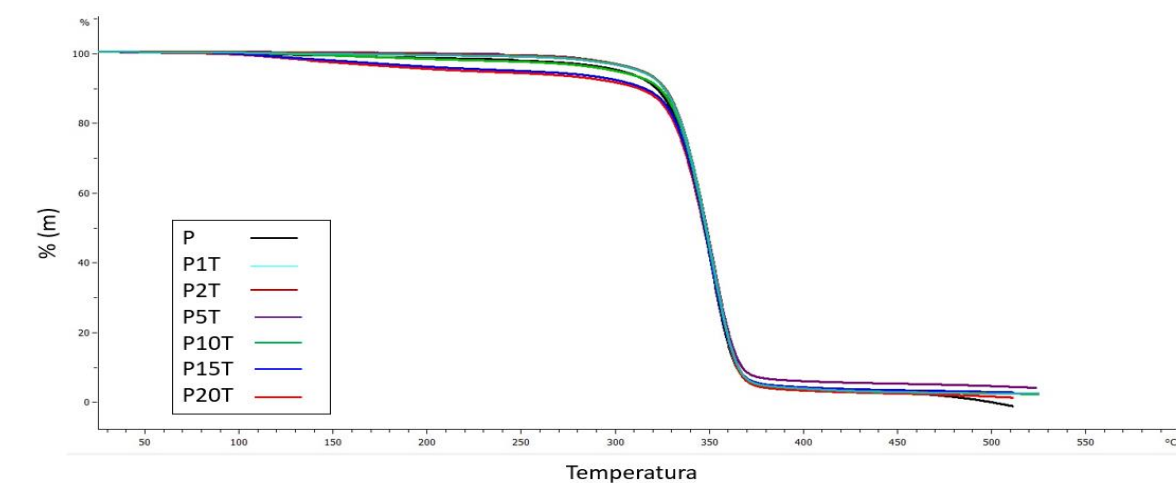
Analisando a Tabela 6, observa-se que as demais propriedades térmicas permaneceram praticamente inalteradas, sem alterações significantes.

4.6.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A perda de massa dos filmes com o aumento da temperatura de PBAT puro e aditivados com óleo essencial de tomilho bem como a estabilidade estão representados nas Figuras 13 e 14 através das curvas termogravimétricas da TGA e DTG, respectivamente. Observou-se uma degradação total em único estágio entre aproximadamente 380°C e 420°C. A adição de 15% e 20% de óleo de tomilho no PBAT

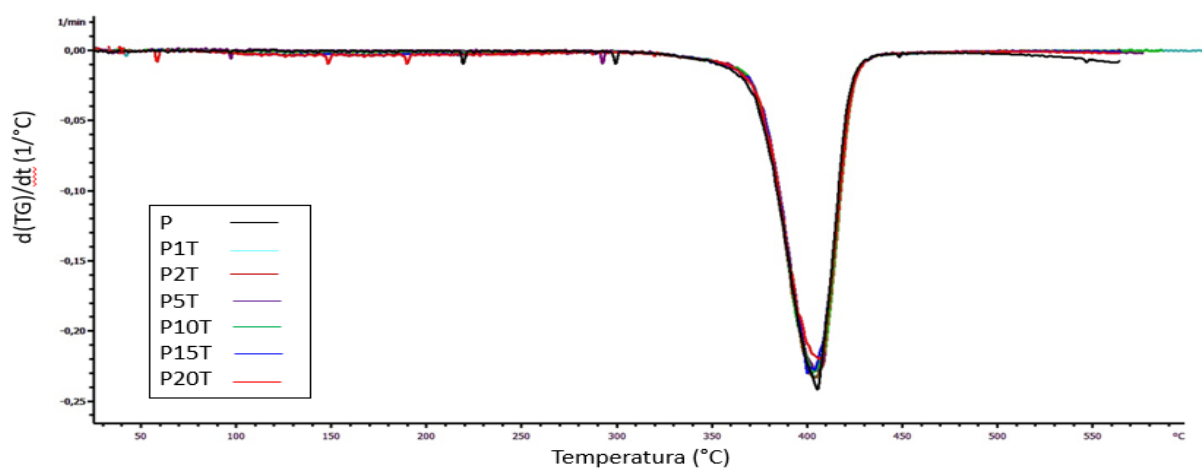
causou uma perda de massa inicial maior comparando ao filme de PBAT puro justificado pelo fato de ocorrer a evaporação deste óleo, composto por vários componentes voláteis, que ocorre a partir de 74°C, com um pico em 170°C (GHAHFAROKHI *et al.*, 2016). Todos filmes apresentaram perda de massa por volta de 90%. (ZEHETMEYER, 2016).

Figura 13 - Curvas de TGA para os filmes de PBAT puro (P) e ativados com óleo essencial de tomilho com 1, 2, 5, 10, 15, 20 % m/m de óleo de tomilho respectivamente)



Fonte: Autora (2021).

Figura 14 - Derivada das curvas de TGA para os filmes de PBAT puro (P) e ativados com óleo essencial de tomilho com 1, 2, 5, 10, 15, 20 % de óleo de tomilho respectivamente



Fonte: Autora (2021).

Na Tabela 7 estão apresentadas as temperaturas iniciais e finais do processo de degradação bem como a temperatura máxima para cada filme representados na Figura 12 as quais foram similares ao filme de PBAT puro e PBAT aditivado em todas as concentrações de óleo de tomilho. Guo *et al.* (2015) verificaram que as amostras PBAT puras apresentaram estabilidade até 350 °C, temperatura no qual houve uma perda de massa notável que foi corroborada pela curva DTG a 400 ° C. Este evento é atribuível à degradação térmica de macromoléculas de PBAT, o mesmo resultado aproximado obtido por essa pesquisa.

Tabela 6- Parâmetros da TGA dos filmes

Filmes	T _{on}	T _{off}	T _{máx}
PBAT	387,6	422,5	410,8
PBAT/1% OET	387,0	424,4	409,8
PBAT/2% OET	387,0	424,4	409,2
PBAT/5% OET	386,3	424,3	410,0
PBAT/10% OET	386,5	424,3	407,6
PBAT/15% OET	387,0	423,2	404,5
PBAT/20% OET	387,0	424,5	411,6

Fonte: Autora (2021).

Observou-se que as amostras aditivadas seguem o mesmo padrão de degradação térmica da amostra de PBAT puro. Segundo Pellisari (2009), os óleos essenciais quando adicionados em filmes, tornam os mesmos mais flexíveis, sem modificar a estabilidade térmica. Signori *et al.* 2009 relataram que não há modificação significativa na cadeia do PBAT durante o processamento até 200°C. Alguns autores reportaram que o comportamento térmico do PBAT é composta de duas etapas que pode ser devido à decomposição máxima do copoliéster alifático ácido adípico e 1,4-butanodiol) em 340° e 400°C e a decomposição máxima de copoliéster aromático (ácido tereftálico) a 520° e

600°C (AL-ITRY *et al.* 2012; KIJCHAVENGKUL *et al.* 2008; NOR AZOWA *et al.*, 2011; SIGNORI *et al.* 2009).

5 CONCLUSÃO

O óleo essencial de tomilho estudado nesse trabalho apresentou o-cimeno, timol e carvacrol como componentes majoritários. Esse óleo apresentou atividade antimicrobiana frente as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

Os filmes de PBAT incorporados com óleo essencial de tomilho foram desenvolvidos e produzidos com sucesso a partir da técnica de *solution casting*.

A porcentagem de óleo essencial de tomilho adicionada ao PBAT não ocasionou modificações relevantes nas temperaturas de fusão e cristalização, bem como na entalpia de fusão e o grau de cristalização quando comparados ao polímero puro avaliados pela DSC.

Na análise termogravimétrica, os filmes aditivados apresentaram comportamento similar ao filme de PBAT puro, demonstrando que a adição de óleo não comprometeu a estabilidade e a degradação térmica dos filmes.

No ensaio mecânico, a incorporação de óleo de tomilho reduziu a tensão máxima dos filmes, sendo mais pronunciada nos filmes aditivados com 15% m/m de óleo devido a fragilidade das interações polímero - óleo. Com relação ao módulo elástico, o filme com 20% m/m de óleo de tomilho mostrou-se mais flexível de todos, devido ao efeito plastificante do carvacrol, presente no óleo.

Diante desses resultados, o óleo de tomilho mostrou-se um agente natural em potencial para ser utilizado como embalagens ativas antimicrobianas. Como sugestão para pesquisas futuras, em continuidade a este trabalho, sugere-se: avaliar a atividade antimicrobiana dos filmes aditivados; avaliar a estabilidade térmica dos filmes durante o processamento; avaliar a permeabilidade a gás e a vapor d'água; analisar as amostras com a microscopia eletrônica de varredura (MEV) para compreender a estrutura e morfologia dos filmes e também preparar os filmes através da técnica de extrusão.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-ESTRADA, B.A., GUTIÉRREZ-URIBE, J.A., SERNA-SALDÍVAR, S.O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, v. 152, p. 46-55, 2014.
- Agentes antimicrobianos químicos e naturais. **Food ingredients Brasil**, nº 15, 2010.
- AL-HAMADANI, Y.A.J.; JUN ,B.M.; YOON, M.; TAHERI-QAZVINI N.; SNYDER, S.A.; JANG , M.; HEO , J.; YOON, Y. Applications of MXene-based membranes in water purification: a review. **Chemosphere**, v. 254, p. 126821, 2020.
- AL-ITRY, R.; LAMNAWAR, K.; MAAZOUZ, A. Improvement of thermal stability, rheological and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy. **Polymer Degradation and Stability**, v. 97, p.1898-1914, 2012.
- ALTAN, A., AYTAC, Z., UYAR, T. Carvacrol loaded electrospunfibrous films from zein and poly(lactic acid) for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v.81, p.48–59, 2018.
- ALVES, R.S. **Avaliação da atividade antimicrobiana entre óleos essenciais obtidos de folhas de manjeriço, pimenta de macaco e tomilho patogênicos veiculados por alimentos**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- ANDRADE, M. F.;SILVA, I.D.L.; SILVA, G.A.; CAVALCANTE, P.V.D.; SILVA, F.T;ALMEIDA, Y.M.B.;; VINHAS, G.M.; CARVALHO, L.H. Active Packaging Using Orange Oil Incorporated into PBAT Biodegradable Films. **LWT - Food Science and Technology** . v.125 , p 109-148, 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D883-00. **Standart terminology relating of plastics**. New York, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D882: **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. New York, 2012.
- ARDUSSO, M. et al. COVID-19 pandemic repercussions on plastic and antiviral polymeric

textile causing pollution on beaches and coasts of South America. **Science of the Total Environment**, v. 763, p. 144365, 2021.

ARRUDA, L.C. **Efeito do extensor de cadeia na morfologia, propriedades reológicas e mecânicas de filme tubular de blendas de poli (ácido láctico) PLA com poli(butileno-adipato-co-tereftalato) PBAT**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Sergipe, 2015.

ATARÉS, L., CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v.48, p.51–62, 2016.

MONTENEGRO, M.; VIANNA, M.; TELES, D.B.; **Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**.1ª ed., Rio de Janeiro, Fundação Heirich Böll, 2020.

BASF. – Production Information Ecoflex F BX 7011, 2009. Disponível em: <www.basf.de/ecoflex> Acesso em: 10 abr 2020.

BAUER, A. W.; KIRBY, W. M.; SHERRIS, J. C.; TURCK, M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. **American Journal of Clinical Pathology**, v. 45, p. 493 - 496, 1966.

BENAVIDES, S. A.; VILLALOBOS-CARVAJAL, R. B.; Reyes, J. E. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 110, p. 232–239, 2012.

BHEEMANENI, G.; SARAVANA, S.; KANDASWAMY, R. Processing and Characterization of Poly (butylene adipate-coterephthalate) / Wollastonite Biocomposites for Medical Applications. **Materials Today: Proceedings**, v.5, p. 1807–1816, 2018.

BONILLA, J. et al. Biodegradability in aquatic system of thin materials based on chitosan, PBAT and HDPE polymers: Respirometric and physical-chemical analysis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 1399–1412, 2020.

BORGES, A.M.; PEREIRA, J.; CARDOSO, M.G.; ALVES, J.A.; LUCENA, E.M.P. Determinação de óleos essenciais de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.), orégano

(*Origanum vulgare* L.) e tomilho (*Thymus vulgaris* L.) **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v.14, n.4, p.656-665, 2012.

BRAGA, L. R., PERES, L. Novas tendências em embalagens para alimentos: Revisão. **B. Ceppa**, Curitiba, v.28, n.1, p.69-84.2010.

BRANDELERO, R.P.H. **Filmes biodegradáveis de amido e poli (butileno adipato co-tereftalato) PBAT adicionado de surfactante e óleo de soja**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência de alimentos). Universidade Estadual de Londrina., Londrina, 2010.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. **International Journal of Food Microbiology**, v.94, p.223–253, 2004.

CAMANI, P.H.; SOUZA, A.G; BARBOSA, R.F.S.; ZANINI, N.C; MULINARI, D.R.; ROSA, D.S. Comprehensive insight into surfactant modified-PBAT physico-chemical and biodegradability. **Chemosphere**, v. 269, p. 128708, 2021.

CARDOSO, L.G; SANTOS, J.C.P.; CAMILLOTO, G.P.; MIRANDA, A.L.; DRUZIAN, J.I. e GUIMARÃES, A.G. Development of active films poly (butylene adipate co-terephthalate) – PBAT incorporated with oregano essential oil and application in fish fillet preservation. **Industrial Crops & Products** v.108, p.388–397, 2017.

CARSON, C.F., RILEY, T.V. Antimicrobial activity of the major components of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. **Journal of Applied Bacteriology**, v.78, p. 264 – 269, 1995.

CARVALHO, L.H; FILHO, A.A.N.; MORAIS, D.D.S. Preparation and characterization of extruded PBAT/organoclay films. **Materials Today: Proceedings**, v. 8, p. 812–819, 2019.

CHEN, W., QI, C., LI, Y., TAO, H. The degradation investigation of biodegradable PLA/PBAT blend: Thermal stability, mechanical properties and PALS analysis. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 180, 109239, 2021.

COSENTINO, S.; TUBEROSO, C.I.G.; PISANO, B.; SATTA, M.; MASCIA, V.; ARZEDI, E.; PALMAS, F. In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. **Letters in Applied Microbiology**, v. 29, p. 130–135, 1999.

COSTA, A. R. M.; ALMEIDA, T. G.; SILVA, S. M. L.; CARVALHO, L. H.; PBAT/organoclay composite films: preparation and properties. **Polymer Bulletin**, v. 06, p. 1 – 14, 2017.

COSTA, C.Z.; ALBUQUERQUE, M.C.C.; BRUM, M.C; CASTRO, A.M. Degradação microbológica e enzimática de polímeros: uma revisão. **Quím. Nova**, v.38, p. 259-267, 2015.

CUNHA, A. P., ROQUE, O. R., NOGUEIRA, M. T. **Plantas aromáticas e óleos essenciais – Composição e aplicações**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 2012.

CUTILLAS, A.B., CARRASCO, A., MARTINEZ-GUTIERREZ, R., TOMAS, V. TUDELA, J. Thyme essential oils from Spain: Aromatic profile ascertained by GC-MS, and their antioxidant, anti-lipoxygenase and antimicrobial activities. **J. Food Drug Anal**, v. 26, p. 529-544, 2018.

CUI, H., MA, C., LI, C., LIN, L. Enhancing the antibacterial activity of thyme oil against Salmonella on eggshell by plasma-assisted process. **Food Control**, v.70, p. 83–190, 2016.

DAMMAK, M.; FOURATI, Y.; TARRÉS, Q.; DELGADO-AGUILAR, M.; MUTJÉ, P.; BOUFI, S. Blends of PBAT with plasticized starch for packaging applications: Mechanical properties, rheological behaviour and biodegradability. **Industrial Crops and Products**, v.144, p. 112061, 2021.

DE OLIVEIRA MONTESCHIO, J., DE SOUZA, K. A., VITAL, A. C. P., GUERRERO, A., VALERO, M. V., KEMPINSKI, E. M. B. C., et al Clove and rosemary essential oils and encapsuled active principles (eugenol, thymol and vanillin blend) on meat quality of feedlot-finished heifers. **Meat Science**, v. 130, p. 50-57, 2017.

DE SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Teaching experiment of chemometrics for exploratory analysis of edible vegetable oils by mid infrared spectroscopy and principal component analysis: A tutorial, part I. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 223–229, 2012.

EL HALAL, S.L.L.; COLUSSI, R. INOVAÇÕES EM EMBALAGENS PARA ALIMENTOS. **Labgrãos Magazine** – v.1, n.1, 2017

EUROPEAN STANDARDIZATION COMMITTEE. EN 13432. **Packaging: requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation**. Belgium, 2000.

FECHINE, G.J.M. **Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial** [online]. São Paulo: Editora Mackenzie, 2013.

FENG, S.; WU, D.; LIU H.; CHEN, C.; LIU, J.; YAO, Z.; XU, J.; ZHANG, M. Crystallization and creep of the graphite nanosheets based poly(butylene adipate-co-terephthalate) biocomposites. **Thermochimica Acta**, v. 587, p. 72–80, 2014.

GEYER, R., JAMBECK, J.R., LAW, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Sci. Adv.** 2017.

GHAHFAROKHI, M. G.; BARZEGAR, M.; SAHARI, M. A.; AZIZI, M. H. Enhancement of thermal stability and antioxidant activity of thyme essential oil by encapsulation in Chitosan Nanoparticles. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 18, p. 1781–1792, 2016.

GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS. Disponível em <<https://www.strategyr.com/market-report-bioplastics-and-biopolymers-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp>> Acesso em 15/11/2021.

GUO, G.; ZHANG, C.; DU, Z.; ZOU, W.; TIAN, H.; XIANG, A.; LI, H. Structure and property of biodegradable soy protein isolate/PBAT blends. **Industrial Crops and Products**. v. 74, p. 731-736, 2015.

HENNINGSSON, S., HYDE, K., SMITH, A., CAMPBELL, M. J. The value of resource efficiency in the food industry: a waste minimisation project in East Anglia UK. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 505-512, 2004.

HERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; CORREA-PACHECO, Z.N.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; ZAVALA-AVEJAR, L.; BENÍTEZ-JIMÉNEZ, J.J.; SABINO-GUTIÉRREZ, M.A.; ORTEGA-GUDIÑO, P. Bio-based composite fibers from pine essential oil and PLA/PBAT polymer blend. Morphological, physicochemical, thermal and mechanical characterization. **Materials Chemistry and Physics**, v.234, p.345-353, 2019.

HOLLAND, R.D.; WILKES, J.G.; COOPER, W.M.; ALUSTA, P.; WILLIAMS, A.; PEARCE, B.; BEAUDOIN, M.; BUZATU, D. Thymol treatment of bacteria prior to matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometric analysis aids in identifying certain bacteria at the subspecies level. **Rapid Commun. Mass Spectrom**, 28, 2617–2626, 2014

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**, v. 3, n.12, p. 1-24, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9235 **Aromatic natural raw materials** – Vocabulary. Genebra, 1997.

JACKIEMIU, E.A.R; SCHEER, A.P.; OLIVEIRA, J.S.; CÔCCO, L.C.; YAMAMOTO, C.I.; DESCHAMPS, C. Estudo da composição e do rendimento do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris* L.) **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 683-688, 2010.

JIAN, J.; XIANGBIN, Z.; XIANBO, H. An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate)–PBAT. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 3, n. 1, p. 19–26, 2020.

JORDAN, M.J., MARTINEZ, R.M., GOODNER, K.L., BALDWIN, E.A., SOTOMAYOR, J.A., Seasonal variation of *Thymus hyemalis* Lange and Spanish *Thymus vulgaris* L. essential oils composition. **Ind. Crops Prod.** 24, 253–263, 2006.

JOUKI, M.; MORTAZAVI, S.A.; YAZDI, F.T.; KOOCHEKI, A. Characterization of antioxidant–antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 537 – 546, 2014.

KALITA, N.K.; BHASNEY, S.M.; MUDENUR, C.; KALAMDHAD, A.; KATIYARA, V. End-of-life evaluation and biodegradation of Poly(lactic acid) (PLA)/Polycaprolactone (PCL)/Microcrystalline cellulose (MCC) polyblends under composting conditions. **Chemosphere**, v. 247, 125875, 2020.

KIJCHAVENGKUL, T.; AURAS, R.; RUBINO, M. Measuring gel content of aromatic polyesters using FTIR spectrophotometry and DSC. **Polymer Testing**. v.27, p. 55-60, 2008.

LABUZA, T.P., BREENE, W. M. Applications of “active packaging” for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. **Journal of Food Processing and Preservation**. v.13. p. 1-69, 1989.

LAMBERT, R.J.W.; SKANDAMIS, P.N.; COOTE, P.J. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. **J. Appl. Microbiol.**, v.91, p.453-462, 2001.

LLANA-RUIZ-CABELLO, M.; PICHARDO, S.; MAISANABA, S.; PUERTO, M.; PRIETO, A.I.; PRAENA, D.G.; JOS, A.; CAMÉAN, A.M. In vitro toxicological evaluation of essential oils and their main compounds used in active food packaging: a review. **Food Chem. Toxicol.**, v. 81, p. 9-27, 2015.

LEMOS, M.F.; PACHECO, H. P.; GUIMARÃES, A.C.; FRONZA, M.; ENDRINGER, D.C.; SCHERER, R. Seasonal variation affects the composition and antibacterial and antioxidant activities of *Thymus vulgaris*. **Ind. Crops Prod.** v. 95, p.543-548, 2017.

LI, G.; SHANKAR, S.; RHIM, J.W.; OH, B.Y. Effects of preparation method on properties of poly (butylene adipate-co-terephthalate) films. **Food Sci Biotechnol** v.24, n.5, p. 1679-1685, 2015.

LI, X. TAN, D.; XIE, L., SUN, H.; SUN, S. ZHONG, G. REN, P. Effect of surface property of halloysite on the crystallization behavior of PBAT. **Applied Clay Science**. v.157, p. 218-226, 2018.

LI, M.; JIA, Y.; SHEN, X.; TAN, T.S.Z.; ZHUANG, W.; ZHAO, G.; ZHU, C.; YIN, H. Investigation into lignin modified PBAT/thermoplastic starch composites: Thermal, mechanical, rheological and water absorption properties. **Industrial Crops and Products**, v. 171, p. 113916, 2021.

LIN, L.; ZHU, Y.; CUI, H. Electrospun thyme essential oil/gelatin nanofibers for active packaging against *Campylobacter jejuni* in chicken. **LWT - Food Science and Technology**, v.97, p. 711–718, 2018.

LONDRINA, E. D. E. Livros Grátis. 2006.

MA, Y.; ZHOU, H.; JIANG,X. POLACZYK,P.; XIAO,R. ZHANG, M.; HUANG, B. The utilization of waste plastics in asphalt pavements: A review. **Cleaner Materials**, v. 2, 100031, 2021.

MITTAL, A.; GARG, S.; BAJPAI, S. Fabrication and characteristics of poly (vinyl alcohol)-starch-cellulosic material based biodegradable composite film for packaging application. **Materials Today: Proceedings**, v. 21, p. 1577–1582, 2020.

MONDAL, D.; BHOWMICK, B. MAITY, D.; MASUD, R; RANA, D. RANGARAJAN, V; SEN, R.; CHATTOPADHYAY. Investigation on Sodium Benzoate Release from Poly (Butylene Adipate-Co Terephthalate)/ Organoclay/Sodium Benzoate Based Nanocomposite Film and Their Antimicrobial Activity. **Journal of Food Science**, v. 80, n.3, p E602-E609, 2015

MOURA, M. R.; LOREVICE, M. V.; MATTOSO, L. H. C.; ZUCOLOTTO, V. Highly Stable, Edible Cellulose Films Incorporating Chitosan Nanoparticles. **Journal Food Science**. v. 76, p. 25 – 29, 2011.

MULLER, R.J., WITT, U., RANTZE, E., DECKWER, W.D. Architecture of containing biodegradable copolyesters aromatic constituents. **Polymer Degradation and Stability** v. 59, p.203-208, 1998.

NOR AZOWA, I; NAZRI, M.R; WAN ZIN WAN, Y.; JAMALIAH, S.A. Study of poly vinyl chloride / poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends. **Journal of Polymer Research**. v. 18, p. 891–896, 2011.

OBERLINTNER, A., BANJIC, M., KALCÍKOVA, G., LIKOZAR, B., NOVAK, U. Biodegradability study of active chitosan biopolymer films enriched with Quercus polyphenol extract in diferente soil types. **Environmental Technology & Innovation**, v.21, 101318, 2021.

NOSTRO, A.; PAPALIA, T.; Antimicrobial Activity of Carvacrol: Current Progress and Future Prospectives. *Recent Pat. Antiinfect. Drug Discov*, v.7, p. 28-35, 2012.

PELLISARI, F. M. **Produção e caracterização de filmes de amido de mandioca, quitosa e glicerol com incorporação de óleo essencial de orégano**. Tese, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

PELLICANO, M.; PACHEKOSKI, W.; AGNELLI, J. A.M. Influência da adição de amido de mandioca na biodegradação da blenda polimérica PHBV/Ecoflex. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, 3, 212-217, 2009.

PEREIRA, A.I.S.; PEREIRA, A.G.S.; SOBRINHO, O.P.L.; CATANHEDE, E.K.P.; SIQUEIRA, L. F.S. Atividade antimicrobiana no combate as larvas do mosquito *Aedes aegypti*: Homogeneização dos óleos essenciais do linalol e eugenol. **Educ. quím.**, v.25,n.4, p. 446–449, 2014.

PEREIRA, R. B.; MORALES, A. R. Estudo do comportamento térmico e mecânico do PLA modificado com aditivo nucleante e modificador de impacto. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 2, p. 198–202, 2014.

PERSICO, P. AMBROGI,V. CARFAGNA,C. CERRUTI,P. FERROCINO,I. MAURIELLO,G. Nanocomposite Polymer Films Containing Carvacrol for Antimicrobial Active Packaging. **Polymer engineering and Science**. v.49, n.7, p. 1447-1455, 2009.

PIRBALOUTI, A.G., HASHEMI, M., GHANHFAROKHI, F.T. Essential oil and chemical compositions of wild and cultivated *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. **Ind. Crops Prod**, v. 48, p. 43–48, 2013.

REGNIER, T., COMBRINCK, S., DU PLOOY, W. Essential oils and other plant extracts as food preservatives. In **Progress in Food Preservation**. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, p.539-579, 2012.

ROMANENKO, E. P.; TKACHEV, A. V. Identification by GC-MS of cymene isomers and 3,7,7-trimethylcyclohepta-1,3,5-triene in essential oils. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 42, n. 6, p. 699–701, nov. 2006.

SADEKUZZAMAN, M., MIZAN, M. F. R., KIM, H.S., YANG, S., HA, S.D. Activity of thyme and tea tree essential oils against selected foodborne pathogens in biofilms on abiotic surfaces. **LWT**, v. 89, p. 134–139, 2018.

SCHAWARK, F. Influence factors for scenario analysis for new environmental technologies—the case for biopolymer technology. **Technology Journal of Cleaner Production**, v. 17, 7, 644-652, 2009.

SHARMA, S.; BARKAUSKAITE, S.; JAISWAL, A.K.; JAISWAL, S. Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry**, v. 343, 128403, 2021.

SHARMA, P.; AHUJA, A.; IZRAYEEL, A.N.D.; SAMYN, P.; RASTOGI, V.K. Physicochemical and thermal characterization of poly (3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) films incorporating thyme essential oil for active packaging of white bread. **Food Control**, v.133, p.108688, 2022.

SHEMESH, R.; KREPKER, M.; GOLDMAN, D.; DANIN-POLEG, Y.; KASHI, Y.; NITZAN, N.; VAXMAN, A.; SEGAL, E. Antibacterial and antifungal LDPE films for active packaging, **Polym. Adv. Technol.**, v. 26, p.110–116, 2015.

SIGNORI, F.; COLTELLI, M. B., BRONCO, S. Thermal degradation of poly(lactic acid) (PLA) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) and their blends upon melt processing. **Polymer Degradation and Stability**, v. 94, p. 74–82, 2009.

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 and Emerging Technologies**, v. 26, p. 406–414, 2014.

THE UNSCRAMBLE ® V 9.7. Copyright© 1986 – 2007 **CARMO Software** AS. All Rights Reserved.

VALDERRAMA, A. C. S.; ROJAS, G. C. de. Traceability of Active Compounds of Essential Oils in Antimicrobial Food Packaging Using a Chemometric Method by ATR-FTIR. **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 08, n. 11, p. 726–741, 2017.

VALERIANO, C.; PICCOLI, R.H.; CARDOSO, M.G.; ALVES, E. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais em bactérias patogênicas de origem alimentar. **Rev. Bras. Plantas Med.** v.14, p.57-67, 2012

ULTEE, A.; BENNINK, M.H.J.; MOEZELAAR, R. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.68, p.1561-1568, 2002.

WANG H., WEI D., ZHENG A., XIAO H. Soil burial biodegradation of antimicrobial biodegradable PBAT films. **Polymer Degradation and Stability** v.116 p. 14-22, 2015.

ZHANG, Y., ZHOUA, L.,ZHANG, C.,SHOW, P. L. , DU, A., FU, J.C., ASHOKKUMAR, V. Preparation and characterization of curdlan/polyvinyl alcohol/ thyme essential oil blending film and its application to chilled meat preservation. **Carbohydrate Polymers** v. 247,116670, 2020.

ZEHETMEYER, G. **Desenvolvimento e caracterização de embalagens ativas compostas de PBAT com incorporação de nisina**. 2016. 200p. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ZHONG, Y. et al. Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 3, n. 1, p. 27–35, 1 jan. 2020.

ZUO, L.Z; LI, H.X; LIN, L.; SUN, Y.X. DIAO, Z.H; LIU, S. ZHANG, Z.Y; XU, X.R. Sorption and desorption of phenanthrene on biodegradable poly (butylene adipate co-terephthalate) microplastics. **Chemosphere**, v.215, p. 25-32, 2019.

APÊNDICE A- FICHA TÉCNICA DO PBAT

**Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**

página: 1/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
Data / revisada: 09.05.2016
Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS_GEN_BR/PT)
Data de Impressão 30.09.2016

1. Identificação do produto e da empresa**ecoflex® F Blend C1200**

Uso recomendado: somente para processos industriais

Empresa:
BASF S.A.
Av. Nações Unidas, 14.171
04794-000 Morumbi - São Paulo - SP, BRASIL
Telefone: +55 11 2039-2273
Número de fax: +55 11 2039-3131
Endereço de email: ehs-brasil@basf.com

Informação em caso de emergência:
Telefone: 0800-0112273 / +55 12 3128-1590

2. Identificação de perigos**Elementos do rótulo**De acordo com os critérios do GHS (ONU)

O produto não requer rotulagem de perigo de acordo com os critérios do GHS.

Conforme a diretiva 67/548/CE ou 1999/45/CE

De acordo com os Regulamentos da UE, o produto não é classificado como perigoso.

Classificação da substância ou misturaDe acordo com os critérios do GHS (ONU)

O produto não requer classificação de acordo com os critérios do GHS.

Outros perigos

página: 2/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

Data / revisada: 09.05.2016

Versão: 5.0

Produto: ecoflex® F Blend C1200

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão: 30.09.2016

De acordo com os critérios do GHS (ONU)

Outros Perigos (GHS):

Nenhum risco específico conhecido, quando respeitadas as prescrições/ indicações de armazenamento e manuseio.

Avaliação PBT / vPvB:

O produto não satisfaz os critérios de PBT (persistente / bioacumulável / tóxico) e vPvB (muito Persistente / muito Bioacumulativo).

3. Composição/informação sobre os componentes**Mistura**Caracterização química

Preparação baseada em: poliéster, modificado(a)s

Ingredientes perigosos (GHS)

De acordo com os critérios do GHS (ONU)

tetrahydrofurano

número-CAS: 109-99-9

Número CE: 203-726-8

Número INDEX: 603-025-00-0

Flam. Liq.: Cat. 2

Acute Tox.: Cat. 4 (oral)

Eye Dam./Irrit.: Cat. 1

Carc.: Cat. 2

STOT SE: Cat. 3 (sonolência e vertigens)

STOT SE: Cat. 3 (irritante para o sistema respiratório)

H225, H318, H302, H336, H335, H351

Não é considerado um ingrediente que contribui para o perigo de acordo como GHS, porém, apresenta limite de exposição ocupacional (ver capítulo 8)

estireno

página: 3/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

Data / revisada: 09.05.2016

Versão: 5.0

Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Número-CAS: 100-42-5

Asp. Tox.: Cat. 1

Flam. Liq.: Cat. 3

Acute Tox.: Cat. 4 (Inalação-vapor)

Skin Corr./Irrit.: Cat. 2

Eye Dam./Irrit.: Cat. 2A

Repr.: Cat. 2 (feto)

STOT SE: Cat. 3 (irritante para o sistema respiratório)

STOT RE (Aparelho auditivo): Cat. 1

Aquatic Acute: Cat. 2

Aquatic Chronic: Cat. 3

H226, H319, H315, H332, H304, H335, H361, H372, H412, H401

Não é considerado um ingrediente que contribui para o perigo de acordo como GHS, porém, apresenta limite de exposição ocupacional (ver capítulo 8)

4. Medidas de primeiros socorros

Indicações gerais:

Retirar a roupa contaminada.

Após Inalação:

Em caso de inalação de produtos em decomposição, levar a vítima para um local arejado e colocá-la em repouso. Procurar assistência médica. Em caso de indisposição após a inalação de pó: respirar ar fresco e procurar auxílio médico.

Após contato com a pele:

Áreas atingidas pelo produto fundido/ derretido, devem ser arrefecidas imediatamente com água fria. Queimaduras provocadas por material fundido têm que ser tratadas clinicamente.

Após contato com os olhos:

Se atingir os olhos, lavar imediatamente com muita água durante 15 minutos. Em caso de irritação consultar o médico.

Após ingestão:

Enxaguar a boca e beber, posteriormente, água em abundância. Se ocorrerem dificuldades: Procurar assistência médica. Nunca induzir o vômito ou dar nada pela boca se a vítima estiver inconsciente ou com convulsões.

Indicações para o médico:

Sintomas: Não se conhece nenhuma reação particular do corpo humano ao produto.

Perigos: Nenhum perigo é esperado sob o uso pretendido e manejo adequado.

Tratamento: Tratamento sintomático (descontaminação, funções vitais), nenhum antídoto específico conhecido.

5. Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção apropriados:

água pulverizada, espuma, pó extintor, dióxido de carbono

página: 4/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

Data / revisada: 09.05.2016

Versão: 5.0

Produto: ecoflex® F Blend C1200

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Meios de extinção não apropriados:

jato de água

Perigos específicos:

monóxido de carbono, dióxido de carbono, tetrahydrofurano, fumos, negro de fumo, vapores nocivos para a saúde

A formação de outros produtos de decomposição e oxidação depende das circunstâncias do Incêndio. Em determinadas condições de combustão, não se exclui vestígios de outras substâncias tóxicas.

Indicações adicionais:

O perigo depende dos produtos em combustão e das condições do Incêndio. Possível formação de gases/vapores tóxicos em caso de Incêndio. Eliminar os resíduos do Incêndio e a água de extinção contaminada, observando a legislação local oficial.

Equipamento especial de proteção para os bombeiros:

Usar um equipamento de respiração autónomo.

6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

Precauções pessoais, equipamentos de proteção e procedimentos de emergência

Precauções pessoais:

Evitar a inalação. Manter afastadas fontes de ignição.

Precauções ao meio ambiente:

Não são necessárias medidas especiais.

Métodos de limpeza:

Varrer / remover com pá. Evitar formação de poeira. Assegurar ventilação adequada. Eliminar o material recolhido de acordo com as normas.

Outras informações relevantes: Risco de queda devido à presença do produto vazado/ derramado no piso, que se torna escorregadio.

7. Manuseio e armazenamento

Manuseio

Medidas técnicas:

Evitar que a massa fundida atinja a pele. Evitar a inalação de poeiras/névoas/vapores. Chuveiros de emergência e Lava-olhos devem ser de fácil acesso. Manusear de acordo com as normas de segurança para produtos químicos.

Prevenção de Incêndio e explosão:

Evitar a formação de poeira. O pó pode formar uma mistura explosiva com o ar. Providenciar aspiração. Durante a trituração (moagem), há que ter em conta as medidas de segurança sobre perigos de explosão por formação de poeiras.

página: 5/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
 Data / revisada: 09.05.2016
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Precauções/ Orientações para manuseio seguro:

Providenciar uma aspiração/ventilação adequada junto das máquinas. Durante o trabalho nos sistemas de exaustão devem ser tomadas precauções especiais de segurança, pois substâncias perigosas podem acumular-se nos resíduos do sistema de exaustão. Evitar formação de poeira/acúmulo de poeira. Manusear de acordo com as normas de segurança para produtos químicos.

Medidas de higiene:

Evitar a inalação de poeiras. As mãos e o rosto devem ser lavados antes dos intervalos e no final do turno. Consulte a empresa de medidas de higiene para recomendações sobre testes de exposição e equipamentos de proteção individual.

Armazenamento

Condições de armazenamento adequadas: Proteger contra a umidade. Evitar calor extremo. Evitar todas as fontes de ignição: calor, faíscas, chama acesa. O produto deve ser armazenado de acordo com os requisitos do Regulamento (CE) n.º 2023/2006 Evitar contaminação com outras substâncias. Evitar o armazenamento com outras substâncias, especialmente com substâncias perigosas.

8. Controle de exposição e proteção individual

Parâmetros de controle específicos

Limites de exposição ocupacional:

100-42-5: estireno

Valor TWA 20 ppm (ACGIH)

Valor STEL 40 ppm (ACGIH)

Valor TWA 328 mg/m³ ; 78 ppm (NR15)

Valor TWA 328 mg/m³ ; 78 ppm (NR15)

Fonte de valor(es) limite: Brasil NR - 15, Port. 3214/78, anexo 11

Valor STEL 40 ppm (ACGIH)

Valor TWA 20 ppm (ACGIH)

Valor TWA 328 mg/m³ ; 78 ppm (NR15)

Fonte de valor(es) limite: Brasil NR - 15, Port. 3214/78, anexo 11

109-99-9: tetrahidrofurano

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
 Data / revisada: 09.05.2016
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS_GEN_BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Valor STEL 100 ppm (ACGIH)

Efeito sobre a pele (ACGIH)

A substância pode ser absorvida pela pele.

Valor TWA 50 ppm (ACGIH)

Valor TWA 460 mg/m³ ; 156 ppm (NR15)

Fonte de valor(es) limite: Brasil NR - 15, Port. 3214/78, anexo 11

Equipamento de proteção individual

Proteção respiratória:

Proteção respiratória no caso de formação de poeira. Filtro de baixa capacidade de retenção para partículas sólidas (por exemplo: EN 143 ou 145, Tipo P1 ou FFP1).

Proteção das mãos:

Usar luvas de segurança para proteger do calor quando manusear massas fundidas (ex.: têxtil ou couro)

Proteção dos olhos:

Óculos de segurança com anteparos laterais (óculos com armação) (EN 166)

Proteção da pele e do corpo:

A proteção do corpo deve ser escolhida dependendo da atividade e possível exposição, por exemplo: avental, botas de proteção, roupa de proteção química (de acordo com a EN 14605 em caso de salpicos ou com a EN ISO 13982 em caso de formação de pó).

9. Propriedades físicas e químicas

Estado físico: sólido
 (20 °C, 1.013 hPa)
 Forma: granulado
 Cor: Natural
 Odor: odor característico leve, específico do produto
 Limiar de odor: não determinado

Valor do pH: não aplicável

Temperaturas específicas ou faixas de temperaturas nas quais ocorrem mudanças de estado físico
 Intervalo de ebulição:

Não se pode determinar.

Decomposição da
 substância/produto

Intervalo de fusão: 100 - 120 °C (DIN 53736)

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
 Data / revisada: 09.05.2016
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5

(30516354/SDS GEN BR/P
 Data de Impressão 30.09.20

Taxa de evaporação:

não aplicável O produto é um sólido
 não volátil.

Ponto de fulgor:

> 260 °C

(ASTM D1929)

Temperatura de autoignição:

> 400 °C

(ASTM D1929)

Limite de explosividade superior:

Como resultado da nossa
 experiência com este produto e
 nosso conhecimento de sua
 composição, não é esperado
 nenhum perigo se o produto for
 utilizado adequadamente e de
 acordo com o uso previsto.

Limite de explosividade inferior:

Como resultado da nossa
 experiência com este produto e
 nosso conhecimento de sua
 composição, não é esperado
 nenhum perigo se o produto for
 utilizado adequadamente e de
 acordo com o uso previsto.

Inflamabilidade:

não é altamente inflamável

Autoignição:

não apresenta autoignição

Decomposição térmica:

> 260 °C

Para evitar decomposição térmica, não sobreaquecer.

Capacidade de auto-aquecimento:

Não se trata de uma
 substância auto-inflamável.

Perigo de explosão:

não explosivo

Características comburentes:

sem propagação de fogo

Pressão de vapor:

não aplicável

Densidade relativa do vapor (ar):

não aplicável, O produto é um sólido
 não volátil.

Densidade:aprox. 0,8 - 1,4 g/cm³

(20 °C, 1.013 hPa)

Densidade relativa:

aprox. 0,8 - 1,4

(20 °C, 1.013 hPa)

Densidade aparente:aprox. 500 - 1.000 kg/m³

(20 °C, 1.013 hPa)

(DIN 53466)

Solubilidade em água:

não solúvel

(20 °C, 1.013 hPa)

Coefficiente de partição n-octanol/água (log Pow):

não aplicável

página: 8/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
 Data / revisada: 09.05.2016
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/GDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Viscosidade, dinâmica:
 Dados não disponíveis.
 Viscosidade, cinemática:
 Não aplicável, pois o produto é sólido.

10. Estabilidade e reatividade

Instabilidade:
 O produto é estável se armazenado e manuseado como descrito/indicado.

Condições a evitar:
 Evitar calor extremo. Evitar todas as fontes de ignição: calor, faíscas, chama acesa.

Materiais ou substâncias incompatíveis:
 agentes oxidantes fortes

Possível decomposição de produtos:
 Em caso de carga prolongada e/ou térmica sobre o ponto de decomposição podem formar-se produtos perigosos de decomposição

11. Informações toxicológicas

Toxicidade aguda

Avaliação da toxicidade aguda:
 Após uma única ingestão, praticamente não tóxico.

DL50 ratazana, masculino/feminino(oral): > 4.000 mg/kg (Regulamento OCDE 423)

Efeitos locais

Avaliação de efeitos irritantes:
 Não é irritante para a pele. Não é irritante para os olhos. Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

Irritação primária da pele coelho: não irritante (OECD, Guideline 404)

Irritação ocular coelho: não irritante (OECD, Guideline 405)

Avaliação para outros efeitos agudos

Observações: Dados não disponíveis.

Sensibilização

Avaliação de efeitos sensibilizantes:
 Não se detectou sensibilidade cutânea em ensaios com animais.

Teste Buehler modificado porquinho-da-índia: não sensibilizante (OECD, Guideline 405)

Toxicidade crônica

Avaliação da toxicidade após administração repetida:

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

Toxicidade genética

Avaliação de mutagenicidade:

Em bactérias, a substância não demonstrou características de mutação genética.

Carcinogenicidade

Avaliação de carcinogenicidade:

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

Toxicidade na reprodução

Avaliação de toxicidade na reprodução:

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

Perigo por aspiração

Avaliação da toxicidade por aspiração:

Dados não disponíveis.

Outras indicações referentes à toxicidade

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

12. Informações ecológicas

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto:

Ecotoxicidade

Avaliação da toxicidade aquática:

Existe uma alta probabilidade de que o produto não seja extremamente nocivo para os organismos aquáticos.

O produto não foi ensaiado. A indicação deriva da estrutura da substância.

Toxicidade em peixes:

CL50 > 100 mg/l, *Leuciscus idus*

Indicação bibliográfica.

Invertebrados aquáticos:

CE50 (48 h) > 100 mg/l, *Daphnia magna*

página: 10/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

Data / revisada: 09.05.2016

Versão: 5.0

Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Indicação bibliográfica.

Plantas aquáticas:

CE50 > 100 mg/l, *Desmodesmus subspicatus*

Indicação bibliográfica.

Organismos vivos no solo:

(14 Dias), *Elisena foetida* (OECD, Guideline 207, solo artificial)

Não se regista nenhum efeito na concentração mais alta analisada.

Plantas terrestres:

Triticum aestivum (OECD, Guideline 208)

Não se regista nenhum efeito na concentração mais alta analisada.

Mobilidade

Avaliação do transporte entre compartimentos ambientais:

Estudo não é necessário por razões científicas

Persistência e degradabilidade

Avaliação da biodegradabilidade e eliminação (H2O):

O produto é biodegradável.

Indicações para a eliminação:

90 - 100 % formação de CO₂ do valor teórico (124 Dias) (ISO 14855) (aeróbio, solo)

Bioacumulação

Potencial de bioacumulação:

Devido à consistência do produto, assim como à sua baixa solubilidade em água, não é provável uma biodisponibilidade.

Indicações adicionais

Outras indicações sobre distribuição e destino ambiental:

Segundo os presentes conhecimentos, não são esperados efeitos ecológicos negativos.

13. Considerações sobre destinação final

Métodos de tratamento e disposição

Produto: Verificar a possibilidade de reciclagem.

Observar as prescrições legais locais e nacionais.

Restos de produtos: Verificar a possibilidade de reciclagem.

Observar as prescrições legais locais e nacionais.

Embalagem usada:

Embalagens usadas devem ser esvaziadas o melhor possível e ser eliminadas como a substância/o produto.

Embalagens completamente vazias podem ser entregues para reciclagem.

página: 11/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
Data / revisada: 09.05.2016
Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

14. Informações sobre transporte

Transporte Terrestre

Rodoviário

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

Ferrovário

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

Transporte Fluvial

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

Transporte Marítimo

IMDG

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

Sea transport

IMDG

Transporte Aéreo

IATA/ICAO

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

Air transport

IATA/ICAO

15. Informações sobre regulamentações

Outras regulamentações

página: 12/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

Data / revisada: 09.05.2016

Versão: 5.0

Produto: ecoflax® F Blend C1200

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Esta subseção descreve Informação regulamentar aplicável que não está mencionada em outras seções desta ficha de segurança

16. Outras informações

Adicionalmente à Informação indicada na Ficha de Dados de Segurança, deve ser consultada a 'Informação Técnica' do produto

Linhas verticais na margem esquerda indicam alteração da versão atual.

Os dados contidos nesta publicação baseiam-se na nossa experiência e conhecimento atual, descrevendo o produto apenas considerando os requerimentos de segurança. Os dados não descrevem as propriedades do produto (especificação do produto). Não garante que certas propriedades ou a adequabilidade do produto para uma aplicação específica sejam deduzidos dos dados contidos na ficha de dados de segurança. É responsabilidade do receptor/ recebedor do produto assegurar que os direitos de propriedade, leis e regulamentações existentes sejam devidamente observados/ respeitados.