

ANNE SHAYENE CAMPOS DE BOMFIM

**Reciclagem de cápsulas de café expresso para a obtenção de compósitos reforçados com
a borra de café aplicados no *design* de uma composteira doméstica**

Anne Shayene Campos de Bomfim

Reciclagem de cápsulas de café expresso para a obtenção de compósitos reforçados com a borra de café aplicados no *design* de uma composteira doméstica

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Herman Jacobus Cornelis Voorwald
Coorientadora: Dr^a Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini

B713r	Bomfim, Anne Shayene Campos de Reciclagem de cápsulas de café expresso para a obtenção de compósitos reforçados com a borra de café aplicados no design de uma composteira doméstica / Anne Shayene Campos de Bomfim – Guaratinguetá, 2020. 126 f : il. Bibliografia: f. 116-124 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Herman Jacobus Cornelis Voorwald Co-Orientadora: Dr^a. Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini 1. Materiais compostos. 2. Reaproveitamento. 3. Sustentabilidade. I. Título. CDU 620.1(043)
-------	--

ANNE SHAYENE CAMPOS DE BOMFIM

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

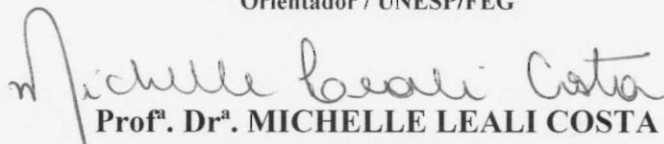
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO : MESTRADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof.ª. Dr.ª. Ivonte Ávila
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. HERMAN JACOBUS CORNELIS VOORWALD
Orientador / UNESP/FEG


Prof.ª. Dr.ª. MICHELLE LEALI COSTA
UNESP/FEG


Prof.ª. Dr.ª. DANIELLA REGINA MULINARI
UERJ

DADOS CURRICULARES

ANNE SHAYENE CAMPOS DE BOMFIM

NASCIMENTO	03.07.1992 – Niterói / RJ
FILIAÇÃO	Paulo Barbosa do Bomfim Ana Maria Souza Campos
2011/2016	Bacharelado em Desenho Industrial/Projeto de Produto Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

dedico este trabalho em especial a Deus, aos
meus pais e esposo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por seu amor incondicional, a minha família e amigos.

ao meu orientador, *Prof.º Dr. Herman Jacobus Cornelis Voorwald* pelo incentivo, orientação, referência e ensinamentos nessa jornada.

à minha coorientadora, *Dr.ª Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini* pela amizade, incentivo, dedicação, ensinamentos e inesgotável paciência.

ao meu pai *Paulo Barbosa do Bomfim*, pelo incentivo, apoio e infinita crença em minha capacidade.

à minha mãe Ana Maria Souza Campos, pela dedicação, paciência e oração.

ao meu marido, *Daniel Magalhães de Oliveira*, grande incentivador que esteve comigo em todos os momentos, além de ser meu guia e referência.

aos amigos do Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos, *Paulo Henrique Fernandes Pereira, Heitor Luiz Ornaghi Junior, Martin Ferreira Fernandes, Verônica Mara de Oliveira Velloso, Ana Carolina M. Q. Silva Santos, Roberto Pereira Mota Junior e Francisco Maciel Monticeli*, pela amizade, suporte e conhecimento científico compartilhado.

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá pela dedicação e prontidão no atendimento.

à *Prof.ª Dr.ª Daniella Regina Mulinari* pela infinita paciência e permissão para usar os equipamentos do Laboratório de Materiais e Processos FAT/UERJ-Resende.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processo: 147359/2018-0.

“Pensava que nós seguíamos caminhos já feitos, mas parece que não os há. O nosso ir faz o caminho”

C. S. Lewis

RESUMO

Mediante o contexto de sustentabilidade e a crescente necessidade de diminuição do impacto ao meio ambiente, a reutilização de resíduos para produção de novos materiais tem sido implantada visando a obtenção de produtos ecologicamente corretos. Nesse contexto, o reaproveitamento de cápsulas de café expresso, através de seu resíduo plástico e orgânico, como matéria-prima para obtenção de um compósito natural com propriedades mecânicas e térmicas adequadas para aplicação em design sustentável de composteira doméstica, foi objeto de estudo deste trabalho. As cápsulas de café, feitas em polipropileno (PP), foram recicladas mecanicamente e usadas como matriz do compósito, enquanto a borra de café, material orgânico lignocelulósico, foi usada como reforço. Os compósitos foram obtidos com 20 e 30% de reforço com e sem agente compatibilizante, através de processos convencionais de mistura em homogeneizador de plásticos e moldagem por injeção. Em seguida foram caracterizados quanto às suas propriedades mecânicas (tração e impacto), térmicas (TGA e DSC) e morfológicas (MEV), antes e após serem expostos à biodegradação e a fotodegradação. As análises térmicas mostraram que o processo de reciclagem mecânica das cápsulas não alterou as propriedades do polímero viabilizando, portanto, a obtenção dos compósitos. Os resultados mecânicos mostraram que a adição do reforço, independentemente da porcentagem, causou uma diminuição na resistência à tração e na deformação ($\sigma_{\text{máx}}$ e total), sem alteração do módulo, quando comparados ao polímero puro. Enquanto a adição do agente compatibilizante, para todas as condições, apesar de aumentar a resistência à tração dos compósitos, causou uma fragilização significativa, comprovada pela diminuição da deformação e da tenacidade. A microscopia mostrou que a presença do agente compatibilizante causou uma melhora na adesão interfacial entre matriz e reforço e na dispersão das partículas. Após a exposição às degradações, os resultados mostraram que a exposição ao solo da composteira (biodegradação) não causou mudanças nas propriedades térmicas, mecânicas e morfológicas dos materiais. Todavia, a exposição ao intemperismo acelerado causou um branqueamento e fragilização da superfície do material, comprovado pela microscopia óptica da superfície degradada. Além disso, não houve mudanças na resistência à tração dessas amostras, entretanto, houve uma fragilização significativa, comprovada pela queda da deformação e da tenacidade. O conceito desenvolvido para a composteira doméstica foi submetido a uma análise por elementos finitos onde foi possível determinar os esforços que a composteira será submetida durante seu uso através das tensões equivalentes de *von Mises* e da deformação total do modelo. Desta maneira, foi determinado

que, para o modelo com 3 mm de espessura de parede, todos os compósitos obtidos atendem aos requisitos necessários para ser aplicado na composteira.

PALAVRAS-CHAVE: Compósito natural. Reciclagem. Borra de café. Degradação. Design sustentável.

ABSTRACT

Through the sustainability context and needs to reduce environmental impact, the waste reuse for the development of new materials has been discussed. In this context, the espresso coffee capsules reuse was the issue of this work, through plastic and organic waste as raw material for obtaining a natural composite with suitable mechanical and thermal properties for application in a home composter sustainable design. Coffee capsules were mechanically recycled and applied as a composite matrix, while coffee grounds, lignocellulosic organic material, were used as reinforcement. Natural composites were obtained through conventional plastic homogenizer mixer and injection molding with 20 and 30% of reinforcement with and without a coupling agent. Then, composites were mechanical (tensile and impact), thermal (TGA and DSC), and morphological (SEM) characterized, before and after biodegradation and accelerated weathering exposures. Thermal analysis showed that mechanical recycling did not change polymer properties, allowing composites obtainment. Mechanical tests showed the addition of reinforcement, regardless of percentage, caused a decrease in tensile strength and strain (at yield and break), but retained modulus compared to pure polymer. Coupling agent addition, in all conditions, despite of increase tensile strength, caused the material weakening through the strain and tenacity decrease. Through morphological analysis, it was possible to identify coupling agent presence caused an improved on interfacial adhesion between matrix and reinforcement and caused particle dispersion. Degradation results showed the exposition to the composting soil (biodegradation) did not cause thermal, mechanical, and morphological changes on materials. Nevertheless, the exposition to UV radiation and condensation cycles caused whitening and surface embrittlement, proven by optical microscopy of the degraded surface. Mechanical results showed there were no changes in the tensile strength of both specimens; however, there was a significant embrittlement caused by elongation and tenacity decrease for composite. Home composter concept was submitted to finite element analyzes where it was possible to identify the home composter mechanical loads during its use through model equivalent stress of von Mises and total deformation. This way, it was determined that all composites could be applied in the home composting concept, but with 3 mm of thickness model.

KEYWORDS: Natural composite. Recycling. Coffee grounds. Degradation. Sustainable design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Resumo da Cadeia Produtiva do Plástico no Brasil.	24
Figura 2 - Métodos de reciclagem de resíduo sólido de plástico.....	25
Figura 3 – Ciclo de vida de um material plástico.	26
Figura 4 – Cápsula Nescafé Dolce Gusto em corte.	27
Figura 5 – Mercado de café em cápsulas no Brasil.	28
Figura 6 – (a) Monômero do PP e (b) Arranjos isotático, sindiotático e atático.	31
Figura 7 – Ilustração da obtenção do grão de café moído.	35
Figura 8 - Esquema da reação do PPgMA com a fibra natural	37
Figura 9 – Modelo estrutural de design sustentável.	39
Figura 10 – Processo de design sustentável.....	40
Figura 11 - Imagem em corte de uma composteira.	42
Figura 12 – Reações Norrish tipo I e II em grupos carbonilas na cadeia principal.....	48
Figura 13 – Modelagem 3D da cápsula Nescafé Dolce Gusto em corte.	51
Figura 14 – Fluxograma das etapas do projeto.....	52
Figura 15 - Material plástico em (a) moinho RONE, (b) moinho de facas e (c) cápsulas trituradas após passar pelos dois processos.	53
Figura 16 - Processo em misturador termocinético: (a) equipamento MH-50H, (b) material pronto para ser processado, (c) massa de material homogeneizado e (d) massa de material esticada e seca.....	55
Figura 17 – Processo em Injetora: (a) equipamento AX16I e (b) perfil de temperatura para injeção dos compósitos.....	56
Figura 18 – Dimensionamento dos CDPs de (a) tração e (b) impacto.	56
Figura 19 – Composteira desenvolvida com dois recipientes plásticos (imagem gerada na segunda semana de monitoramento).	57
Figura 20 – Câmara de Intemperismo Acelerado.....	59
Figura 21 – Malha utilizada no modelo.....	61
Figura 22 – Condições de contorno do modelo.....	61
Figura 23 – Curvas TGA e DTG das amostras PPC e PPR.....	65
Figura 24 – Curva DSC das amostras PPC e PPR.....	68
Figura 25 – Gráfico Tensão x Deformação do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.	70

Figura 26 – Curvas TGA das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.....	75
Figura 27 – Curvas DTG das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.....	76
Figura 28 – Curvas DSC das amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC, onde (a) 2º aquecimento e (b) resfriamento.....	78
Figura 29 – Variação na linha de base identificada como a Tg das amostras PPR e PPR/30BC.	79
Figura 30 - Imagens obtidas com ampliação de (a) 5x e (b) 2,5x.	81
Figura 31 – Histograma homogêneo de distribuição da área das partículas no intervalo entre 50 e 3000 μm^2	82
Figura 32 – Superfície fraturada em tração com ampliação de 100x das amostras (a) PPR/30BC, (b) PPR/20BC, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/2PPgMA/20BC.	83
Figura 33 - Superfície fraturada em tração com ampliação de 1000x das amostras (a) PPR/30BC, (b) PPR/20BC, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/2PPgMA/20BC.	84
Figura 34 – CDPs de tração das amostras antes e após às exposições, onde (a) PPR e (b) PPR/3PPgMA/30BC expostos ao intemperismo acelerado, (c) PPR e (d) PPR/3PPgMA/30BC expostos a biodegradação.	86
Figura 35 – Gráfico de massa (%) em função do tempo (dias) das amostras PPR (T) e (I) e PPR/3PPgMA/30BC (T) e (I) após exposição à (a) Fotodegradação e (b) Biodegradação.	88
Figura 36 – Espectros na região do infravermelho das amostras PPR, BC e PPR/3PPgMA/30BC.....	89
Figura 37 - Espectros na região do infravermelho das amostras (a) PPR, PPR/Bio, PPR/UV e (b) PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.	91
Figura 38 – Curvas TGA das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.	93
Figura 39 – Curvas DSC das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio, PPR/3PPgMA/30BC/UV onde (a) 2º aquecimento e (b) resfriamento.....	94
Figura 40 - Gráfico Tensão x Deformação do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	97

Figura 41 – Superfície fraturada em tração com ampliação de 100x das amostras antes e após a exposição à biodegradação (a) PPR, (b) PPR/Bio, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/Bio.....	101
Figura 42 - Superfície fraturada em tração com ampliação de 100x das amostras antes e após a exposição à intemperismo acelerado (a) PPR, (b) PPR/UV, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	102
Figura 43 – Borda da superfície degradada com ampliação de 1000x das amostras antes e após a exposição à intemperismo acelerado (a) PPR, (b) PPR/UV, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	103
Figura 44 – Superfície antes e após exposição ao intemperismo acelerado das amostras (a) PPR, (b) PPR/UV, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/UV.	104
Figura 45 – Tabela de medidas de 500 trabalhadores brasileiros na região paulista.....	107
Figura 46 – Principais variáveis usadas para medir a antropometria estática.	108
Figura 47 – Rotações voluntárias do corpo dentro da antropometria dinâmica.	109
Figura 48 – Conceito 1 da composteira doméstica em 3D, onde (a) vista explodida em perspectiva e (b) vista em perspectivas com detalhes do uso.....	110
Figura 49 – Conceito 2 da composteira doméstica em 3D (a) vista explodida em perspectiva e (b) vista em perspectiva com detalhes de uso.....	111
Figura 50 – Detalhes do conceito 2 (a) detalhes furação e (b) vista em corte do armazenamento do fertilizante líquido.	112
Figura 51 – Dimensionamento do conceito 2.....	113
Figura 52 – Análise por elementos finitos do modelo com 1.5 mm, onde (a) escala das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> em Pascal (Pa), (a') tensões no modelo em perspectiva, (a'') tensões no modelo em vista superior, (b) escala da deformação total em metro (m), (b') deformações no modelo em perspectiva e (b'') deformações no modelo na vista lateral, preso pelo suporte.	114
Figura 53 – Análise por elementos finitos do modelo com 2.5 mm, onde (a) escala das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> em Pascal (Pa), (a') tensões no modelo em perspectiva, (a'') tensões no modelo em vista superior, (b) escala da deformação total em metro (m), (b') deformações no modelo em perspectiva e (b'') deformações no modelo na vista lateral, preso pelo suporte.	115
Figura 54 – Análise por elementos finitos do modelo com 3 mm, onde (a) escala das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> em Pascal (Pa), (a') tensões no modelo em perspectiva, (a'') tensões no modelo em vista superior, (b) escala da deformação total em metro (m), (b')	

deformações no modelo em perspectiva e (b'') deformações no modelo na vista lateral, preso pelo suporte. 116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais propriedades físicas, mecânicas e térmicas do PPI.....	31
Tabela 2 - Composição química de três diferentes compostos após 120 dias: (1ª) uma adição de resíduos variados preenchendo 50 % da composteira, (2ª) uma adição de resíduos variados a cada semana, durante as sete primeiras semanas e (3ª) uma adição de resíduos com 10 % de feno e 90 % de vegetais.	42
Tabela 3 – Composições dos compósitos.....	54
Tabela 4 – Parâmetros medidos nas curvas TGA e DTG das amostras PPC e PPR.	66
Tabela 5 – Parâmetros medidos na curva DSC das amostras PPR e PPC.....	69
Tabela 6 – Propriedades do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.	71
Tabela 7 – Propriedades do ensaio de impacto das amostras PPR, PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC.....	73
Tabela 8 – Parâmetros medidos nas curvas TGA e DTG das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.	77
Tabela 9 – Parâmetros medidos na curva DSC das amostras PPR, PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.	80
Tabela 10 – Parâmetros medidos nas curvas TGA e DTG das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	93
Tabela 11 – Parâmetros medidos na curva DSC das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio, PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	95
Tabela 12 – Propriedades do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	98
Tabela 11 – Propriedades do ensaio de impacto das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Tests and Materials</i>
BC	Borra de café <i>in natura</i>
DMT	Departamento de Materiais e Tecnologia
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
DTG	Derivada da curva de TGA
EPS	Poliestireno expandido
EVA	Acetato de vinila
EXO	Sentido exotérmico
FAT	Faculdade de Tecnologia (Resende)
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
GFMA	Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos
HIPS	Poliestireno de alto impacto
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEBDL	Polietileno de baixa densidade linear
PET	Politereftalato de etileno
PP	Polipropileno
PPC	Polipropileno da Cápsula
PpgMA	Polímero grafitizado com anidrido maleico
PPR	Polipropileno reciclado
PPR/30BC	Compósito reforçado com 30% de borra de café
PPR/3PPgMA/30BC	Compósito com 3% de agente compatibilizante e 30% de borra de café
PPR/1PPgMA/30BC	Compósito com 1% de agente compatibilizante e 30% de borra de café
PPR/20BC	Compósito reforçado com 20% de borra de café
PPR/2PPgMA/20BC	Compósito com 2% de agente compatibilizante e 20% de borra de café
OS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
TGA	Análise termogravimétrica
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UV	Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

§	Parágrafo
ΔT	Variação da temperatura
ΔH	Entalpia
T_g	Temperatura de transição vítrea
T_{pico}	Temperatura de pico
T_i	Temperatura inicial de degradação
μm	micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	RECICLAGEM DE PLÁSTICO.....	23
2.2	CÁPSULAS DE CAFÉ EXPRESSO	27
2.3	COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA NATURAL	29
2.3.1	Matriz de polipropileno reciclado	30
2.3.2	Reforço natural de resíduo de café	33
2.3.3	Adesão matriz/reforço	36
2.4	DESIGN SUSTENTÁVEL	37
2.5	COMPOSTEIRAS E O PROCESSO DE COMPOSTAGEM DOMÉSTICA.....	40
2.6	DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS	46
2.6.1	Fotodegradação.....	47
2.6.2	Biodegradação.....	48
3	OBJETIVOS	50
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
4.1	MATERIAIS	51
4.1.1	Cápsulas de café expresso Nescafé Dolce Gusto	51
4.1.2	Agente compatibilizante.....	52
4.2	MÉTODOS	52
4.2.1	Obtenção da matriz polimérica	53
4.2.2	Obtenção do reforço de borra de café	53
4.2.3	Obtenção do compósito	54
4.2.4	Exposição à degradação	57
4.2.4.1	Exposição a Biodegradação.....	57
4.2.4.1.1	<i>Medição dos CDPs.....</i>	58
4.2.4.1.2	<i>Medição da umidade</i>	58
4.2.4.1.3	<i>Medição da Temperatura.....</i>	58
4.2.4.1.4	<i>Medição do pH.....</i>	58
4.2.4.2	Exposição ao Intemperismo acelerado	58
4.2.5	Projeto da Composteira Doméstica.....	59
4.2.6	Caracterizações.....	61

4.2.6.1	Termogravimetria (TGA)	61
4.2.6.2	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	62
4.2.6.3	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	62
4.2.6.4	Microscopia Óptica.....	63
4.2.6.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	63
4.2.6.6	Ensaio de tração.....	63
4.2.6.7	Ensaio de Impacto	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1	EFEITO DA RECICLAGEM NAS PROPRIEDADES DO PP.....	65
5.1.1	Termogravimetria (TGA/DTG)	65
5.1.2	Calorimetria exploratória diferencial (DSC)	67
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS NATURAIS	69
5.2.1	Ensaio de tração.....	69
5.2.2	Ensaio de Impacto	73
5.2.3	Termogravimetria (TGA/DTG)	74
5.2.4	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	78
5.2.5	Microscopia	81
5.2.5.1	Microscopia Óptica da amostra BC.....	81
5.2.5.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura dos compósitos	82
5.3	EXPOSIÇÃO À DEGRADAÇÃO.....	85
5.3.1	Análise Visual.....	85
5.3.2	Absorção de umidade	87
5.3.3	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	88
5.3.4	Termogravimetria (TGA)	92
5.3.5	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	94
5.3.6	Ensaio de Tração	96
5.3.7	Ensaio de Impacto	98
5.3.8	Microscopia	99
5.3.8.1	Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)	99
5.3.8.2	Microscopia Óptica.....	103
5.4	PROJETO DA COMPOSTEIRA DOMÉSTICA.....	105
5.4.1	Apresentação geral do problema projetual.....	105
5.4.2	Objetivos.....	105

5.4.3	Justificativa	106
5.4.4	Público alvo	106
5.4.5	Levantamento de Dados.....	106
5.4.5.1	Análise de Similares	106
5.4.5.2	Análise do Uso	106
5.4.5.3	Requisitos e Restrições	109
5.4.6	Conceituação	110
5.4.6.1	Detalhamento do conceito escolhido	112
6	CONCLUSÕES.....	118
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	119
6.2	TRABALHOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS	119
6.3	TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSO.....	119
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – PARÂMETROS UTILIZADOS NA CONFIGURAÇÃO DA MINI INJETORA	135
	APÊNDICE B – TGA E DSC DE AMOSTRA EVOH (EVAL ® H171B RESIN) PRODUZIDO PELA KURARAY AMÉRICA INC.....	136

1 INTRODUÇÃO

O problema de degradação do meio ambiente tem sido pauta de muitas discussões nos últimos anos (PEREIRA et al., 2015; ROETZEL et al., 2017; ROCHA et al., 2019), uma vez que o mesmo tem sofrido com a grande quantidade de lixo descartado e com o uso sem limites de recursos não-renováveis. Os recursos ambientais não são infinitos e, desta forma, os materiais que são utilizados como matéria-prima na indústria precisam ter um menor impacto ambiental, alta possibilidade de reciclagem e reuso (ROETZEL et al., 2017; CONKE, 2018).

Dentro deste contexto, as ferramentas de um design sustentável podem ser eficientes entre as relações da sociedade com a indústria visando à questão ambiental (SKERLOS, 2015). Sendo o design para a sustentabilidade, portanto, um instrumento de transformação através de uma abordagem preventiva com inovações sociais, questionamentos sobre os produtos existentes e avaliação sobre os impactos ambientais, sociais e econômicos (ROCHA et al., 2019). Segundo SILVA e VALARELLI (2006), o contexto do design inserido ao meio ambiente ressalta os valores de uma nova ética de projeto, onde a relação com a sociedade não está apenas atrelada ao consumo excessivo de objetos de desejo, e sim no pensamento em comunidade, onde as relações com o meio ambiente gerem produtos oriundos de materiais sustentáveis.

A reutilização de resíduos industriais e domésticos além de ser uma alternativa viável para minimizar os impactos ambientais, evidencia um processo de responsabilidade social do setor produtivo para com a questão ambiental. Dentro deste contexto, cabe às Universidades e aos grupos de pesquisa desenvolverem materiais levando em consideração o design sustentável e a utilização destes resíduos como forma de cumprir seu papel na geração e transmissão do conhecimento em benefício da sociedade. Uma alternativa para este tipo de material são as fibras naturais, as quais têm sido estudadas como reforço em matriz polimérica e possuem resultados significativos, como a casca de banana (GUNGE et al., 2019), a coroa do abacaxi (TODKAR; PATIL, 2019) e a fibra de coco (OLIVEIRA et al., 2017).

As fibras naturais, encontradas em muitos resíduos, são uma opção de baixo custo, renovável, biodegradável e possuem propriedades mecânicas capazes de reforçarem um compósito polimérico destacando-se como um forte recurso ambiental (LEMOS et al., 2017).

Um dos resíduos domésticos que tem crescido nas residências dos brasileiros são as cápsulas de café expresso. Pesquisas realizadas pela consultoria Euromonitor em 2017 para a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) mostraram que as máquinas de expresso conquistaram o consumidor pela praticidade e variedade de sabores. Em 2017 as cápsulas de

café representavam 0,9% do mercado de café do Brasil, e a previsão é de que até 2021 o volume, em toneladas, aumente para 1,1% do setor (EUROMONITOR, 2017).

Visando o reaproveitamento dos resíduos das cápsulas de café expresso, os componentes plásticos foram reciclados e transformados em matriz para um compósito polimérico. A borra de café, rica em material lignocelulósico e sem uso comercial, também será separada e utilizada como reforço deste compósito. A reciclagem dessas embalagens ajuda a minimizar o impacto ao meio ambiente, visto que o plástico é uma parte significativa no total de resíduos sólidos descartados nas cidades e, além disso, os polímeros demoram centenas de anos para se degradarem (SINGH et al., 2017; DAHLBO et al., 2018). Desta forma, o presente projeto teve o propósito de obter um compósito natural, composto com pelo menos 30% de material natural, produzido com matéria-prima proveniente de resíduo plástico (polipropileno) e orgânico (borra de café).

Além de aproveitar os resíduos produzindo um material reciclado que respeite os pilares da sustentabilidade: social, econômico e ambiental, e que atenda aos requisitos de propriedades mecânicas e térmicas, esse material será usado como matéria prima para o design sustentável de uma composteira doméstica, de baixo custo, funcional, esteticamente atrativa e que tenha uma fabricação e fim de vida que não prejudique o meio ambiente. As composteiras evidenciam uma cultura de responsabilidade social que começa dentro de casa, pois a gestão do lixo gerado não é só responsabilidade do município, mas também de cada indivíduo consumidor e, portanto, gerador de lixo. Somente com essa perspectiva é possível construir uma sociedade que reflita sobre os impactos de suas ações e lute pelas questões ambientais que influenciam um futuro melhor e mais sustentável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

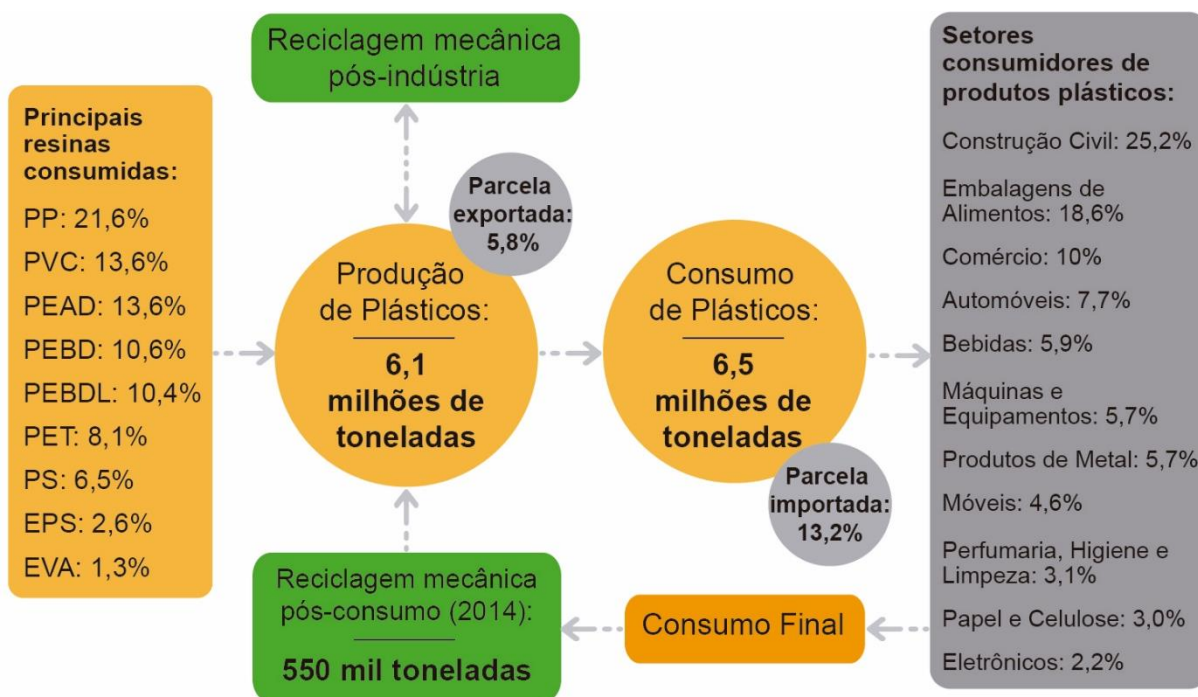
2.1 RECICLAGEM DE PLÁSTICO

Em 2016 a produção global de plástico atingiu 335 milhões de toneladas (PLASTICSEUROPE, 2017), este valor está relacionado com a inserção de produtos plásticos em diferentes áreas do cotidiano do consumidor, como embalagens, construção civil, automóveis, eletroeletrônica, brinquedos, utensílios domésticos, mobiliário, calçados e outras (SINGH et al., 2017; DAHLBO et al., 2018).

Segundo a Cadeia Produtiva de Plástico no Brasil, em 2017 a produção de plástico foi de 6,1 milhões de toneladas, entretanto, o consumo brasileiro está em torno de 6,5 milhões de toneladas devido à produção nacional e aos produtos plásticos importados, conforme Figura 1. Apesar do grande consumo e, conseqüentemente grande geração de resíduos plástico, apenas 550 mil toneladas, de todo plástico consumido no Brasil, é reciclado pós-consumo, conforme esquematizado na Figura 1 (ABIPLAST, 2017). Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico, os efeitos socioambientais para cada 1 tonelada de material reciclado produzido estão na redução da emissão de 1,53 toneladas de gases de efeito estufa na atmosfera, redução de 1,1 toneladas em média do resíduo plástico disposto nos aterros sanitários, economia média de 75% de energia, diminuição do uso de 450 L de água na produção e geração de empregos para 3,16 catadores que recolhem esses resíduos por mês (ABIPLAST, 2017).

Nesse contexto, um dos setores que mais utiliza o material plástico, sendo um dos maiores geradores de resíduos plásticos no meio ambiente, é o setor de embalagens alimentícias, devido ao alto consumo e curto tempo de vida útil (ABIPLAST, 2017; RAGAERT et al., 2017; DAHLBO et al., 2018). Os polímeros mais encontrados nos resíduos plásticos de embalagens são o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno de baixa densidade (LDPE), o polipropileno (PP) e o politereftalato de etileno (PET) (RAGAERT et al., 2017). O PP é considerado um commodity, e no Brasil é o polímero mais consumido devido, principalmente, às suas propriedades mecânicas e térmicas que facilitam o processamento e posterior reciclagem (MOHANTY et al., 2005; ABIPLAST, 2017).

Figura 1 – Resumo da Cadeia Produtiva do Plástico no Brasil.



Fonte: Adaptado de Abiplast (2017).

Mediante aos dados de baixo volume de reciclagem de plásticos e seu longo tempo de degradação na natureza, cerca de centenas de anos, os resíduos plásticos precisam de programas e estratégias efetivas e específicas para intensificar o reuso e reciclagem desses materiais em prol de amenizar o impacto à natureza, ao invés de serem amontoados nos aterros sanitários e no meio ambiente (HAMAD et al., 2013; SANCHEZ et al., 2017). De acordo com o art. 7º, § I e § IV, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010) são estabelecidos objetivos de proteção da qualidade ambiental e o incentivo à indústria de reciclagem de maneira a estimular o uso de matéria-prima provenientes de materiais recicláveis e reciclados (BRASIL, 2010).

Segundo CONKE (2018), há muita informação sobre os valores sustentáveis da reciclagem, porém as barreiras para um efetivo sistema de reciclagem no Brasil estão na falta de informação sobre como, onde e o que reciclar, na informalidade do trabalho dos catadores, na falta de sistema de descarte eficiente e na pouca valorização dos materiais reciclados. De acordo com STOEVA e ALRIKSSON (2017), é função do município e das recicladoras garantirem as condições adequadas para a coleta seletiva de resíduos sólidos domésticos, de forma que cada indivíduo possa separar seus resíduos e fazer o descarte corretamente em um efetivo sistema de reciclagem.

A reciclagem de resíduos sólidos de plásticos funciona em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária, conforme esquema da Figura 2 (SPINACÉ; DEPAOLI, 2005; SINGH et al., 2017). A primária e a secundária estão relacionadas à reciclagem mecânica, na primária há a utilização de resíduos pós-industrial e na secundária resíduos pós-consumo. A reciclagem terciária está relacionada com a reciclagem química, onde os resíduos são despolimerizados voltando a ser monômeros ou hidrocarbonetos. E na quaternária envolve a reciclagem energética, que é um processo de recuperação de energia através da incineração (SPINACÉ; DEPAOLI, 2005; SINGH et al., 2017).

No Brasil há cerca de 1072 empresas recicladoras de plásticos, sendo a reciclagem mecânica a mais utilizada, devido a fatores econômicos e ao alto volume de resíduos plásticos (SPINACÉ; DEPAOLI, 2005; ABIPLAST, 2017). Esse tipo de reciclagem é um processo que inclui várias etapas dependendo da realidade do local; os resíduos são moídos, separados, lavados e reprocessados, dependendo da forma, densidade, cor e composição química (SPINACÉ; DEPAOLI, 2005; RAGAERT et al., 2017). Através desse processo, os resíduos podem ser reciclados e diretamente reutilizados na fabricação de novos produtos (HAMAD et al., 2013).

Figura 2 - Métodos de reciclagem de resíduo sólido de plástico.

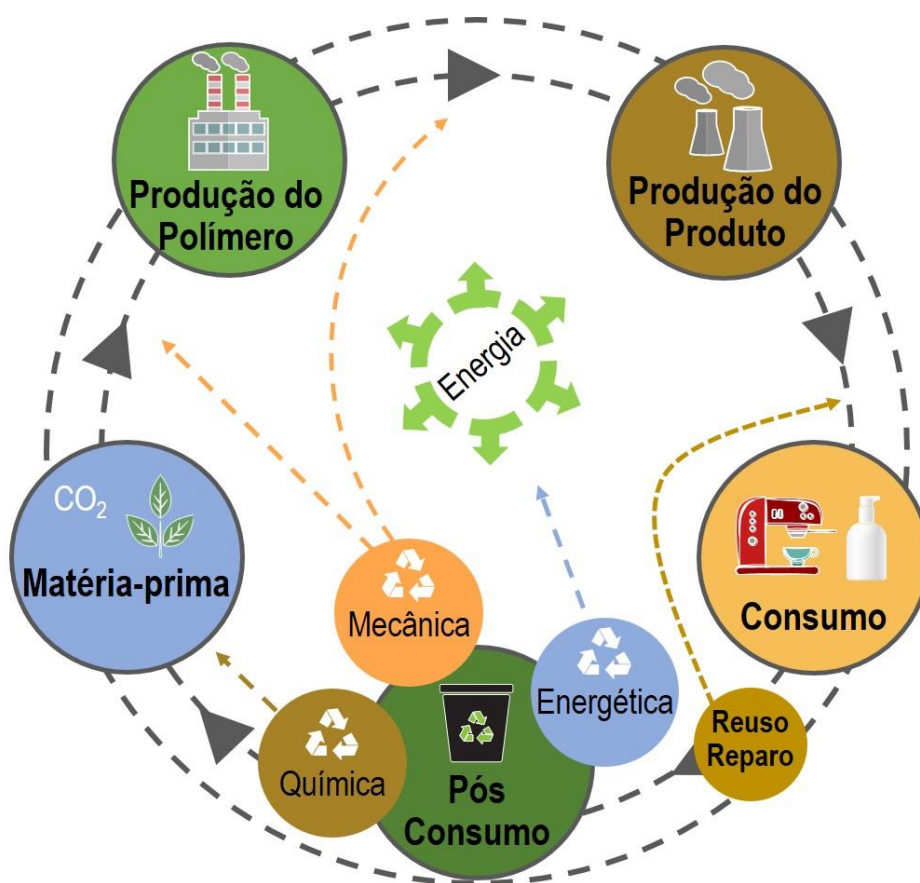


Fonte: Adaptado de Singh et al. (2017) e Abiplast (2017).

A análise do ciclo de vida de um material plástico deve ser considerada desde o processamento da matéria-prima até o descarte final, com a finalidade de minimizar os impactos do produto plástico no meio ambiente (ABIPLAST, 2016; RAGAERT et al., 2017).

Conforme a Figura 3, o ciclo de vida ideal de um produto plástico começa na produção do plástico, através de matéria-prima que não impacte o meio ambiente, como provenientes de fontes renováveis e materiais reciclados, passa pelo processamento de produtos, através da injeção ou extrusão, em seguida pelo consumo, com reuso e reparos durante o tempo de vida útil e termina no pós-consumo. Entretanto, quando o tempo de vida útil de um produto plástico acaba, ele segue para a reciclagem mecânica e volta para a indústria de produção, ou para a reciclagem energética onde vira energia ou ainda para a reciclagem química e se torna matéria-prima novamente para iniciar um novo ciclo de vida (PLASTICSEUROPE, 2017; RAGAERT et al., 2017).

Figura 3 – Ciclo de vida de um material plástico.



Fonte: Adaptado de Plasticseurope (2017).

Dentro deste contexto do pensamento sustentável, a escolha por materiais recicláveis e reciclados é a primeira opção para o desenvolvimento de novos produtos e parte importante de construção do futuro. Deste modo, será possível existir um uso comedido dos recursos naturais não renováveis em prol da proteção ao meio ambiente.

2.2 CÁPSULAS DE CAFÉ EXPRESSO

O sistema de café expresso em cápsulas teve sua primeira aparição em 1976 quando o grupo Nestlé, através de Eric Favre, patenteou o sistema (OLIVEIRA et al., 2013; CÂMARA et al., 2017). A descoberta uniu o conceito da cafeteira doméstica e de expresso profissional com a tecnologia e a engenharia, culminando no desenvolvimento de cápsulas preenchidas com café. O conceito do café em cápsulas só obteve destaque em 1988, sendo a Nespresso, do grupo Nestlé, a única fabricante do ramo (CÂMARA et al., 2017). A partir dos anos 2000 algumas patentes da fabricante perderam a validade, culminando na inserção de outras famosas torrefadoras no setor do café expresso em cápsulas (ESTADÃO, 2013).

No Brasil, o café em cápsulas começou a ser importado em 2006 pela fabricante Nespresso e atualmente o mercado das cápsulas recebeu a inserção de muitas fabricantes torrefadoras como Nescafé Dolce Gusto, TRES®, Pilão, Moccato, Kaffa, L'OR, Café Pelé, Café Orfeu, Astro Café, Melitta e outras (REVISTA ESPRESSO, 2018). A Nescafé Dolce Gusto, também do grupo Nestlé, é a primeira marca multibebidas do Brasil. Sua máquina expresso possui bebidas como cafés, chocolates, lattes e chás; além disso, em 2015 instalou sua fábrica em Montes Claros (MG) e utiliza toda a matéria-prima da produção nacional brasileira (NESCAFÉ DOLCE GUSTO BR, 2017; REVISTA SUPER VAREJO, 2017). De acordo com a Figura 4, é possível observar os principais componentes internos da cápsula de café Dolce Gusto, como filtro e borra de café.

Figura 4 – Cápsula Nescafé Dolce Gusto em corte.

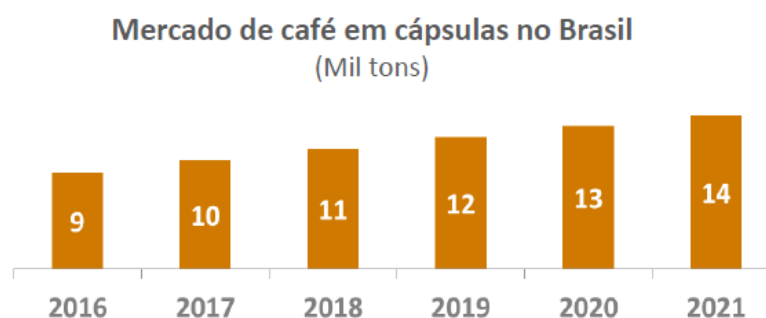


Fonte: O Autor (2019).

Em 2017, pesquisas brasileiras mostraram que o café em cápsulas representa 0,9 % de todo o mercado de café, sendo 18 % para o grão torrado e 81 % para o café em pó (EUROMONITOR, 2017). Pela praticidade e um custo cada vez menor das máquinas de

expresso, o consumidor acaba por escolher o café em dose única. Segundo o gráfico da Figura 5, o mercado de café em cápsulas no Brasil vem crescendo 1 mil tons ao ano entre 2016 e 2019, com projeção de ter o mesmo crescimento até 2021 (EUROMONITOR, 2017).

Figura 5 – Mercado de café em cápsulas no Brasil.



Fonte: Euromonitor (2017).

Mediante ao grande volume do mercado de café em cápsulas, a indústria do café tem enfrentado o questionamento sobre o que fazer com o resíduo da cápsula, que tem se tornado um grande problema ambiental e vem se acumulando nos aterros sanitários (Relatório Internacional de Tendências do Café, 2016). As cápsulas são feitas em seu exterior de alumínio ou plástico, contendo algum tipo de filtro, filme plástico ou metálico e borra de café no seu interior. Desse modo, a reciclagem desse tipo de embalagem se torna complexa (O GLOBO, 2016).

Segundo a Nespresso, com cápsulas em alumínio, há a recuperação de 80% das embalagens brasileiras e até 2020 elas serão convertidas em um novo material para cápsulas (NESPRESSO, 2017). De acordo com a Nescafé Dolce Gusto, com cápsulas em plástico (PP), há o incentivo para a reutilização das embalagens pelos consumidores ou a devolução nos postos de coleta para reciclagem e aplicação em um novo produto (porta cápsulas), já presente no mercado (OLIVEIRA et al., 2013; NESCAFÉ DOLCE GUSTO BR, 2017). Segundo a TRES®, com cápsulas também de plástico (PP), as embalagens são recicladas mediante a devolução nos postos de coleta e depois são transformadas em outros materiais, mas sem menção de algo já desenvolvido (OLIVEIRA et al., 2013; TRES®, 2017).

Em alguns países já existem programas de coleta e reciclagem das cápsulas e em alguns casos, uso em compostagem. Em Portugal, por exemplo, há um sistema de reciclagem das cápsulas da fabricante Nescafé Dolce Gusto, no qual o plástico é separado, fundido e transformado em um novo material para produção de mobiliário urbano, a borra do café é

aproveitada na compostagem e toda a água usada no sistema é tratada e reutilizada para irrigação e lavagem (NESCAFÉ DOLCE GUSTO PT, 2017). Na Itália há uma parceria entre a fabricante Nespresso e o Consórcio Nacional para o Recolhimento e Reciclagem de Embalagens de Alumínio (CIAL) onde o alumínio é reciclado e a borra de café vai para compostagem (Relatório Internacional de Tendências do Café, 2016).

No Brasil, a Boomera recicla resíduos complexos e através de uma parceria com a Dolce Gusto faz a reciclagem das cápsulas de café expresso. Os componentes plásticos passam por uma reciclagem mecânica e o material gerado é aplicado como matéria-prima no desenvolvimento de um novo produto para a marca. A empresa tem trabalhado com a dificuldade da logística reversa (LIAO, 2018), apesar de já existirem alguns pontos de coletas de cápsulas Dolce Gusto em São Paulo, Curitiba, Porto Alegre e Rio de Janeiro e com a dificuldade da engenharia circular, que é o desenvolvimento de novos materiais e produtos provenientes da reciclagem (FOLHA DE SÃO PAULO, 2017; BOOMERA, 2018).

Outra iniciativa brasileira de reciclagem de cápsulas acontece através da TerraCycle que recicla cápsulas de alumínio L'OR, de plástico e alumínio Pilão e de plástico Pelé Graníssimo através de um time de coleta (escola, empresa e etc.). As cápsulas são coletadas pelos consumidores e enviadas em caixas pelo correio através de etiquetas pré-pagas. No processo de reciclagem os materiais são separados, o plástico moído é transformado em pellets e o alumínio fundido é transformado em blocos, ambos para produção de novos produtos, enquanto a borra de café vai para compostagem (TERRACYCLE, 2018).

A reciclagem das cápsulas e a reutilização do material reciclado como matéria-prima em novos produtos sem impactar o meio ambiente gera transformação social e um pensamento ético sobre o consumo e o descarte correto de resíduos.

2.3 COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA NATURAL

Compósitos são materiais multifásicos diferentes quimicamente e separados por uma interface (CALLISTER JR., 2002). Em geral, são constituídos por uma matriz polimérica, cerâmica ou metálica, e um reforço fibroso ou particulado, com o objetivo de obter um material com propriedades melhores quando comparados aos componentes separados (STRONG, 1989; CHAND; FAHIM, 2008). A matriz é a fase contínua que recebe e transfere carga para o reforço e o protege das condições adversas do meio ambiente e o reforço é a fase dispersa que aumenta as propriedades da matriz (CALLISTER JR., 2002). Entretanto, para

garantir o aumento de desempenho, deve-se obter uma boa interface entre os materiais (MOHANTY et al., 2005).

Os compósitos de matriz polimérica podem ser termorrígidos ou termoplásticos. Por muitos anos os termorrígidos foram os mais usados, mediante suas propriedades estruturais quando reforçado com fibras sintéticas, como fibra de vidro ou de carbono, podendo substituir um material metálico na área aeroespacial, automobilística, equipamentos esportivos e outras (MOHANTY et al., 2005; SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018). Atualmente, há muitas pesquisas com compósitos termoplásticos, que oferecem vantagens no processamento e possibilidade de reciclagem (MOHAMMADI et al., 2016; BORIA et al., 2017; LAADILA et al., 2017), pois através do aquecimento o material sai do estado sólido, amolece e chega ao estado fluído e através do resfriamento, cristaliza e volta para o estado sólido novamente, adquirindo a forma de qualquer molde (CANEVAROLO JR., 2002).

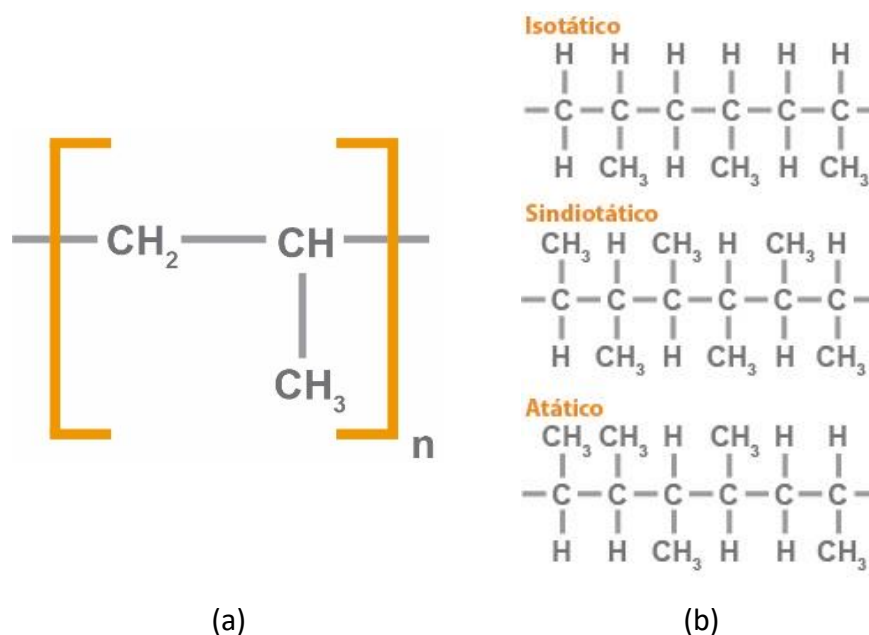
Atualmente, tem-se estabelecido a busca por materiais *environment friendly*, ou seja, materiais que promovam o desenvolvimento sustentável ambiental, mediante ao cenário de grande geração de resíduos, poluição e diminuição dos recursos naturais não renováveis (GURUNATHAN et al., 2015; ONU, 2015). Deste modo, compósitos naturais ou “green composites” estão sendo desenvolvidos, através do uso de polímeros biodegradáveis (GURUNATHAN et al., 2015; LI et al., 2017), polímeros reciclados (IBRAHIM et al., 2017; LAADILA et al., 2017) e fibras naturais, (JOHN; THOMAS, 2008; LEMOS et al., 2017; SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018) com objetivo de obter um material com boas propriedades mecânicas e que não impacte ao meio ambiente, no que diz respeito à matéria-prima e ao final de vida (FARUK et al., 2012).

2.3.1 Matriz de polipropileno reciclado

O polipropileno (PP) é uma poliolefina formada por um monômero de hidrocarbonetos, conforme Figura 6a (CANEVAROLO JR., 2002; OLIVEIRA, 2014). A estrutura do PP pode ser isotática (PPi), sindiotática ou atática. A estrutura isotática é semicristalina com 50-80 % de cristalinidade, possui um arranjo com os grupos laterais do mesmo lado da cadeia polimérica, conforme Figura 6b. Na estrutura sindiotática os grupos laterais são organizados alternados ao longo da cadeia principal, reduzindo sua cristalinidade, conforme Figura 6b. Já a estrutura atática é amorfa, ou seja não funde, com baixa massa molecular e possui um arranjo com os grupos laterais ordenados aleatoriamente ao longo da cadeia, conforme Figura 6b (CANEVAROLO JR., 2002; KISSEL et al., 2002; LIMA, 2015). Deste modo, a taticidade

do PPI proporciona as melhores propriedades físicas, mecânicas e térmicas no estado sólido, além disso, por ser semicristalino possui ponto de fusão e cristalização, permitindo vasta aplicação comercial e uma diversidade de processamentos, bem como a reciclagem após o descarte de seus resíduos (KISSEL et al., 2002; LUZ et al., 2007).

Figura 6 – (a) Monômero do PP e (b) Arranjos isotático, sindiotático e atático.



Fonte: Adaptado de Canevarolo Jr. (2002) e Lima (2015).

Tabela 1 - Principais propriedades físicas, mecânicas e térmicas do PPI.

Propriedades	PPI
Densidade	0,9 g/cm ³
Módulo elástico	1-1,6 GPa
Limite de resistência à tração	20-40 MPa
Limite de resistência à flexão	40-50 MPa
Resistência ao impacto	19-37 J/m
Temperatura de fusão	160-175 °C
Temperatura de degradação	275-335 °C

Fonte: Rjeb et al. (2005); Paiva et al. (2006); Araújo (2010); Oliveira (2014); Parparita et al. (2014); Pereira et al. (2015).

O PP é classificado como uma *commodity* e no Brasil é o polímero mais consumido (MOHANTY et al., 2005; ABIPLAST, 2016), fato que está relacionado ao seu baixo custo e com suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e químicas que facilitam o processamento, tempo de vida útil e descarte dos produtos (KISSEL et al., 2002; PEREIRA et al., 2015). Na Tabela 1 é possível observar alguns valores de propriedades do PP encontrados na literatura, como resistência à tração e temperatura de fusão.

De acordo com a literatura, o PP virgem é usualmente aplicado em compósitos poliméricos apresentando resultados satisfatórios, sem perda de estabilidade térmica e manutenção ou ganho de propriedades mecânicas (GOLEBIEWSKI; GALESKI, 2007; NACHTIGALL et al., 2007; LA ORDEN, DE et al., 2010; FRANCO-MARQUÈS et al., 2011; PARPARITA et al., 2014; GARCÍA-GARCÍA et al., 2015; SOCCALINGAME et al., 2015; BADJI et al., 2018; LILA et al., 2018).

LILA et al. (2018) obteve compósito de PP reforçado com 20 % de bagaço de cana de açúcar e avaliou as propriedades mecânicas e térmicas. O ensaio de tração mostrou uma resistência à tração de 24 MPa e 0,8 GPa de módulo. Enquanto a análise térmica por DSC, comparando a amostra do compósito ao polímero puro (PP), mostrou que não houve mudança significativa no ponto de fusão, porém, houve uma queda na cristalinidade, identificado pelo valor da entalpia (ΔH).

Segundo MOHAMMADI et al. (2016), ensaios mecânicos com compósitos de PP e PE reforçados com 45, 60 e 75 % de palha de arroz e 2 % de agente compatibilizante mostraram que a diferença na matriz não causou mudanças na resistência a flexão, entretanto, a matriz de PP obteve maior resistência à tração comparando à matriz de PE, para as menores porcentagens de reforço estudadas (45 e 60 %).

Nesse contexto, a reciclagem do PP para aplicação em matrizes de compósitos poliméricos tem sido discutida nos últimos anos, como um meio de reutilização de resíduos em detrimento de utilização de um polímero virgem proveniente de fontes não renováveis (HOMKHIEW et al., 2014; ZULKIFLI et al., 2015; HUNG et al., 2016; SRI et al., 2016; IBRAHIM et al., 2017; STOOF; PICKERING, 2018). A utilização do PP reciclado gera um menor impacto ambiental e está alinhado com o conceito de sustentabilidade, que busca o reciclar, reduzir e reutilizar em prol da preservação dos recursos não renováveis da natureza (MARTINS; PAOLI, 2001; LILA et al., 2018).

Segundo KARINA et al. (2017), ensaios mecânicos com compósitos de PP reciclado, compatibilizado e reforçado entre 10 e 70 % de lignina de palha de arroz mostraram que não foi identificado mudanças significativas nos valores de resistência à tração e módulo, quando

comparados ao PP virgem, como por exemplo, a resistência à tração do PP reciclado com 10 % de reforço foi de 24,3 MPa e módulo de 1,24 GPa, enquanto o compósito de PP virgem nas mesmas condições obteve 23,4 MPa de resistência à tração e 1,08 GPa de módulo.

SRI et al. (2016) obtiveram um compósito de PP reciclado, compatibilizado e reforçado com 20 % de fibra kenaf. Os resultados mecânicos do compósito mostraram um aumento de 61 % na resistência à tração e 15 % na resistência ao impacto, quando comparado as amostras do PP reciclado.

2.3.2 Reforço natural de resíduo de café

As fibras naturais são biodegradáveis e provenientes de recursos naturais renováveis, diferente das fibras sintéticas (SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018). São classificadas como de origem animal, vegetal ou mineral, porém as mais usadas são as fibras vegetais que podem ser extraídas de sementes, folhas, caules ou cascas (CHAND; FAHIM, 2008; JOHN; THOMAS, 2008). Fibras naturais vegetais, também chamadas de lignocelulósicas, são basicamente compostas por celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, sendo suas quantidades dependentes da maneira como é extraída, da origem e tempo de vida da planta (JOHN; THOMAS, 2008; PEREIRA et al., 2015).

O principal componente das fibras vegetais é a celulose, polissacarídeo semicristalino formado por uma sequência de unidades β -D glucose unidas por ligações glicosídicas β (1 $\rightarrow$ 4) (PEREIRA et al., 2015). Além disso, as fibras vegetais, em geral, são ricas em hemicelulose, polissacarídeo composto por unidades de açúcar - manose, xilose, galactose, arabinose e glucose - que variam sua composição de uma fibra para outra (BALLESTEROS et al., 2014) e em lignina, molécula amorfa complexa formada por anéis aromáticos que incluem grupos fenólico, alifático, metoxil e carbonila (BALLESTEROS et al., 2014; GURUNATHAN et al., 2015).

Apesar da aplicação não estrutural, as fibras naturais são capazes de reforçar um polímero e algumas oferecem propriedades comparáveis com as fibras sintéticas, além de ter uma menor densidade, reduzindo o peso em 15 % (CHAND; FAHIM, 2008; KUMAR et al., 2015; SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018). A porcentagem, a distribuição, o tamanho e a estrutura da fibra interfere nas propriedades almejadas, bem como o uso de tratamentos ou agentes compatibilizantes para melhorar a adesão matriz/reforço (FARUK et al., 2012; PEREIRA et al., 2015).

Segundo MOHAMMADI et al. (2016), compósitos de PP e PE reforçados com 45, 60 e 75 % de palha de arroz apresentaram um expressivo aumento na resistência à tração e um sutil aumento na resistência à flexão, quando adicionado 2 % de agente compatibilizante (Polímero grafitizado com anidrido maleico - PPgMA). A amostra com 45 % de reforço e 2 % de agente compatibilizante, por exemplo, aumentou de 11 MPa para 22 MPa na resistência à tração e de 21 MPa para 23 MPa na resistência à flexão.

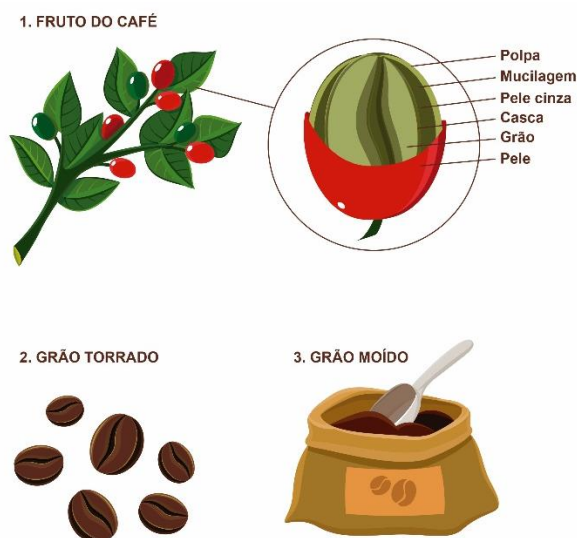
Em adição, estudos com poliestireno de alto impacto (HIPS) reforçado com bagaço de cana de açúcar mostraram que quanto maior a porcentagem de reforço adicionado ao compósito (considerando um máximo de 30% em massa), melhor suas propriedades mecânicas, sem mudanças na estabilidade térmica e na temperatura de degradação (BENINI et al., 2017).

A crescente necessidade de utilização de materiais provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis, em prol da sustentabilidade, tem proporcionado estudos com uma variedade de materiais lignocelulósicos, fibroso ou particulado, para obtenção de compósitos poliméricos (SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018), como palha de arroz (KARINA et al., 2017), bagaço de cana de açúcar (LILA et al., 2018), fibra de coco (OLIVEIRA et al., 2017), coroa do abacaxi (TODKAR; PATIL, 2019), borra de café (YOO et al., 2019) entre outros.

Nesse contexto, o café é uma das *commodities* mais importantes do mundo (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012). O Brasil é um grande produtor e exportador de café, produziu cerca de 61,6 milhões de sacas em 2018 (CONAB, 2019). Esse setor gera um grande resíduo agroindustrial e doméstico que tem sido estudado e reutilizado em alternativas sustentáveis (ATABANI et al., 2017), como compostagem (RELATÓRIO INTERNACIONAL DE TENDÊNCIAS DO CAFÉ, 2016), produção de biodiesel (PUJOL et al., 2013) e reforço de compósitos naturais (MOUSTAFA; GUIZANI; DUFRESNE, 2017).

O grão de café é obtido do fruto do café, como ilustrado na Figura 7. Após a colheita o grão é extraído, torrado e moído, de maneira a obter o pó de café que passa pelo processo de infusão e gera a borra de café (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012). Essa borra é rica em material lignocelulósico constituído principalmente de 30-39% de hemicelulose, 24-27% de lignina, 13-17% de proteínas e 9-18% de celulose (MUSSATTO et al., 2011; BAEK et al., 2013; PUJOL et al., 2013; BALLESTEROS et al., 2014).

Figura 7 – Ilustração da obtenção do grão de café moído.



Fonte: Adaptado de Esquivel; Jiménez (2012) e Campos-Vega et al. (2015).

Atualmente, há um crescimento de pesquisas que investigam esse resíduo orgânico como matéria-prima para obtenção de compósitos naturais (BAEK et al., 2013; GARCÍA-GARCÍA et al., 2015; LEE et al., 2015; CATALDO et al., 2017; MOUSTAFA et al., 2017; ESSABIR et al., 2018; YOO et al., 2019).

LEE et al. (2015) compararam as propriedades mecânicas de filmes de nanocompósitos de poliacetato de vinila (PVA) com 1, 2 e 3 % (em massa) de borra de café e PVA com negro de fumo nas mesmas porcentagens. O compósito reforçado com a borra de café obteve melhores valores de resistência à tração e módulo de Young para todas as porcentagens, como por exemplo, o compósito reforçado com 1 % de borra de café obteve 100 MPa de resistência à tração, enquanto o reforçado com 1 % de negro de fumo obteve 85 MPa. Resultado que está relacionado com a compatibilidade matriz/reforço, visto que o PVA é hidrofílico assim como as fibras naturais.

ESSABIR et al. (2018) investigaram a influência da borra de café, in natura, tratada e compatibilizada, como reforço (5, 10, 15 e 20 % em massa) em matriz de PP. Foi observado que a quantidade de reforço na matriz causou mudanças nas propriedades mecânicas do compósito. As amostras com 15 e 20 % de reforço in natura apresentaram uma redução de 6,6 % na resistência à tração e um aumento de 20 % no módulo de Young, em relação a amostra com 5 % de reforço in natura. Em adição, as amostras com 15 % de reforço tratado e compatibilizado, apresentaram aumento de 4 e 6 %, respectivamente, na resistência à tração comparando a amostra com reforço in natura.

A aplicação de resíduos orgânicos doméstico em novos materiais está diretamente relacionada com a construção de uma sociedade com valores e padrões sustentáveis, onde a conscientização sobre o consumo e descarte dos resíduos esteja presente no cotidiano do ser humano.

2.3.3 Adesão matriz/reforço

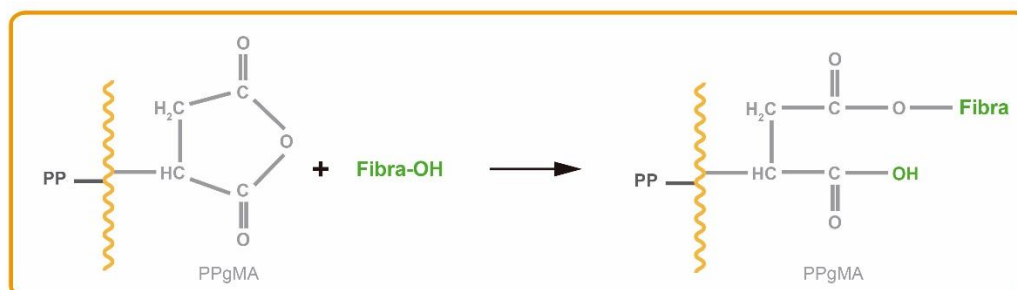
Na interface matriz/reforço há a união física, química ou mecânica dos componentes, onde a boa adesão entre eles influencia diretamente nas propriedades mecânicas do compósito (ZHOU et al., 2016). A compatibilidade entre um polímero e um reforço natural não é adequada, a superfície das fibras/partículas apresentam características hidrofílicas, ou seja, absorvem água, enquanto a maioria dos polímeros, principalmente termoplásticos, possuem característica hidrofóbica (PEREIRA et al., 2015), influenciando em uma má adesão entre a matriz e o reforço. Deste modo, a adesão de um compósito natural, ou seja, a interação/ligação entre matriz e reforço, pode ser aprimorada através de tratamentos físicos e químicos ou uso de agentes compatibilizantes, de maneira a aprimorar os resultados mecânicos do material (NACHTIGALL et al., 2007; PEREIRA et al., 2015). Além disso, o reforço particulado têm a disposição natural de formar aglomerados (BENINI et al., 2017), que são concentradores de tensão, diretamente relacionados com a homogeneização inadequada e/ou fraca adesão matriz/reforço, que causam a queda das propriedades mecânicas do material (ZULKIFLI et al., 2015; ESSABIR et al., 2018).

Os agentes compatibilizantes fazem uma ligação química entre o polímero e o reforço, obtendo efetivo aumento de adesão interfacial e auxiliam na melhor dispersão das partículas (MOHANTY et al., 2005). No caso de poliolefinas, o mais usado é o polímero grafítico com anidrido maleico (PPgMA ou PEGMA), onde a massa molecular e o número total de acidez (TAN) estão diretamente relacionados com a qualidade das ligações químicas formadas entre matriz/agente/reforço e, conseqüentemente, nas propriedades do compósito (KEENER et al., 2004; MOHANTY et al., 2005; FRANCO-MARQUÈS et al., 2011). De acordo com NACHTIGALL et al. (2007), além de proporcionar melhora na adesão matriz/reforço, o anidrido maleico influencia no aumento da temperatura de degradação das fibras naturais, que em geral é baixa, o que atrapalha o processamento e o ganho de propriedades mecânicas.

O polímero grafítico com anidrido maleico se liga quimicamente ao polímero e aos grupos hidroxilas na superfície do material natural, proporcionando uma diminuição do seu

caráter hidrofílico devido à remoção dos grupos OH da superfície, conforme esquema da Figura 8 (CORREA et al., 2007; ZHOU et al., 2016).

Figura 8 - Esquema da reação do PPgMA com a fibra natural



Fonte: Adaptado de Correa et al. (2007) e Zhou et al. (2016).

ZULKIFLI et al. (2015) compararam compósitos de PP reciclado reforçado com 2, 5, 10, 20, 40 e 50 % de celulose com e sem 3 % de PPgMA. Os resultados mostraram que o aumento na quantidade de reforço causou uma diminuição nas propriedades mecânicas. Entretanto, a adição do PPgMA nas amostras com 5, 10, 20 e 40 % causou o aumento na resistência à tração, no módulo de Young e na resistência ao impacto, mas houve uma queda na ductilidade do material. A análise morfológica mostrou uma homogeneidade na distribuição das fibras e uma forte adesão entre matriz e reforço.

KEENER et al. (2004) avaliaram a influência de diferentes tipos de PPgMA (Epolene G-3003, G-3015 e E-43), com 1, 3 e 5 %, nas propriedades do compósito de PP reforçado com 30 % juta. Foi observado que as amostras compostas por 3 e 5 % de Epolene G-3015 obtiveram os melhores resultados de resistência à tração (55.9 e 54.4 MPa), resistência à flexão (82.5 e 84.3 MPa), e resistência ao impacto (21,3 e 20,7 kJ/m²). A performance do Epolene G-3015 está relacionada com seus valores intermediários de massa molecular e número total de acidez, ficando entre os outros dois tipos de PPgMA.

2.4 DESIGN SUSTENTÁVEL

O design de um produto está relacionado com a engenharia e o pensamento criativo (CUCUZZELLA, 2016). A engenharia promove a competitividade dos produtos com novos materiais, tecnologias e processos de fabricação (SIDDHARTH; SARKAR, 2017), enquanto que os designers, como produtores de cultura, utilizam a criatividade na geração de ideias inovadoras para o desenvolvimento de novos produtos (CUCUZZELLA, 2016). Além disso,

muito tem se discutido sobre um design que, além de utilizar da tecnologia e da criatividade, incorpora a sustentabilidade, tornando-se agente de transformação social, econômica e ambiental (SKERLOS, 2015; CUCUZZELLA, 2016; AHMAD et al., 2018; ROCHA et al., 2019).

Nesse contexto, a transformação com cunho sustentável envolve a criação de novos materiais, novos meios de produção e novos produtos que permitam reciclagem e reuso (RYAN et al., 1992; HAMAD et al., 2013).

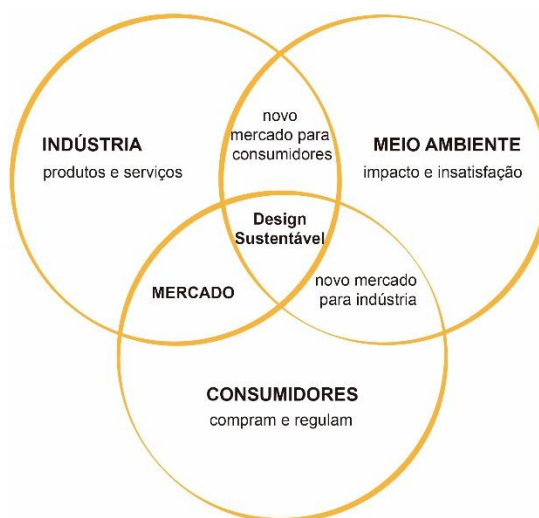
De acordo com a literatura, os termos eco-design e green design apareceram nos anos 90 e baseavam-se em um projeto de produto que não impactasse ao meio ambiente, desde a matéria-prima até o fim de vida útil (RYAN et al., 1992; CESCHIN; GAZIULUSOY, 2016; AHMAD et al., 2018). Logo, as implicações desses termos estão relacionadas a um processo que considera a sustentabilidade e o meio ambiente durante todo o ciclo de vida do produto (RYAN et al., 1992; HE; GU, 2016).

Segundo MCLELLAN et al. (2009) e CHANG; TSAI (2015), se a sustentabilidade for introduzida dentro da metodologia do projeto de um produto, a preocupação com o meio ambiente fará parte de todo o processo de desenvolvimento do produto, com pouco ou nenhum impacto ambiental. Cerca de 80 % do impacto gerado é definido durante a fase projetual do produto (AHMAD et al., 2018).

Todavia, o termo mais recente é o design para o comportamento sustentável ou design sustentável, que além de considerar todo o ciclo de vida do produto, considera também o comportamento e interação do consumidor com os produtos, pois os mesmos geram um considerável impacto ambiental (WEVER, 2012; CESCHIN; GAZIULUSOY, 2016). Segundo ROCHA et al. (2019), o design sustentável envolve uma transformação através de uma abordagem preventiva com inovações tecnológicas e sociais, questionamentos sobre a existência do produto em si, novos métodos para satisfazer as necessidades e avaliação dos impactos globais de longo prazo com base nos impactos ambientais, sociais e econômicos.

O modelo estrutural da Figura 9 define o design sustentável no centro de três grandes círculos interligados: indústria, consumidores e meio ambiente, evidenciando o fato que um projeto sustentável deve estar alinhado com a indústria, que fabrica os produtos, com o consumidor, que compra e regula esses produtos, e com o meio ambiente, que é fonte de recursos naturais renováveis e não renováveis (RIEL et al., 2015; SKERLOS, 2015). Além disso, com este modelo estrutural é possível entender as relações necessárias para inserir produtos sustentáveis no mercado de maneira eficaz (SKERLOS, 2015).

Figura 9 – Modelo estrutural de design sustentável.

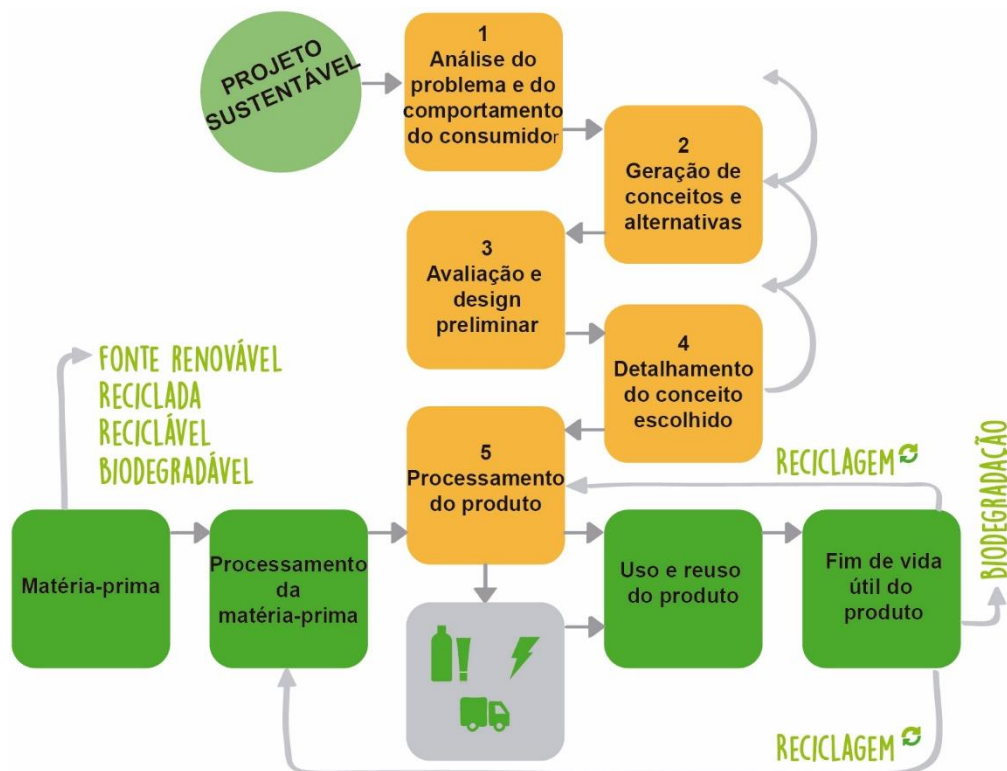


Fonte: Adaptado de Skerlos (2015).

De acordo com a norma ISO-TR 14062:2004, aspectos ambientais devem ser integrados ao projeto e ao desenvolvimento de produtos. O processo de integração é contínuo e flexível, objetivando a criatividade, inovações e melhoria ambiental (“ISO/TR 14062. 2004”). Logo, o esquema da Figura 10 foi adaptado de forma a inserir a sustentabilidade no processo de design convencional, tendo como objetivo matérias-primas, uso e pós-uso que não agredam ao meio ambiente (METZGER; EISSEN, 2004; LI et al., 2017; SCHRECK; WAGNER, 2017).

Segundo SILVA e VALARELLI (2006), o designer pode ser um importante instrumento no desenvolvimento de novos materiais oriundos de recursos renováveis, impactando menos o meio ambiente. Além disso, a embalagem, a energia gasta e o transporte devem ser considerados para que o produto chegue ao consumidor, seja consumido e descartado de maneira adequada (GAGNON et al., 2012). E ainda, o comportamento do consumidor deve ser analisado e respeitado desde o início do pensamento projetual de forma a unir a sustentabilidade do processo com a sustentabilidade no consumo durante o tempo de vida útil do produto (WEVER, 2012).

Figura 10 – Processo de design sustentável.



Fonte: Adaptado de Gagnon et al. (2012).

O design unido à sustentabilidade objetiva o desenvolvimento de produtos que atinjam a todos os nichos da sociedade e não meramente objetos de desejo de um nicho financeiramente agraciado trazendo assim, transformação social, econômica e ambiental. Além disso, essa maneira de projetar produz um pensamento crítico sobre o consumo e o desperdício.

2.5 COMPOSTEIRAS E O PROCESSO DE COMPOSTAGEM DOMÉSTICA

No Brasil, aproximadamente 214 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos foram gerados, por dia, durante o ano de 2016, onde 51,4 % corresponde aos resíduos orgânicos (ABIPLAST, 2016; ABRELPE, 2016). Mediante ao grande volume e impacto desses resíduos, a compostagem doméstica surgiu como meio sustentável de descentralizar os resíduos orgânicos municipal, reduzindo o volume que vai para os aterros sanitários e o investimento econômico, material e energético em infraestrutura (LLEÓ et al., 2013; VÁZQUEZ; SOTO, 2017). Além disso, o processo de compostagem previne a poluição e aumenta o tempo de vida dos aterros sanitários (SINGH et al., 2011). No Canadá, cerca de

50% dos resíduos orgânicos municipais já são descentralizados em sistemas de compostagem (VÁZQUEZ; SOTO, 2017).

Compostagem é um processo de degradação biológica onde os resíduos orgânicos entram em contato com o solo e são transformados em adubo agrícola (COOPERBAND, 2000; COLÓN et al., 2010). O processo produz um adubo líquido, chamado de biofertilizante, e o húmus, que é um material orgânico escuro, úmido e rico em nutrientes (AMORIN et al., 2016). Os resíduos orgânicos são a fonte de nutrientes para as plantas e, por isso devem ser ricos, principalmente, em carbono (C), como casca de árvores, folhas secas e palhas, e em nitrogênio (N), como restos de vegetais, frutas e esterco de animais (AQUINO et al., 2005; SEBRAE, 2014). A quantidade de C/N ideal deve ser de 30/1 e está relacionada com a velocidade do processo de decomposição dos resíduos (SEBRAE, 2014). Além disso, a qualidade do composto está diretamente ligada com a fonte e proporção da matéria orgânica usada e com o processo e tempo de compostagem (MUSCOLO et al., 2018).

Na Tabela 2 é possível observar a caracterização química de três diferentes experimentos de compostagem, após 120 dias. No 1º experimento o pH neutro do solo foi mantido no composto (WANGEN; FREITAS, 2010). Entretanto, o 2º e 3º experimentos se comportaram de maneira similar no que diz respeito ao pH, pois ambos os compostos apresentaram pH alcalino, apesar de inicialmente o solo ter pH neutro (STORINO et al., 2016; MUSCOLO et al., 2018). Além disso, os dados mostram a riqueza de nutrientes encontrados nos três compostos, sendo os principais o C, N, K e Ca.

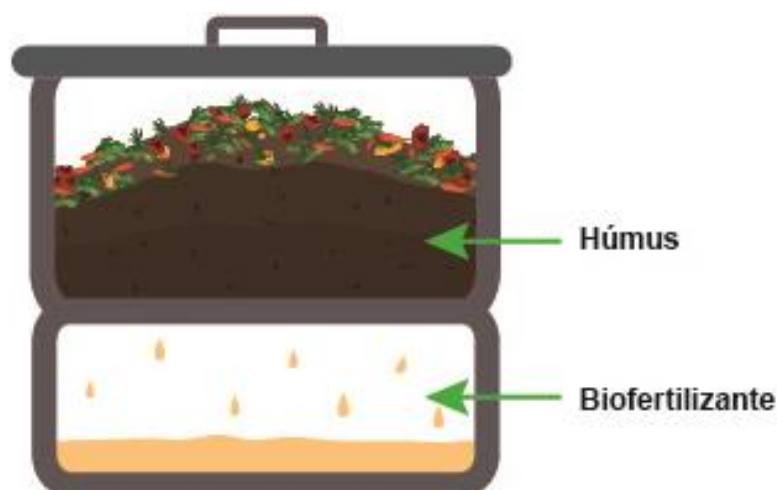
A Figura 11 representa a ilustração do esquema de uma composteira em corte, onde o recipiente superior, que deve permanecer fechado durante o processo, armazena o solo e os resíduos orgânicos, e o recipiente inferior armazena o fertilizante líquido gerado pelo processo de compostagem, que goteja através de pequenos orifícios no fundo do recipiente superior (AMORIN et al., 2016). Com o objetivo de homogeneizar e acelerar o processo, os resíduos orgânicos geralmente são picados em partículas entre 1 e 5 cm (WANGEN; FREITAS, 2010; SEBRAE, 2014).

Tabela 2 - Composição química de três diferentes compostos após 120 dias: (1ª) uma adição de resíduos variados preenchendo 50 % da composteira, (2ª) uma adição de resíduos variados a cada semana, durante as sete primeiras semanas e (3ª) uma adição de resíduos com 10 % de feno e 90 % de vegetais.

Caracterização do composto	1ª	2ª	3ª
pH	7,5	8,7	8,3
Umidade (%)	64,3	-	-
Matéria orgânica total (%)	49,7	57,0	-
Carbono orgânico total (C) (%)	27,6	37,8	24,0
Nitrogênio total (N) (%)	1,9	2,7	2,0
Relação C/N	14,1	14,6	12,0
Fósforo (F) (%)	0,9	0,5	0,1
Potássio (K) (%)	2,8	1,6	2,4
Cálcio (Ca) (%)	3,4	2,9	0,07
Magnésio (Mg) (%)	0,4	0,3	0,1
Enxofre (S) (%)	0,4	0,3	0,9
Sódio (Na) (%)	0,2	0,3	0,4
Ferro (Fe) (%)	2,3	0,1	-

Fonte: Adaptado de Wangen; Freitas (2010); Storino et al. (2016) E Muscolo et al. (2018).

Figura 11 - Imagem em corte de uma composteira.



Fonte: O Autor (2018).

As composteiras domésticas podem estar no ambiente interno ou externo da casa, onde as condições do ambiente devem ser consideradas, a fim de iniciar uma coleta de dados, como

por exemplo, a composteira não deve ficar excessivamente exposta ao sol e nem a sombra, pois os resíduos não devem ficar muito úmidos e nem muito secos (COLÓN et al., 2010). O fechamento adequado do recipiente é indispensável, a fim de manter as condições adequadas para o processo, além de evitar a entrada de insetos e pequenos roedores e a proliferação de maus odores (AMORIN et al., 2016). Além disso, o sucesso da decomposição dos resíduos orgânicos está relacionado com o controle da temperatura, que deve ser verificada diariamente, estando o desejável entre 35-60 °C e, com o controle da umidade, pois os resíduos não podem se tornar excessivamente úmidos ou secos, mantendo a umidade entre 55-60 % (WANGEN; FREITAS, 2010; SINGH et al., 2011; AMORIN et al., 2016). O nível de oxigênio também deve ser considerado, de maneira a influenciar a proliferação de microorganismos aeróbicos ou anaeróbicos que vão decompor os resíduos orgânicos. Quanto mais microorganismos aeróbicos, mais rápido o processo de compostagem (WANGEN; FREITAS, 2010).

Atualmente, há no mercado algumas opções de composteiras domésticas prontas para uso. Com o objetivo de avaliar a funcionalidade, sustentabilidade e estética das composteiras existentes, uma breve análise foi realizada com composteiras nacionais e internacionais, conforme os Quadro 1 e 2, respectivamente. As definições dos critérios, desenvolvidas pela autora, seguem abaixo:

- Funcionalidade (F): correto desempenho da função que o produto foi criado para ter (DICIO, 2017) e está relacionado com eficiência. A função da compostagem é produzir adubo agrícola, sólido e líquido. Portanto, este item prevê se a função do produto é alcançada, assim como, se há facilidade e praticidade no uso e armazenamento.
- Sustentabilidade (S): diz respeito ao uso de materiais e processos que não prejudiquem ao meio ambiente e as gerações futuras (DICIO, 2017), durante a produção, vida útil e descarte de um produto. Como o processo de compostagem já é um processo sustentável, este item prevê apenas o impacto do material da composteira no meio ambiente.
- Estética (E): aparência harmoniosa na forma do produto (DICIO, 2017). Este item prevê um design limpo, atrativo, com forma que facilite a fabricação e o uso.

Quadro 1 – Análise de composteiras nacionais.

Composteiras Nacionais	Informações técnicas e Análise dos critérios
	1. Composteira Humi R\$ 303 Dimensões: 60 cm (comp.) x 42 cm (larg.) x 78 cm (alt.) Capacidade: 45 L (sólido), 8 L (líquido) e 2 kg/dia de resíduos. Material: 100% reciclada de caixas de Longa Vida pós-consumo. Itens: duas caixas (sólido), base (líquido), tampa, torneira, manual de compostagem doméstica e suporte técnico. (F): ● (S): ● (E): ●
	2. Composteira Ecopedagógica R\$ 230 Dimensões: 26,5 cm (Ø) x 37 cm (alt.) Capacidade: 15 L cada e 0,5 L/dia de resíduos. Material: plástico transparente. Itens: dois recipientes (sólido), recipiente inferior (líquido), tampa, torneira, minhocas californianas, serragem e manual. (F): ● (S): ● (E): ●
	3. Composteira de jardim Tramontina R\$ 830 Dimensões: 64,5 cm (comp.) x 64,5 cm (larg.) x 98 cm (alt.) Capacidade: 250 L total Material: polietileno (90% de material reciclado) Itens: forma única, tampa com trava de segurança, duplo acesso para extrair o composto. Obs: Não há um local separado para armazenar o líquido gerado. (F): ● (S): ● (E): ●
	4. Composteira doméstica CompostAí R\$ 120 Dimensões: não mencionado Capacidade: 15 L cada balde Material: não mencionado (possível reutilização de balde de óleo) Itens: três baldes, tampa, torneira e minhocas californianas (adesivo com indicação dos resíduos orgânicos adequados para utilização). (F): ● (S): ● (E): ●
Legenda: Bom ● Médio ● Insatisfatório ● Fonte: Compostai (2018); Ecoisas (2018); Morada da Floresta (2018).	

Quadro 2 – Análise de composteiras internacionais.

Composteiras Internacionais	Informações técnicas e Análise dos critérios
	5. Composteira de Cozinha (fabricada no Reino Unido) U\$ 60 Dimensões: 39 cm (comp.) x 28 cm (larg.) x 34 cm (alt.) Capacidade: não mencionado. Material: não mencionado. Itens: forma única, tampa e torneira. Obs: Há uma solução de micróbios “amigáveis” que fermentam os resíduos orgânicos. (F): ● (S): ● (E): ●
	6. Composteira Jarst (design italiano) Protótipo, ainda sem valor de mercado. Dimensões: não mencionado Capacidade: não mencionado Material: polipropileno reciclado Itens: vaso de planta e composteira acoplada, com tampa, filtro de carvão ativado e um diafragma que libera o húmus no solo quando o composto está pronto. Obs: Não há um local separado para armazenar o líquido gerado. (F): ● (S): ● (E): ●
	7. Composteira Urbalive (design europeu) € 149 Dimensões: 50,5 cm (comp.) x 38 cm (larg.) x 60,5 cm (alt.) Capacidade: não mencionado Material: “plástico durável” Itens: recipiente inferior (líquido) e recipiente superior com tampa (sólido) e torneira. (F): ● (S): ● (E): ●
	8. Recicladora de resíduos ZERA (design americano) U\$ 1000 Dimensões: 55,8 (comp.) x 27,9 cm (larg.) x 86,3 cm (alt.) Capacidade: 3.5 kg/semana de resíduos Material: não mencionado Itens: forma única com estrutura mecânica interna que tritura os resíduos, painel de controle e preparo do fertilizante em 24h, que fica armazenado na gaveta inferior. Obs: Há um aditivo que deve ser colocado para acelerar o processo. Aparentemente não há necessidade de adicionar terra. A forma foi feita para encaixar no mobiliário da cozinha. (F): ● (S): ● (E): ●

Legenda: Bom ● Médio ● Insatisfatório ●

Fonte: Compostinghome (2018); Ilersis (2018); Urbalive (2018); Wlabs Innovations (2018).

Como síntese é possível concluir que apesar de todas as composteiras apresentarem funcionalidade no que diz respeito ao processo de compostagem, algumas não levaram em consideração o fertilizante líquido gerado. Devido à dimensão e peças empilhadas, algumas não possuem a possibilidade de mudança de lugar, o que é necessário dependendo da exposição ao sol ou sombra. Somente as composteiras 1, 3 e 6 são consideradas sustentáveis mediante ao uso de material reciclado, porém em nenhuma composteira há menção de como será feito o descarte após o fim de vida útil. Os critérios estéticos só se aplicam as composteira 6, 7 e 8 devido ao conceito diferenciado de design, as demais são recipientes empilhados ou formas mal trabalhadas. O custo também foi considerado e está acima de R\$120 restringindo seu uso a uma população de classe média. A composteira 8, apesar de não ser o foco deste projeto, enriqueceu a análise por trazer um processo mecânico para a compostagem, que facilita e acelera o processo, porém com um valor comercial muito alto.

A partir desta análise, o conceito de design de composteira doméstica para este trabalho irá proporcionar funcionalidade, no que diz respeito ao manejo de tampas e alças, mudança de um local para outro e correto armazenamento do adubo sólido e líquido gerado no processo. Além disso, deverá ser esteticamente limpa e atrativa, além de uma forma inovadora e compacta e custo que agregue a maior parte da população como consumidor. Inclusivamente, a matéria-prima será proveniente do uso de resíduos considerando o ciclo de vida do novo material, a fim de garantir uma composteira 100% sustentável.

2.6 DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS

Um produto plástico passa por mudanças irreversíveis durante seu tempo de vida útil, devido à exposição a diferentes condições do meio de uso, como temperatura, luz, umidade, produtos químicos e esforço mecânico (CUI et al., 2013). Tais exposições podem iniciar a degradação polimérica através do rompimento de ligações químicas, que geram radicais livres e aceleram o processo (DEPAOLI, 2008).

Os vários tipos e mecanismos da degradação em plásticos foram discutidos por SINGH e SHARMA (2008), como fotodegradação, degradação térmica, degradação mecânica e química e biodegradação. Entretanto, independente do iniciador da degradação, o polímero pode sofrer mudanças em suas propriedades químicas, físicas e mecânicas (BENINI et al., 2011).

Atualmente, há muita abordagem sobre a degradação de poliolefinas na literatura, devido, principalmente, as suas propriedades que proporcionaram seu crescimento e expansão

dentro dos diversos setores industriais (LONGO et al., 2011; AMINTOWLIEH et al., 2014; CHAMMINGKWAN et al., 2017; AUTA et al., 2018). Apesar de as poliolefinas apresentarem uma alta estabilidade química, elas podem sofrer oxidação durante o processo de pelletização e causar a iniciação da degradação nas ligações mais fracas, como carbonos terciários e contaminantes (CHAMMINGKWAN et al., 2017).

O PP é uma poliolefina difícil de degradar, ocorrendo em temperaturas acima de 200 °C e na presença de alguns iniciadores (BERTIN et al., 2010; BUTNARU et al., 2016). Todavia, estudos relacionados com biodegradação mostram que compósitos de PP reforçados com biomassa foram expostos a uma cultura de fungos por sete semanas e apresentaram cisão na cadeia polimérica (BUTNARU et al., 2016). Além disso, SCHOOLENBERG; VINK (1991) observaram uma fragilização no PP exposto a 300 h de raios ultravioleta (UV), com a presença de fissuras na superfície do material.

Nesse contexto, a fotodegradação, a biodegradação e, outras reações de degradação podem causar a falha mecânica do material. Logo, a importância de entender a influência do iniciador na cadeia polimérica e os efeitos da degradação nas propriedades do polímero é essencial para prevenir as falhas (CUI et al., 2013).

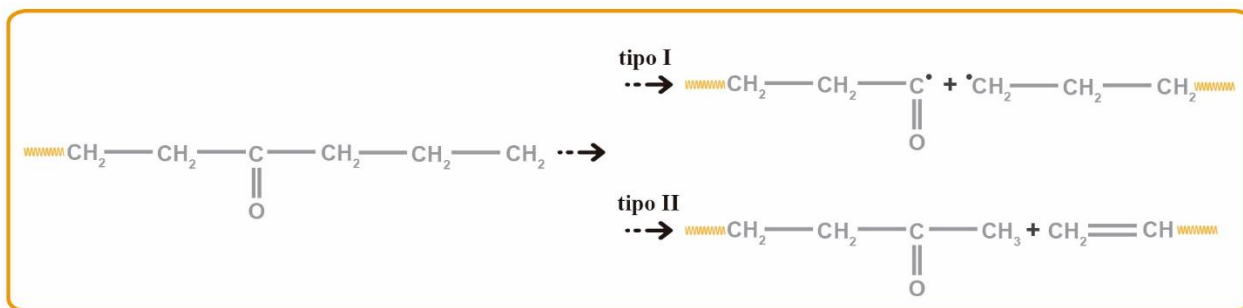
2.6.1 Fotodegradação

A maioria dos polímeros sintéticos são suscetíveis a iniciarem a degradação através da absorção de luz nas faixas de comprimento de onda entre a radiação ultravioleta (200 a 370 nanômetros) e a luz visível (370 a 700 nanômetros), resultando na fotodegradação do material. A absorção de luz ocorre através da presença de grupos cromóforos, intrínsecos ou extrínsecos (contaminantes) ao polímero, como as ligações C=O e C=C conjugadas (SCHNABEL, 1981; DEPAOLI, 2008).

As duas principais reações que ocorrem nos polímeros são a Norrish tipo I e tipo II com grupos carbonilas (C=O) na cadeia lateral ou principal, conforme Figura 12. Na Norrish tipo I acontece a cisão de cadeia com formação de radicais livres que irão acelerar o processo de degradação. Enquanto na Norrish tipo II ocorre a formação de C=C na extremidade da cadeia (DEPAOLI, 2008).

A fotodegradação é um processo que ocorre na superfície do polímero, com profundidade de alguns µm de espessura. Desta forma, os maiores danos causados ao polímero são o efeito amarelado, a perda de propriedades mecânicas, bem como mudanças no peso e distribuição da massa do polímero (DEPAOLI, 2008; SINGH; SHARMA, 2008).

Figura 12 – Reações Norrish tipo I e II em grupos carbonilas na cadeia principal.



Fonte: Adaptado de Depaoli (2008).

BENINI et al. (2011) analisaram o efeito da fotodegradação em compósito de HIPS com bagaço tratado (10 e 20 %, em massa) através do envelhecimento acelerado. A exposição aos raios UV e umidade foi simulada, de maneira controlada, em uma câmara de envelhecimento, com ciclos de 8h de UV e 4h de condensação. Após a exposição, foi realizada uma comparação entre o compósito e o HIPS puro, onde foi observado que o compósito sofreu danos mais efetivos. Além disso, foi observado o amarelamento na superfície do material compósito, bem como uma queda nos valores de resistência à tração, para todas as porcentagens, indicando que há um processo de degradação nas fibras do bagaço. Entretanto, a análise morfológica por MEV identificou que não houve degradação na interface matriz/reforço.

2.6.2 Biodegradação

A biodegradação é um processo de decomposição através da ação de microrganismos, que colonizam a superfície do material (SEKHAR et al., 2016; DICIO, 2017). É caracterizada, principalmente, pela perda de peso do material, mudanças na resistência à tração e na distribuição da massa do polímero (SINGH; SHARMA, 2008). Os métodos de análises são a exposição ao solo ou ao composto orgânico e cultura com bactérias ou fungos, entretanto a degradação só acontece quando as condições adequadas do meio são alcançadas, como temperatura, presença ou não de oxigênio, pH e umidade (DEPAOLI, 2008; SINGH; SHARMA, 2008; CHUENSANGJUN et al., 2013). Além disso, para que o polímero seja um nutriente para os microrganismos é necessário que o mesmo produza a enzima adequada para quebrar ligações químicas da cadeia polimérica, como por exemplo, os polímeros naturais, ricos em celulose, necessitam de um microrganismo que produza a enzima celulase (DEPAOLI, 2008).

CHUENSANGJUN et al. (2013) analisaram diferentes blendas de filmes de políácido láctico (PLA) enterradas em solo em condições laboratoriais e concluíram que depois de uma semana de exposição, as blendas ficaram quebradiças, turvas e apresentaram perda de massa molecular. Além disso, o filme com 60% de PLA, após exposição ao solo, obteve um aumento em sua temperatura de Transição Vítrea (Tg), de 46,0 °C para 59,26 °C (CHUENSANGJUN et al., 2013).

A análise de biodegradação do policaprolactona (PCL) reforçado com borra de café in natura e tratada, exposto ao solo simulando o aterro sanitário, mostrou que o compósito com o reforço tratado sofreu um ataque por microorganismos acelerado, comparado ao compósito com o reforço in natura e com o PCL puro (MEI et al., 2017).

Compósitos de resina de poliéster reforçado com fibra da palmeira, após 180 dias em contato com composto orgânico, apresentaram fungos na superfície do material, levando a perda de 63,2 % de resistência à flexão do material compósito (ARAUJO e MULINARI, 2015).

3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi reciclar mecanicamente cápsulas de café expresso de maneira que o polímero reciclado seja utilizado como matriz e a borra de café como reforço na obtenção de compósitos naturais. O compósito será considerado como matéria-prima no design sustentável de uma composteira doméstica (3D). Para atingir este objetivo geral, alguns objetivos específicos foram alcançados:

- ✓ Obtenção de corpos de prova dos compósitos através de homogeneizador de plásticos e moldagem por injeção;
- ✓ Caracterização dos compósitos quanto às suas propriedades mecânicas, térmicas e químicas;
- ✓ Caracterização dos compósitos quanto à biodegradação e fotodegradação;
- ✓ Design sustentável de composteira doméstica que inclua todos os nichos de consumidores, considerando a produção de uma composteira de baixo custo, fácil processamento, funcional, esteticamente atrativa e sustentável;
- ✓ Inserir uma cultura sustentável no meio doméstico que, posteriormente, seja refletida na sociedade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Cápsulas de café expresso Nescafé Dolce Gusto

As cápsulas Nescafé Dolce Gusto utilizadas neste trabalho, foram coletadas, após o consumo, no Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos, no Departamento de Física, no Projeto SAE Aero Design, ambos da FEG/UNESP e no Laboratório de Biocatálise e Bioprodutos - BBioPro da Faculdade de Engenharia de Lorena/USP. Todos os tipos de cápsulas foram coletados, variedades de cafés, chocolates, cappuccinos, chás, etc.

As cápsulas, produzidas e comercializadas pela empresa Nestlé, são feitas em material plástico reciclável e constituídas de uma embalagem externa (PP), contendo em seu interior um filtro plástico (PP), uma folha de alumínio, borra de café (após o uso) ou outro ingrediente como leite, chá, etc, um filme plástico e uma folha laminada colorida (PET/PP) lacrando o sistema, conforme mostra o esquema da Figura 13.

Figura 13 – Modelagem 3D da cápsula Nescafé Dolce Gusto em corte.



Fonte: Adaptado de Bomfim et al. (2019).

No presente trabalho apenas os componentes em PP (embalagem externa e o filtro plástico) foram separados e utilizados como matriz polimérica do compósito e a borra de café presente no interior das cápsulas, cerca de 6g em cada embalagem, foi separada, independente da intensidade e tipo do café expresso, para ser utilizado como reforço lignocelulósico.

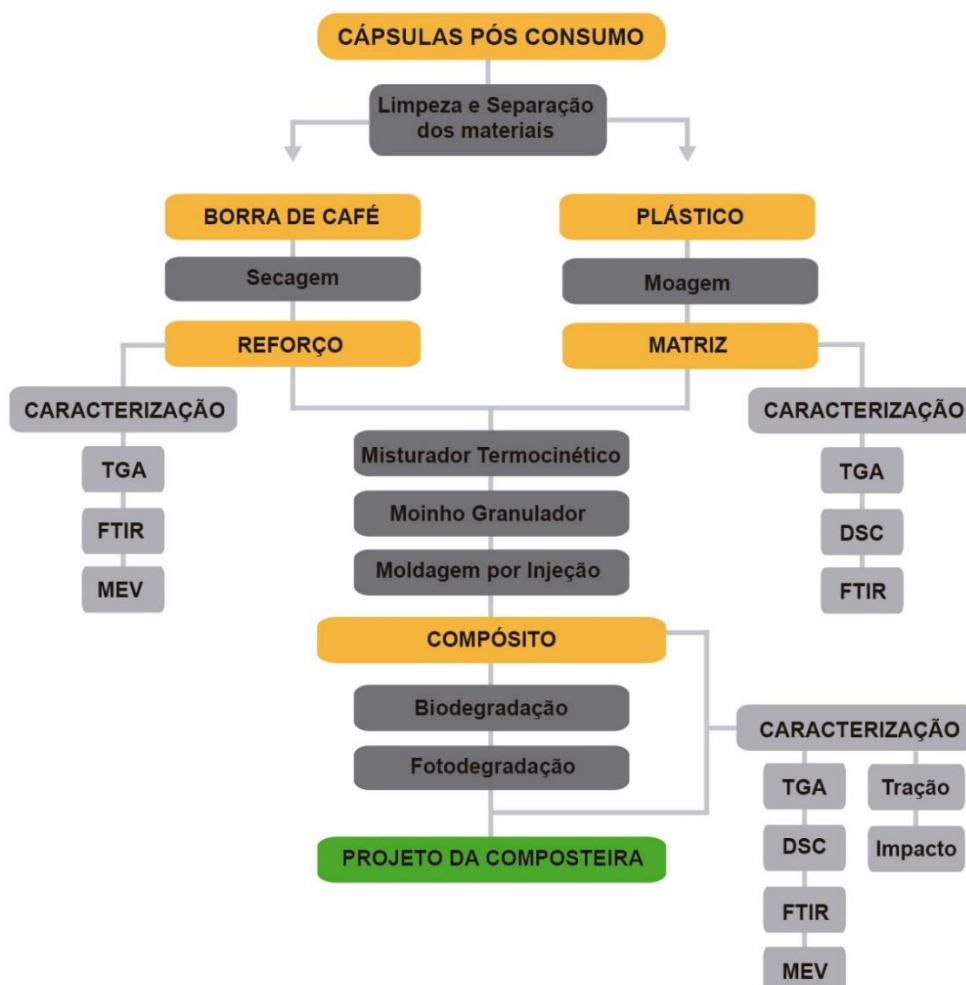
4.1.2 Agente compatibilizante

O compósito foi compatibilizado com o polímero grafitizado com anidrido maleico (PPgMA) Epolene E-43P fabricado pela Westlake Chemical Corporation com peso molecular de 9100 g/mol e índice de acidez de 45 mg KOH/g. O material foi doado pelo Laboratório de Materiais e Processos FAT/UERJ/Resende. A quantidade de material usado seguiu a proporção inicial de 10 % em relação a porcentagem de reforço e posteriormente, foram feitas novas condições com 1 % de PPgMA, com o objetivo de minimizar a fragilização do material.

4.2 MÉTODOS

O fluxograma da Figura 14 destaca os processos de obtenção e caracterização dos compósitos naturais, bem como o projeto de design da composteira doméstica.

Figura 14 – Fluxograma das etapas do projeto.



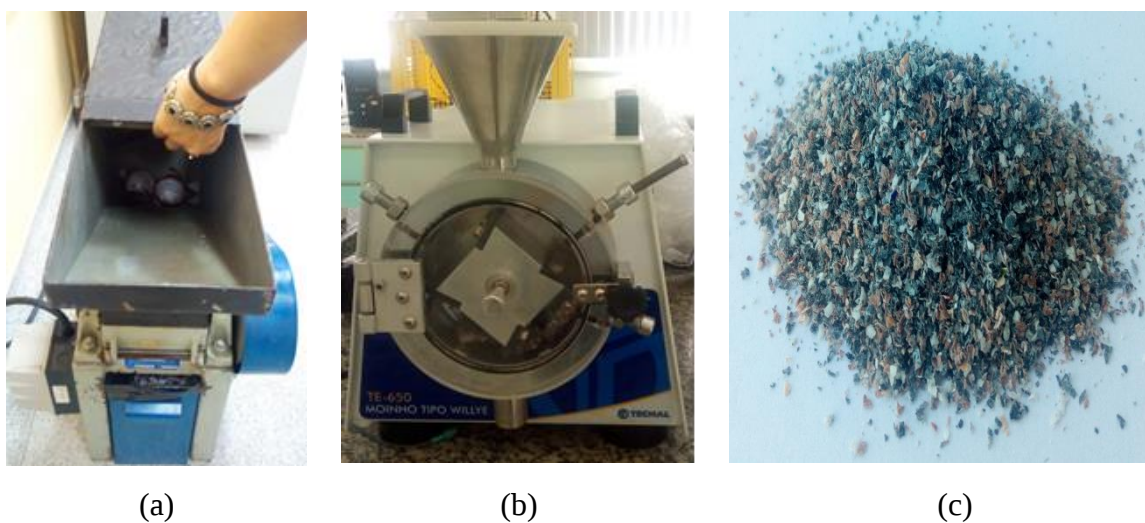
Fonte: O Autor (2017).

4.2.1 Obtenção da matriz polimérica

As cápsulas coletadas foram preparadas para a reciclagem de maneira manual, sendo uma cápsula por vez. Primeiro foi retirado a folha laminada e em seguida o filme plástico acima da borra de café, que foi separada em recipientes. Após a remoção da folha de alumínio e do filtro plástico, os componentes que foram reciclados, embalagem externa e filtro, foram lavados em água corrente, a fim de eliminar vestígios do café. Em seguida, foram secos em estufa a 60 °C por 24 h.

Tendo concluído esse processo, as cápsulas e os filtros foram triturados, em moinho granulador (RONE) instalado no Laboratório de Polímeros FATEC/Pindamonhangaba e com o objetivo de diminuir o tamanho e facilitar o processamento, o material foi triturado novamente em um moinho de facas tipo WILLYE (Tecnal, TE-650) instalado no Laboratório de Polímeros no DMT/FEG/UNESP, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Material plástico em (a) moinho RONE, (b) moinho de facas e (c) cápsulas trituradas após passar pelos dois processos.



Fonte: O Autor (2018).

4.2.2 Obtenção do reforço de borra de café

A borra de café (BC), anteriormente separada, foi colocada em estufa a 60 °C durante 24 h. O material seco particulado passou em peneira com abertura de 24 mesh (0,71 mm) e foi mantido em recipientes fechados até sua utilização como reforço no compósito.

4.2.3 Obtenção do compósito

O plástico reciclado e a borra de café foram secos em estufa a 60 °C durante 24 h para evitar umidade no processamento do compósito. Em seguida, cerca de 50 g de material de plástico reciclado (matriz), PPgMA (agente compatibilizante) e borra de café (reforço) foram colocados, por vez, no misturador termocinético da MH Equipamentos (modelo MH-50H) instalado no Laboratório de Materiais e Processos FAT/UERJ/Resende, de acordo com a composição inicial e as novas composições após ensaio mecânico, apresentadas na Tabela 3. Além disso, para fins de comparação e avaliação dos efeitos da reciclagem nas propriedades do polímero, uma parte do plástico da cápsula foi processado puro (PPR), passando pelas mesmas condições do compósito, moagem, misturador termocinético e injeção. A amostra PPR foi comparada não somente aos compósitos, mas também ao material da cápsula antes de ser reciclado (PPC).

Tabela 3 – Composições dos compósitos.

Composição Inicial			
Amostras	Matriz (% em massa)	Agente Compatibilizante (% em massa)	Reforço (% em massa)
PPR	100	0	0
PPR/30BC	70	0	30
PPR/3PPgMA/30BC	67	3	30
Composição após ensaio mecânico			
Amostras	Matriz (% em massa)	Agente Compatibilizante (% em massa)	Reforço (% em massa)
PPR/1PPgMA/30BC	69	1	30
PPR/20BC	80	0	20
PPR/2PPgMA/20BC	78	2	20

Fonte: O Autor (2019).

Conforme a Figura 16, a mistura ocorreu dentro de uma cápsula bipartida, refrigerada externamente com água, que homogeneizou o material compósito. Após alguns segundos, a massa de material fundido e misturado foi retirada da cápsula e esticada por um rolo plástico à temperatura ambiente.

Figura 16 - Processo em misturador termocinético: (a) equipamento MH-50H, (b) material pronto para ser processado, (c) massa de material homogeneizado e (d) massa de material esticada e seca.



(a)



(b)



(c)

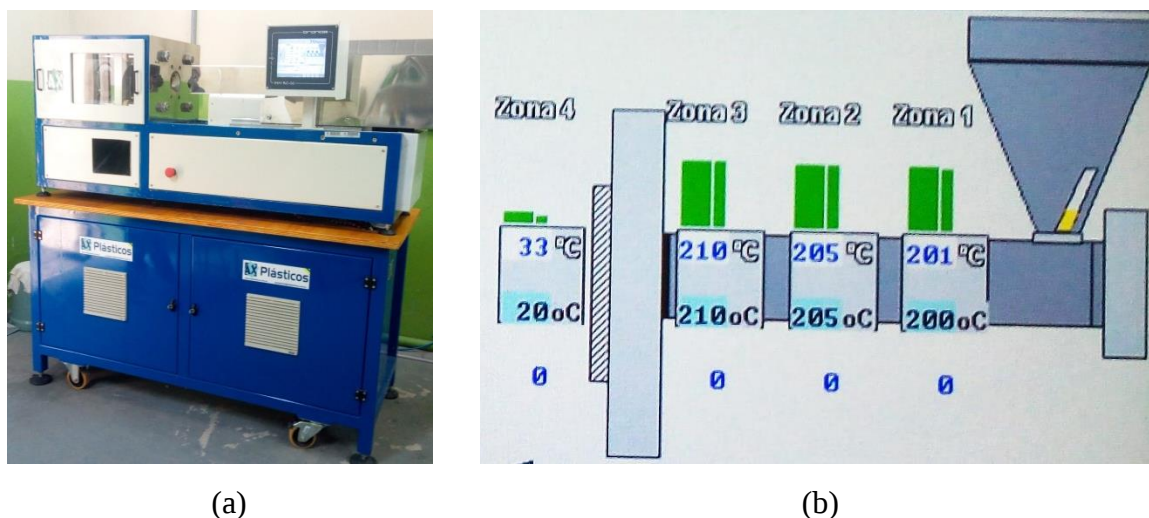


(d)

Fonte: O Autor (2018).

Após esse processo, o material homogeneizado foi triturado em moinho granulador (RONE) e em seguida foi refinado em moinho de facas tipo WILLYE (Tecnal, TE-650). Aproximadamente 450 g de cada compósito foi injetado em molde com cavidades para corpos de prova (CDP) designados para ensaios mecânicos de tração e flexão utilizando a mini injetora AXPLÁSTICOS – modelo AX16I instalada no Laboratório de Materiais e Processos FAT/UERJ/Resende, conforme Figura 17. O perfil de temperatura usado para injeção está apresentado na Figura 17(b). Os demais parâmetros utilizados estão descritos no APÊNDICE A.

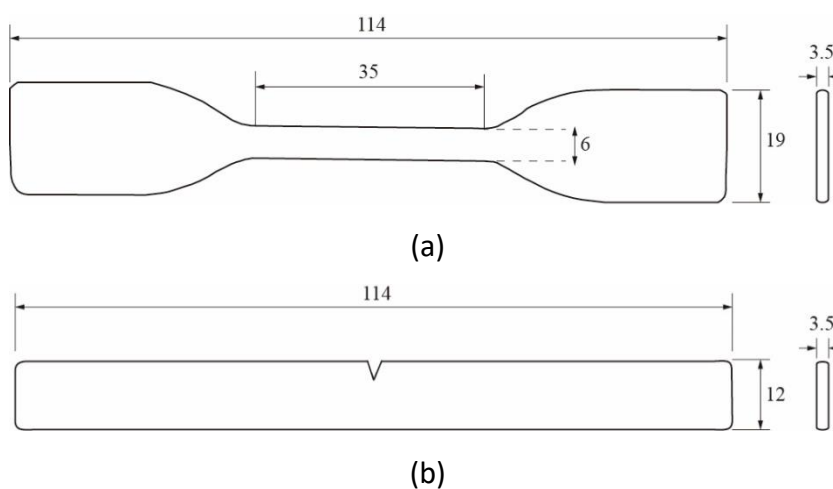
Figura 17 – Processo em Injetora: (a) equipamento AX16I e (b) perfil de temperatura para injeção dos compósitos.



Fonte: O Autor (2018).

Os CDPs de tração e flexão possuem dimensões de acordo com as normas ASTM D638 (tipo IV) e D790, respectivamente. Para os ensaios de impacto foram utilizados os mesmos CDPs de flexão, porém adaptados com a adição do entalhe de acordo com a norma ASTM D6110. Os desenhos de cada CDP com seus respectivos dimensionamentos estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Dimensionamento dos CDPs de (a) tração e (b) impacto.



Fonte: O Autor (2018).

4.2.4 Exposição à degradação

Devido ao longo período de exposição às degradações, apenas as amostras obtidas inicialmente foram expostas e puderam gerar resultados para as discussões.

4.2.4.1 Exposição a Biodegradação

O estudo de biodegradação foi realizado em condições de compostagem com base na norma ASTM D5338-15. Com o objetivo de expor as amostras PPR e PPR/3PPgMA/30BC em condições de compostagem, uma composteira de dimensões 38 x 27 x 16 cm (C x L x A) foi desenvolvida e monitorada, conforme Figura 19.

Figura 19 – Composteira desenvolvida com dois recipientes plásticos (imagem gerada na segunda semana de monitoramento).



Fonte: O Autor (2018).

A composteira foi montada com dois recipientes plásticos empilhados, onde no recipiente superior foi adicionado 3,45 kg de terra seca (70% em massa) e 1,47 kg de resíduos orgânicos variados (30% em massa), como casca de legumes, frutas e folhas secas, além disso, esse recipiente possui furos embaixo, permitindo que o fertilizante líquido, gerado no processo, goteje no recipiente inferior e fique armazenado. O material orgânico foi misturado com a terra e em seguida foram enterrados cinco CDPs de tração e cinco CDPs de impacto das amostras PPR e PPR/3PPgMA/30BC. O recipiente foi fechado e mantido em condições do meio ambiente dentro do Laboratório de Fadiga (DMT/FEG/UNESP), onde foi monitorado durante 120 dias. A temperatura e a umidade do ambiente foram monitoradas, com o objetivo

de não ficar excessivamente úmido e nem quente. Além disso, a umidade, a temperatura e o pH do composto foram medidos uma vez por semana, durante 17 semanas.

4.2.4.1.1 Medição dos CDPs

Inicialmente todas os CDP foram secos em estufa a 60 °C por 24 h e tiveram seu peso medido em balança com precisão de 0,1 mg. As amostras foram desenterradas, lavadas com água destilada, secas com papel toalha para remoção do excesso de água e em seguida em estufa a 60 °C por 10 min, pesadas e enterradas novamente.

4.2.4.1.2 Medição da umidade

A umidade inicial da terra e do composto foi medida em uma balança de umidade MARCONI modelo MA ID50 no Laboratório de captura de carbono e combustão DMT/FEG/UNESP. Aproximadamente 4 g de terra inicial seca e de composto foram analisados por 90 min a 60 °C.

4.2.4.1.3 Medição da Temperatura

Com o objetivo de monitorar a temperatura do solo após a adição do material orgânico e ter o conhecimento do início e fim do processo de compostagem, a temperatura inicial do composto foi medida em um termômetro digital JProLab (-50~300 °C) enterrado na terra até que a temperatura estabilizasse.

4.2.4.1.4 Medição do pH

Com o objetivo de monitorar as mudanças de pH do solo após a adição do material orgânico, o pH inicial da terra e do composto foi medido em um pHmetro KASVI previamente calibrado. Uma amostra de aproximadamente 5 g de terra seca em estufa a 60 °C durante 24h e de composto úmido foram misturados com 50 mL de água destilada em um agitador magnético durante 20 min, gerando uma solução que foi medida no pHmetro.

4.2.4.2 Exposição ao Intemperismo acelerado

O material quando aplicado na composteira, poderá ser exposto a luz solar e a chuva, caso fique no ambiente externo ou na janela da residência. Portanto, foi realizada uma análise de intemperismo acelerado na câmara de teste de radiação UV/condensação Accelerated Wethearing Tester modelo QUV, conforme Figura 20, instalada no Laboratório de Condicionamento Ambiental (DMT/FEG/UNESP). Cinco amostras de PPR e PPR/3PPgMA/30BC foram expostas a 2880 h com ciclos repetitivos de 8 h de radiação UV-B (lâmpada UVB-313) com irradiância de $0,76 \text{ W/m}^2$ a 60°C e 4 h de condensação de água a 50°C . O estudo da fotodegradação, através do intemperismo acelerado foi realizado de acordo com a norma ASTM G154-06.

Figura 20 – Câmara de Intemperismo Acelerado.



Fonte: O Autor (2019).

Inicialmente todos os CDPs foram pesados, secos em estufa a 60°C por 48h e posteriormente pesados novamente em balança com precisão de 0,1 mg. O monitoramento do peso ocorreu uma vez por semana, sempre no mesmo dia, nos períodos de exposição ao UV.

4.2.5 Projeto da Composteira Doméstica

De maneira geral, a metodologia do projeto da composteira foi dividida em três etapas distintas. O processo permite que seja realizado o retorno a uma etapa já avançada para melhoramento do projeto:

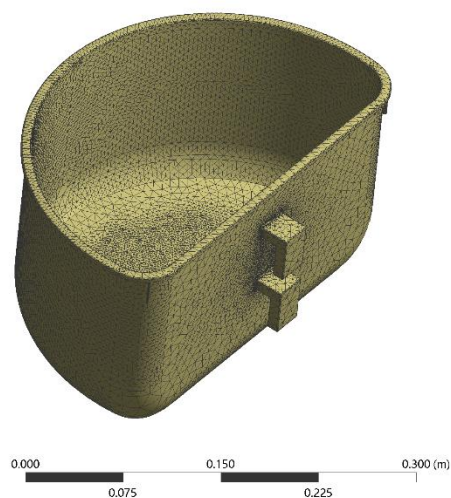
1. Pesquisa e análise das composteiras existentes e definição do ambiente/usuário.
2. Conceituação da composteira e análise das alternativas.
3. Desenvolvimento do conceito(s) escolhido(s).

Na etapa 1 foi conhecido o ambiente doméstico de uso da composteira, citado no item 2.5, bem como uma revisão bibliográfica sobre o tema compostagem doméstica. A partir desses dados foi possível definir o público-alvo do produto como indivíduos de ambos os sexos e todas as idades, desde que haja o pensamento reflexivo sobre reutilização de resíduos e o impacto ambiental de seu próprio lixo. Em seguida, foi realizada uma pesquisa com as composteiras já existentes no mercado, destacando sua funcionalidade, estética e sustentabilidade, conforme item 2.5 (Quadros 1 e 2).

Após a definição do público-alvo e do conhecimento dos pontos positivos e negativos do que já existe no mercado, iniciou-se a etapa 2 de geração de conceitos de design para a composteira. Para isso, várias alternativas foram desenhadas e analisadas de maneira a garantir um design viável e ergonômico, conforme os parâmetros de sustentabilidade deste trabalho.

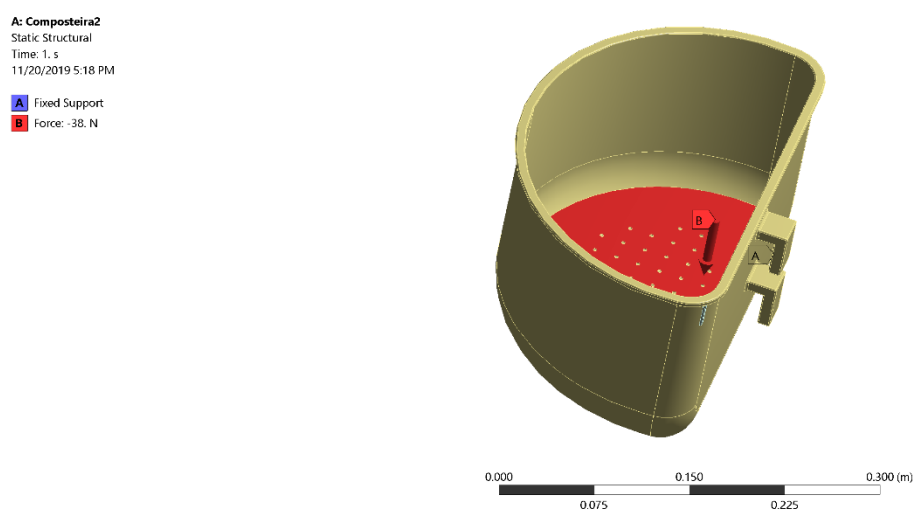
Duas alternativas seguiram para o desenho 3D no software CAD (*SolidWorks*) e dimensionamento. A fase de adequação ergonômica e definição do processo de fabricação com base no material desenvolvido serão realizados em trabalhos futuros. Entretanto, foi realizado um cálculo dos esforços que a composteira estará submetida durante seu uso, através da análise por elementos finitos, utilizando o software Ansys, para avaliar as tensões equivalentes de von Mises e as deformações presentes na composteira projetada a partir do compósito desenvolvido neste trabalho. A Figura 21 apresenta a malha utilizada no modelo contendo 93523 elementos e 181737 nós. A Figura 22 apresenta as condições de contorno do modelo, onde uma força de 38 N foi aplicada a base da composteira, o que equivale a composteira em sua plena capacidade, considerando uma massa específica de 500 kg/m^3 e para o composto um volume de 7741 cm^3 . Os suportes da composteira foram fixados no modelo para simular sua condição real de aplicação.

Figura 21 – Malha utilizada no modelo.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 22 – Condições de contorno do modelo.



Fonte: O Autor (2019).

4.2.6 Caracterizações

4.2.6.1 Termogravimetria (TGA)

As análises termogravimétricas foram realizadas nas amostras de BC, nos compósitos (Tabela 3) antes e após as exposições à degradação, com o objetivo de determinar e avaliar os efeitos da exposição na temperatura de degradação das amostras e seus principais estágios de degradação, bem como as respectivas perdas de massa. Desta forma, amostras com

aproximadamente 10 mg foram analisadas no equipamento SII Nanotechnology INC (modelo Exstar 6000, série TG/DTA 6200) disponível no DMT/FEG/UNESP, operando sob fluxo de nitrogênio de 100 mL/min, em uma faixa de temperaturas de 30 °C a 700 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A repetibilidade entre os valores foi avaliada de acordo com a norma ASTM E2550.

4.2.6.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises de DSC foram realizadas nas amostras PPR, nos compósitos (Tabela 3) antes e após a exposição à degradação, com o objetivo de determinar e avaliar os efeitos da degradação nas temperaturas de fusão e cristalização das amostras. Desta forma, amostras com 3-4 mg foram analisadas em um equipamento DSC Q20 TA Instruments, disponível no DMT/FEG/UNESP, com panela hermética de alumínio, operando sob fluxo constante de nitrogênio de 40 mL/min, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e resfriamento de 20 °C/min, na faixa de temperatura entre -30 °C a 250 °C. A repetibilidade entre os valores foi avaliada de acordo com a norma ASTM D3418.

A porcentagem de cristalinidade do material foi calculada através desta análise, de acordo com a equação abaixo (CANEVAROLO JR., 2002):

$$X_c = \left(\frac{\Delta H_{fa}}{\Delta H_f} \right) 100$$

onde,

ΔH_{fa} é a entalpia de fusão da amostra (J/g).

ΔH_f é a entalpia de fusão do PP 100% cristalino (209 J/g), de acordo com CANEVAROLO JR. (2002).

4.2.6.3 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

As análises de FTIR foram realizadas nas amostras de BC, PPR, PPR/3PPgMA/30BC antes e após exposição a degradação, com o objetivo de determinar e avaliar os efeitos da degradação nos grupos funcionais das amostras. Os espectros foram determinados em um espectrofotômetro PerkinElmer, modelo Spectrun 100, no modo ATR, disponível no Laboratório de Plasma do Departamento de Física FEG/UNESP, utilizando o método de transmitância. Os valores foram medidos no intervalo de 650 a 4000 cm⁻¹, com 12 varreduras.

4.2.6.4 Microscopia Óptica

Amostras da borra de café seca foram polvilhadas em uma lâmina de vidro lapidadas com (26x76) cm e espessura entre (1,0 e 1,2) mm. Os objetos foram analisados no microscópio óptico Nikon Model Epiphot 200 com objetiva Nikon de 5x e no microscópio óptico de luz transmitida Zeiss Axioskop 40 com objetiva Zeiss Plan-NEOFLU de 2,5x, ambos com câmera Zeiss AxioCam ICc 3. Os campos foram fotografados com o auxílio do software Zeiss AxioVision 4.8.2 LE e as imagens (formato TIF) foram processadas digitalmente no software NIH Image J.

A superfície dos CDPs PPR e PPR/3PPgMA/30BC, ensaiados por tração, antes e após a exposição ao intemperismo acelerado foi analisada no microscópio óptico Zeiss Axio Imager Z2 com objetiva Zeiss de 20x e câmera Zeiss AxioCam Icc3. As imagens foram obtidas em campo claro.

4.2.6.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises de MEV foram realizadas na superfície de fratura, após o ensaio de tração, das composições da Tabela 3 ensaiadas por tração, antes e após a exposição à degradação, com o objetivo de avaliar os efeitos da degradação na adesão do reforço com a matriz polimérica. As análises foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura Zeiss EVO LS-15 com sistema EDS/EBDS Oxford INCA Energy 250 disponível no Laboratório de Análise de Imagens de Materiais DMT/FEG/UNESP, operando de 10 kW e utilizando detector de elétrons secundários. Com o auxílio de uma fita de carbono autocolante dupla face, as amostras foram fixadas em um suporte e submetidas ao recobrimento metálico com ouro.

4.2.6.6 Ensaio de tração

De acordo com a norma ASTM D638, cinco amostras de cada composição da Tabela 3 e das amostras após a exposição à degradação, foram ensaiadas em temperatura ambiente no equipamento universal de ensaios Shimadzu modelo AG-X, com célula de carga de 5 kN e velocidade de 5 mm/min, disponível no DMT/FEG/UNESP, com o objetivo de analisar as propriedades mecânicas do material.

Desta forma, as propriedades mecânicas dos materiais foram determinadas a partir das seguintes equações, de acordo com a norma ASTM D638:

Resistência à tração (MPa): tensão (σ) máxima suportada pelo CPD durante o ensaio.

$\sigma_{\text{máx.}} = \left(\frac{F}{a}\right)$ onde, F é a força aplicada (N) e a é a área (mm^2) do CDP.

Deformação na σ máxima (%): porcentagem de deformação (ε) no momento que o CDP atinge a σ máxima.

$\varepsilon = \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right) 100$ onde, ΔL é a deformação (mm) e L_0 é o comprimento original do CDP.

Deformação total (%): porcentagem de deformação no momento da ruptura do CDP.

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta L}{L_0}\right) 100$$

Módulo elástico (GPa): razão entre a tensão e a deformação do material.

$$E = \frac{\sigma}{\Delta L/L_0}$$

4.2.6.7 Ensaio de Impacto

De acordo com a norma ASTM D6110, cinco amostras de cada composição da Tabela 3 e das amostras após a exposição à degradação foram ensaiadas por Impacto Charpy tipo A, em um equipamento de ensaio Charpy com pêndulo de 4J, disponível no DMT/FEG/UNESP, com o objetivo de avaliar a resistência ao impacto do material.

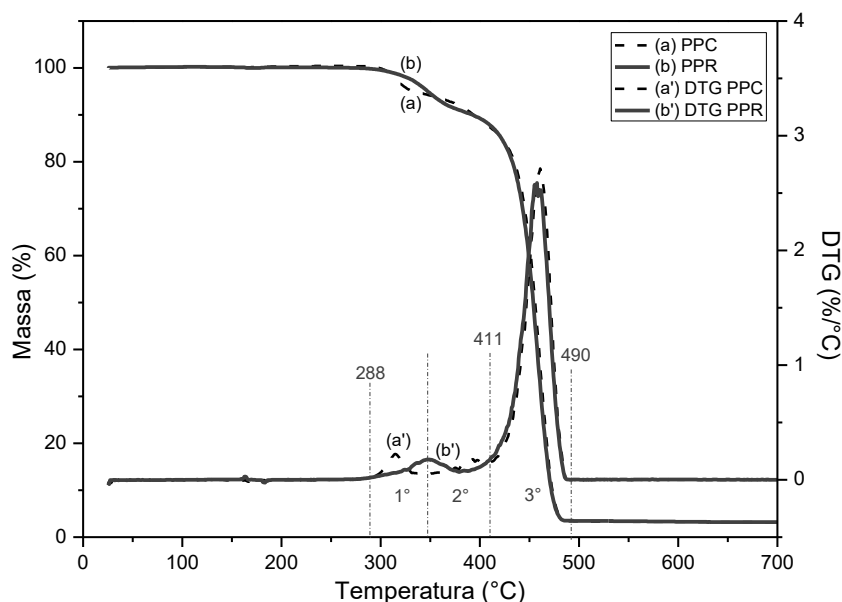
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EFEITO DA RECICLAGEM NAS PROPRIEDADES DO PP

5.1.1 Termogravimetria (TGA/DTG)

A análise foi realizada com o objetivo de avaliar as mudanças térmicas provenientes do processo de reciclagem mecânica na matriz PPR, como temperatura de degradação e perdas de massa. Foram analisadas amostras antes da reciclagem (PPC) e após a reciclagem (PPR), e as curvas e dados obtidos estão apresentados na Figura 23 e na Tabela 4, respectivamente.

Figura 23 – Curvas TGA e DTG das amostras PPC e PPR.



Fonte: O Autor (2018).

De acordo com os dados, as amostras PPR e PPC permaneceram estáveis até 288 °C, quando começaram a perder massa e, conseqüentemente, a decompor termicamente. A amostra PPC apresentou três estágios de decomposição térmica, enquanto PPR apresentou apenas dois estágios, conforme indicado nas curvas da Figura 23.

De acordo com a literatura, o PP puro apresenta apenas um evento térmico entre aproximadamente 275 e 450 °C (RJEB et al., 2005; GOLEBIEWSKI; GALESKI, 2007; PARPARITA et al., 2014). Conforme observado nos resultados, tanto o PPC como o PPR apresentaram um pico principal de degradação dentro deste intervalo de temperatura, entre 288 °C e 490 °C. O surgimento de mais de um pico de degradação sugere a presença de outros

polímeros que são comumente adicionados na fabricação de embalagens alimentícias de PP, tais como as embalagens das cápsulas analisadas neste trabalho.

A maioria das embalagens alimentícias são compostas por um copolímero de etileno e álcool vinílico (EVOH), material semicristalino usado como barreira que restringe a passagem de gases e vapores orgânicos, principalmente o oxigênio. O EVOH é usado industrialmente, geralmente em camadas intercaladas com PP ou PE em embalagens flexíveis ou rígidas (GAVARA et al., 2016). Desta forma, apesar de não ser conhecido publicamente os materiais presentes nas cápsulas de café Dolce Gusto, é possível sugerir o EVOH como um dos materiais presentes na amostra PPC e PPR. Segundo a literatura, o EVOH começa a degradar entre 290-300 °C e possui mais de um evento térmico associado a sua decomposição (CABEDO et al., 2004; JIANG et al., 2006). Além disso, foi realizado análises de TGA e DSC em um EVOH comercial produzido pela empresa Kuraray América Inc. (vide APÊNDICE B), onde foi possível identificar sua temperatura de degradação térmica em 292 °C com a presença de dois eventos térmicos de degradação, corroborando com o comportamento térmico encontrado nas amostras PPC e PPR (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros medidos nas curvas TGA e DTG das amostras PPC e PPR, onde T_i corresponde a temperatura inicial de degradação e T_f corresponde a temperatura final.

Amostra	Evento	T_i (°C)	T_{pico} (°C)	T_f (°C)	Perda de massa (%)	Resíduo à 700 °C (%)
PPC	1º	288	315	333	4,9	3,0
	2º	354	392	411	6,7	
	3º	411	460	490	83,8	
PPR	1º	288	350	385	9,4	3,0
	2º	385	458	490	87,1	

Fonte: O Autor (2018).

O desaparecimento de um pico de degradação após o processo de reciclagem pode estar relacionado a mudanças ocorridas na estrutura polimérica do material causadas pelos processos de moagem em moinho de facas, misturador termocinético e moldagem por injeção (com o propósito de simular os mesmos processamentos do compósito) que expõe o material

a esforços mecânicos com elevadas taxas de cisalhamento e a altas temperaturas, e que são possíveis iniciadores de decomposição polimérica (DAHLBO et al., 2018).

De acordo com a Tabela 4, ambas amostras terminaram sua decomposição térmica em 490 °C gerando um resíduo de 3 % à 700 °C, valor relacionado com a presença de carbonos fixos, oriundo da matriz, e aditivos, como estabilizantes, pigmentos e antioxidantes na estrutura molecular do material, pois de acordo com a literatura, o PP puro não gera resíduo significativo à 700 °C (PARPARITA et al., 2014).

Como conclusão, a análise por TGA mostrou que o processo de reciclagem não gerou perda de estabilidade térmica na amostra PPR, mantendo a temperatura inicial de degradação em 288 °C, valor considerado adequado para o uso em processos de obtenção de compósitos por fusão, corroborando assim para que o material obtenha êxito quando aplicado ao processamento dos compósitos que serão produzidos neste trabalho.

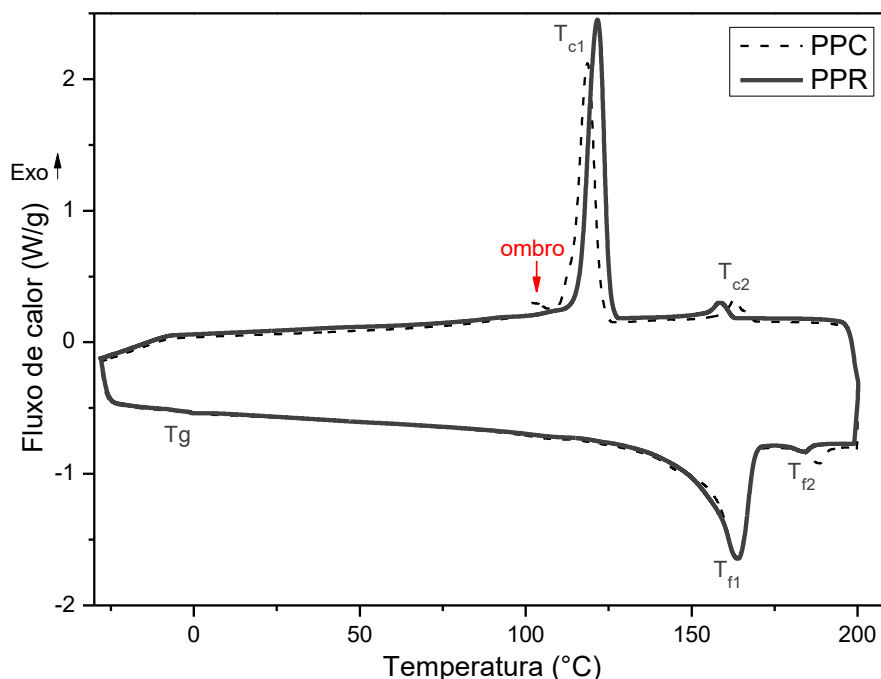
5.1.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As análises de DSC foram realizadas com o objetivo de identificar as mudanças térmicas provenientes do processo de reciclagem mecânica, como mudanças nas temperaturas de fusão e de cristalização. As curvas das amostras antes e após a reciclagem estão apresentadas na Figura 24 e os parâmetros obtidos nas análises estão apresentados na Tabela 5. Com o objetivo de eliminar o histórico térmico das amostras, apenas o segundo aquecimento e o resfriamento foram considerados.

De acordo com as curvas apresentadas na Figura 24, tanto a amostra PPC quanto PPR apresentaram dois picos endotérmicos de fusão, e dois picos exotérmicos de cristalização com as temperaturas apresentadas na Tabela 5.

As amostras PPC e PPR apresentaram temperaturas de fusão e de cristalização (T_{f1} e T_{c1}) próximas às temperaturas do PP virgem encontrado na literatura (entre 162 e 166 °C para a fusão e entre 115 e 125 °C para a cristalização) (AMINTOWLIEH et al., 2014; XIONG et al., 2017).

Figura 24 – Curva DSC das amostras PPC e PPR.



Fonte: O Autor (2018).

A presença do segundo pico de fusão e de cristalização indica a presença de outro material na amostra, corroborando com o que já foi identificado nas análises de TGA (item 5.1.1). Desta forma, a presença do copolímero de etileno e álcool vinílico (EVOH) nas amostras PPC e PPR foi confirmada através da sua temperatura de fusão. Segundo a literatura, a temperatura de fusão do EVOH está entre 180-190 °C (CABEDO et al., 2004; JIANG et al., 2006) e, segundo a análise do EVOH comercial (APÊNDICE B), ocorreu em aproximadamente 171 °C. Desta forma, as temperaturas encontradas são consideradas similares às do pico T_{f2} (189 e 184 °C) encontrado nas amostras PPC e PPR, respectivamente.

A amostra PPC apresentou um ombro após o pico T_{c1}, conforme indicado no gráfico da Figura 24, que não foi observado na amostra PPR. A presença desse ombro pode caracterizar movimento da cadeia durante a recristalização (SPINA et al., 2018; ZANDER et al., 2019), uma vez que segundo SPINA et al. (2018), apenas 60-80% da cadeia do PP cristaliza durante o processo de resfriamento, e o restante da fração cristaliza depois que o processo acaba.

A análise de DSC permitiu a identificação da temperatura de transição vítrea (Tg) das amostras através da variação da linha de base. A transição vítrea do material é uma transição de segunda ordem na qual um material amorfo ou semicristalino passa do estado vítreo para o estado borrachoso, entretanto, o estado vítreo é uma transição fora de equilíbrio que depende não só da taxa de aquecimento, mas também do histórico térmico do material (PASCAULT et

al., 2002; LORANDI et al., 2016). Desta forma, de acordo com a Tabela 5, foi possível observar que houve uma pequena mudança no valor da Tg de PPR (-1,0 °C), comparado à Tg de PPC (-1,7 °C). A Tg das amostras foi medida no primeiro aquecimento estando, portanto, relacionada com o tipo de processamento sofrido pelo material.

Tabela 5 – Parâmetros medidos na curva DSC das amostras PPR e PPC.

Amostra	T_{f1} (°C)	ΔH_{f1} (J/g)	T_{f2} (°C)	ΔH_{f2} (J/g)	T_{c1} (°C)	ΔH_{c1} (J/g)	T_{c2} (°C)	ΔH_{c2} (J/g)	Tg (°C)	X_{c1} (%)
PPC	164,0	63,7	189,0	3,9	118,0	-66,9	162,0	-6,2	-1,7	30,5
PPR	164,0	71,7	184,0	1,6	121,0	-77,6	158,0	-4,3	-1,0	34,3

Fonte: O Autor (2018).

De acordo com os dados da Tabela 5, foi possível observar que houve um aumento nos valores da entalpia (ΔH_{f1}) e na porcentagem de cristalinidade (X_{c1}) da amostra PPR, comparado ao PPC. O processo de reciclagem mecânica, onde forças cisalhantes podem causar a degradação do material, provavelmente reduziu a massa molar do polímero causando uma maior mobilidade da cadeia e, conseqüentemente, aumentou a cristalinidade do material reciclado (LILA et al., 2018; KUMAR et al., 2019). Apesar da diminuição da massa molar causar uma melhor ordenação da cadeia e, conseqüentemente, aumentar a cristalinidade e diminuir a Tg do material, para esse caso os efeitos são concorrentes, desde que a Tg foi identificada no primeiro aquecimento e a cristalinidade no segundo aquecimento.

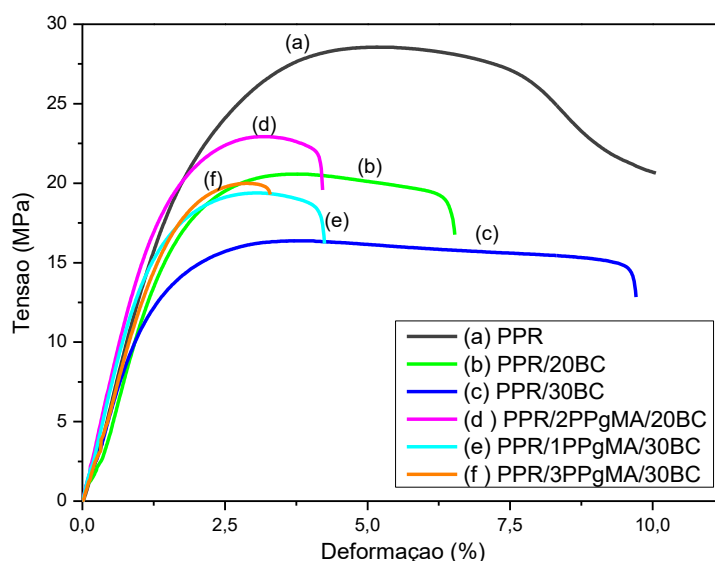
Após as discussões, a análise por DSC, assim como observado nas análises de TGA/DTG, evidencia que a amostra PPR não sofreu mudanças térmicas significativas que comprometam o processo de obtenção dos compósitos moldados por injeção.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS NATURAIS

5.2.1 Ensaio de tração

As curvas tensão x deformação obtidas a partir do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC estão apresentadas na Figura 25 e suas propriedades na Tabela 6.

Figura 25 – Gráfico Tensão x Deformação do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.



Fonte: O Autor (2019).

Comparando os dados das amostras PPR e PPR/30BC foi possível observar uma queda expressiva na resistência à tração, cerca de 43,1 % e uma redução de 30,2 % na deformação na $\sigma_{m\acute{a}x}$, com um leve aumento do módulo elástico, porém com valores sobrepostos considerando o desvio padrão, conforme Tabela 6. Com relação à deformação total na fratura, apesar do desvio padrão sinalizar que o valor máximo da deformação total de PPR/30BC ($8,4 \pm 1,9$) % está dentro do desvio de PPR ($11,4 \pm 1,3$) %, pode ser considerado que houve pequena diminuição na ductilidade de PPR/30BC em relação a PPR.

A diminuição da resistência à tração está diretamente relacionada à presença de concentradores de tensão, como aglomerados e vazios, que podem ser causados devido à uma homogeneização inadequada, fraca adesão matriz/reforço e/ou devido à parâmetros de processo tais como temperatura e pressão de injeção (ZULKIFLI et al., 2015; ESSABIR et al., 2018). Segundo ZULKIFLI et al. (2015), compósitos de PP/celulose com 40 e 50 % (em massa) de reforço apresentaram uma drástica diminuição na resistência à tração quando comparados aos compósitos com menor volume de reforço, devido principalmente à formação de aglomerados.

Além disso, a queda na ductilidade está diretamente relacionada a adição do reforço que restringe a movimentação das cadeias poliméricas e torna o compósito mais rígido e, consequentemente, mais frágil (MOUSTAFA et al., 2017). Além disso, essa rigidez do

compósito, geralmente, causa um aumento do módulo elástico do material (ESSABIR et al., 2018).

A comparação entre os compósitos PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC mostrou que a adição de 3 % de agente compatibilizante proporcionou um aumento da resistência à tração em 18,1 %, devido a melhora na adesão interfacial. Entretanto, a forte adesão entre matriz/reforço causou tanto uma diminuição na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ quanto na deformação total na fratura do material de 63,1% e 29,7, respectivamente. O módulo elástico do material apresentou o mesmo valor em relação a PPR/30BC.

Tabela 6 – Propriedades do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.

Amostra	Resistência à Tração (MPa)	Deformação $\sigma_{\text{máx}}$ (%)	Deformação total (%)	Módulo Elástico (GPa)
PPR	28,3 ± 0,6	5,3 ± 0,1	11,4 ± 1,3	1,3 ± 0,1
PPR/30BC	16,1 ± 0,6	3,6 ± 0,4	8,4 ± 1,9	1,4 ± 0,1
PPR/3PPgMA/30BC	19,0 ± 0,9	2,6 ± 0,2	3,1 ± 0,4	1,4 ± 0,1
PPR/1PPgMA/30BC	19,0 ± 0,8	3,0 ± 0,1	4,5 ± 0,5	1,5 ± 0,2
PPR/20BC	20,0 ± 1,2	3,5 ± 0,2	6,1 ± 0,9	1,3 ± 0,2
PPR/2PPgMA/20BC	23,4 ± 0,9	3,1 ± 0,2	4,0 ± 0,3	1,7 ± 0,1

Fonte: O Autor (2019).

Logo, a adição do agente compatibilizante proporcionou uma melhora significativa no limite de resistência à tração do compósito, porém fragilizou significativamente o material, principalmente comparado a matriz PPR. Resultado causado possivelmente pela quantidade de reforço e de agente compatibilizante utilizado, que deve ser ajustada com o objetivo de alcançar propriedades mecânicas adequadas à aplicação do compósito.

Com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas dos compósitos, foram obtidas três novas condições para análise (vide Tabela 3), PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC, que estão apresentadas nas curvas tensão x deformação da Figura 25 e suas propriedades na Tabela 6.

A redução da porcentagem de agente compatibilizante de 3 para 1% com relação à massa total do compósito, foi realizada com o objetivo de verificar se a redução da ductilidade proporcionada pelo agente era minimizada. Portanto, verificou-se que o compósito PPR/1PPgMA/30BC apresentou mesma resistência à tração de PPR/3PPgMA/30BC, contudo,

houve um aumento na ductilidade do material, de 15,4 % na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e 45,2% na deformação total. Com relação ao módulo elástico, a amostra apresentou um leve aumento de menos de 10% (~7,1%), com os valores que se sobrepõem, considerando o desvio padrão.

A diminuição do reforço de 30% para 20% foi realizada a fim de melhorar a resistência à tração e ductilidade do material, através de uma melhor homogeneização e, conseqüentemente, diminuição da aglomeração das partículas. Como resultado, foi possível aumentar em 24,2% a resistência à tração do compósito PPR/20BC em relação ao PPR/30BC. Não houve mudança na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$, visto que os valores se sobrepõem, considerando o desvio padrão. Por outro lado, houve uma redução na deformação total na fratura de 27,4%, apesar de haver também sobreposição entre os valores. O expressivo aumento na resistência à tração está diretamente relacionado com a queda da deformação total na fratura do material. O módulo elástico sofreu uma leve diminuição, devido a diminuição do reforço para 20%, deixando o compósito menos rígido e, conseqüentemente, mais frágil.

A adição do agente compatibilizante (PPR/2PPgMA/20BC) aumentou a resistência à tração, em 17,0 %, entretanto, a presença do agente fragilizou o material, com perda de 32,8 % na deformação total na fratura e uma pequena diminuição de 11,4% na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$, que não pode ser efetivamente confirmada, devido ao desvio padrão e a sobreposição de resultados dos valores individuais. Além disso, houve um aumento expressivo no valor do módulo de 30,8%, apresentando um valor maior do que as amostras com 30% de reforço. Tal comportamento está relacionado com uma maior rigidez da amostra e além disso, pode estar relacionado com uma melhor interação entre matriz e reforço.

Comparando PPR/2PPgMA/20BC com PPR/3PPgMA/30BC foi possível observar um expressivo aumento de 23,2 % na resistência à tração do PPR/2PPgMA/20BC, além de uma melhora na ductilidade do material, com aumento de 19,2 na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e de 32,2% na deformação total. O valor do módulo também é maior em 21,4%. Tal comportamento está diretamente relacionado as imagens geradas no MEV das mesmas amostras, onde houve uma melhora na dispersão das partículas e diminuição de *pull out* para a amostra PPR/2PPgMA/20BC em comparação à PPR/3PPgMA/30BC, vide item 5.2.5.2.

A adição de reforço, independentemente da quantidade, na matriz PPR causou uma queda na resistência à tração, na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e na deformação total na fratura do material, com um leve aumento do módulo. Por outro lado, a adição do agente compatibilizante, em todas as condições, aumentou significativamente a resistência à tração, mas fragilizou o material.

Considerando que os compósitos PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC foram os materiais que apresentaram os maiores valores de resistência à tração e de deformação na $\sigma_{máx}$, estas composições podem sinalizar como as mais adequadas para a aplicação na composteira doméstica.

Contudo, visando respeitar o aspecto de sustentabilidade e de preocupação ambiental que permeia o presente trabalho, é possível indicar o compósito sem agente compatibilizante como sendo o mais adequado para esta aplicação, visto que o ganho de resistência com a adição do agente compatibilizante não justifica a adição de mais um material sintético, de fonte não renovável, que além de aumentar o custo, poderá prejudicar a degradação do material no meio ambiente após o descarte.

5.2.2 Ensaio de Impacto

As propriedades obtidas no ensaio de impacto Charpy para as amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC estão apresentadas na Tabela 7.

De acordo com os dados, foi possível observar uma leve mudança na absorção de energia, para todas as amostras, com nenhum desvio padrão. Entretanto, houve diferenças maiores entre os valores de resistência ao impacto das amostras, que está diretamente ligado as variações dimensionais de cada CDP, desde que a resistência ao impacto é a razão entre a energia absorvida e a espessura do CDP. Logo, como a tenacidade do material é uma propriedade que está diretamente relacionada a energia que o material absorve após sofrer o impacto, os valores da energia absorvida também serão levados em consideração.

Tabela 7 – Propriedades do ensaio de impacto das amostras PPR, PPR/30BC e PPR/3PPgMA /30BC.

Amostra	Energia absorvida (J)	Resistência ao Impacto (J/m)
PPR	0,12 ± 0	39,0 ± 4,1
PPR/30BC	0,14 ± 0	38,9 ± 2,3
PPR/3PPgMA/30BC	0,13 ± 0	30,5 ± 1,4
PPR/1PPgMA/30BC	0,10 ± 0	30,4 ± 2,1
PPR/20BC	0,12 ± 0	36,6 ± 3,5
PPR/2PPgMA/20BC	0,10 ± 0	30,6 ± 2,9

Fonte: O Autor (2019).

De acordo com a Tabela 7, foi observado que amostra PPR apresentou resistência ao impacto similar ao valor encontrado na literatura para o PP puro, 36 J/m (PAIVA et al., 2006). A adição de 30 % de reforço na amostra PPR/30BC causou um aumento de 1,6% na energia de fratura do material, comparado ao PPR, entretanto, a resistência ao impacto não mudou. Tal comportamento está relacionado com a diminuição da resistência à tração quando adicionado o reforço de 30%. A adição do agente compatibilizante (PPR/3PPgMA/30BC) melhorou a resistência à tração do material e, conseqüentemente, proporcionou uma pequena diminuição de 0,8% na energia absorvida. Todavia, a resistência ao impacto dessa amostra sofreu uma diminuição de 21,6 % quando comparado a PPR/30BC, estando relacionado com a variação dimensional dos CDPs. Tal comportamento, de diminuição da tenacidade, também foi encontrado por IBRAHIM et al. (2017) em compósitos de PP reciclado reforçado com 30 % de sisal, sem e com 5 % de agente compatibilizante.

Levando em consideração as novas condições, a diminuição do agente compatibilizante de 3% para 1% (PPR/1PPgMA/30BC) com o objetivo de minimizar a perda de propriedades mecânicas, não causou nenhuma mudança na resistência ao impacto do material.

A amostra com 20% de reforço (PPR/20BC) apresentou mesma energia absorvida que a matriz PPR e uma diminuição de 6,2% na resistência ao impacto, devido às variações dos CDPs. Todavia, comparando PPR/20BC com PPR/30BC houve uma diminuição na energia absorvida e na resistência ao impacto, corroborando com o aumento de resistência à tração com a diminuição do reforço para 20%.

A adição do agente compatibilizante na amostra com 20% (PPR/2PPgMA/20BC) fez o mesmo efeito da amostra com 30%. Houve uma diminuição na energia absorvida e na resistência ao impacto do material, em relação a PPR/20BC.

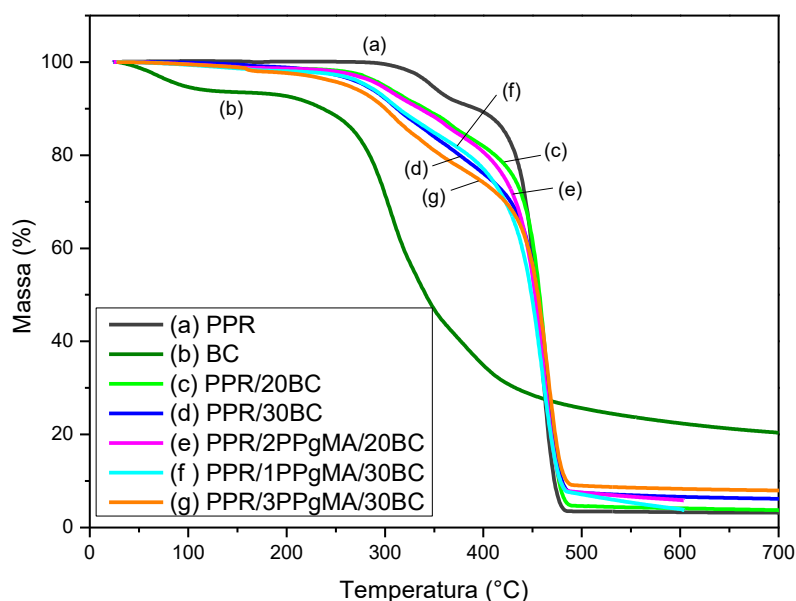
PPR/3PPgMA/30BC e PPR/2PPgMA/20BC, apesar de apresentarem diferentes valores de energia absorvida, 0,13 e 0,10 J, respectivamente, apresentaram o mesmo valor de resistência ao impacto, se mantendo menor que as amostras sem agente compatibilizante e que a matriz.

Logo, tanto o ensaio de impacto como o de tração, sinalizaram que adição do agente compatibilizante fragilizou o material, com uma queda na tenacidade e na deformação total na fratura do compósito, de acordo com os dados das Tabelas 6 e 7.

5.2.3 Termogravimetria (TGA/DTG)

A termogravimetria foi realizada com o objetivo de analisar as propriedades térmicas da matriz e do reforço, bem como o efeito da adição do reforço nas propriedades dos compósitos. As curvas de TGA e DTG das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC estão apresentadas nas Figuras 26 e 27 e as propriedades obtidas estão apresentadas na Tabela 8.

Figura 26 – Curvas TGA das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.



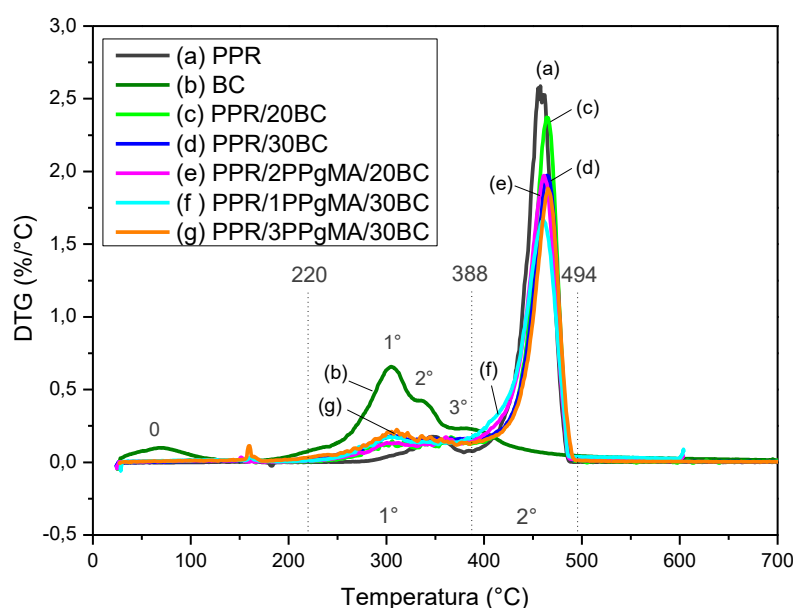
Fonte: O Autor (2019).

De acordo com a Figura 27, a curva derivada da amostra BC apresentou pelo menos quatro eventos térmicos de decomposição, destacados na curva como eventos 0, 1, 2 e 3. Considerando o comportamento hidrofílico das fibras lignocelulósicas, é possível destacar que o evento zero, com perda de massa de 6,3%, caracteriza a evaporação de moléculas de água presente na amostra (ATABANI et al., 2017; MEI et al., 2017). A degradação efetiva do café começa a partir do 1º evento térmico, entre 170 e 329 °C com perda de massa de 38,1%, e corresponde à degradação térmica da hemicelulose, polissacarídeo que degrada dentro desta faixa de temperatura (MOUSTAFA et al., 2017; ESSABIR et al., 2018). O 2º evento térmico, entre 329 e 370 °C com perda de massa de 13,6%, caracteriza a degradação da celulose, cadeia longa de glucose não ramificada com estabilidade térmica maior que a hemicelulose (GARCÍA-GARCÍA et al., 2015; MOUSTAFA et al., 2017; ESSABIR et al., 2018). O 3º evento está relacionado com a degradação máxima da lignina e de proteínas, composto com quantidade significativa na composição química do café (13-17%) (MOUSTAFA et al., 2017).

A degradação da lignina ocorre lentamente entre 200 e 500 °C, pois, diferente da celulose, ela possui uma cadeia complexa de anéis aromáticos com várias ramificações, influenciando na velocidade de sua degradação (ESSABIR et al., 2018; OLIVEIRA, 2018). Portanto, como observado por MOUSTAFA et al. (2017) e TARAZONA (2017), a degradação da lignina começa a partir do 1º evento e continua gradualmente até o final do 3º evento (515 °C), estando sua perda de massa incorporada nas quantidades de perda da hemicelulose e celulose.

De acordo com a curva BC da Figura 26, a partir de 515 °C a amostra termina seu processo de decomposição térmica, concluindo a análise em 700 °C. O resíduo gerado foi de 20 % da massa original correspondendo ao carbono fixo e às cinzas presentes em materiais lignocelulósicos, valor também encontrado por MOUSTAFA et al. (2017).

Figura 27 – Curvas DTG das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.



Fonte: O Autor (2019).

Os compósitos apresentaram comportamento térmico intermediário em relação ao PPR e a BC, conforme observado nas curvas de TGA e DTG (Figuras 26 e 27, respectivamente). BAEK et al. (2013) também identificou um comportamento intermediário nas curvas de TGA de compósitos de poliácido láctico (PLA) com borra de café (70:30).

A curva derivada mostrou que os compósitos apresentaram dois eventos térmicos semelhantes ao PPR, conforme Figura 27. Todavia, as amostras PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC sofreram uma redução de estabilidade térmica de 55 °C, enquanto

PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC reduziram em 40 °C sua temperatura de estabilidade térmica, quando comparada à matriz PPR. Tal comportamento, de redução de estabilidade térmica, também foi identificado por MULINARI et al. (2017) em compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com 20% de fibra da palmeira.

A adição do agente compatibilizante nas amostras PPR/3PPgMA/30BC e PPR/2PPgMA/20BC não causou mudanças nas propriedades térmicas do material, quando comparados à PPR/30BC e PPR/20BC. Entretanto, a diminuição da quantidade de PPgMA de 3% para 1% na amostra PPR/1PPgMA/30BC aumentou a estabilidade térmica do compósito em 15 °C.

De acordo com a Tabela 8, no 1º evento térmico os compósitos perderam uma porcentagem de massa maior do que PPR, no mesmo evento. Tal comportamento indica que, nos compósitos, esse evento compreende o início da degradação do PPR junto com a degradação dos componentes principais do reforço de BC (1º, 2º e 3º eventos identificados na curva de DTG da BC, referentes à hemicelulose, celulose e lignina, respectivamente).

Tabela 8 – Parâmetros medidos nas curvas TGA e DTG das amostras PPR, BC, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.

Amostra	Evento	Ti (°C)	T _{pico} (°C)	T _f (°C)	Perda de massa (%)	Resíduo (%)
PPR	1	275	350	386	9,8	3,0
	2	386	458	488	87,2	
BC	0	30	70	150	6,3	20,0
	1	160	305	329	38,5	
	2	329	336	370	13,6	
	3	370	386	515	16,7	
PPR/30BC	1	220	307	388	22,1	6,0
	2	388	465	494	70,4	
PPR/3PPgMA/30BC	1	220	308	388	20,7	8,0
	2	388	465	494	67,5	
PPR/1PPgMA/30BC	1	235	304	380	16,8	4,0
	2	380	460	490	73,2	
PPR/20BC	1	235	305	387	14,8	4,0
	2	387	464	493	78,9	
PPR/2PPgMA/20BC	1	235	305	387	15,5	6,0
	2	387	460	490	75,0	

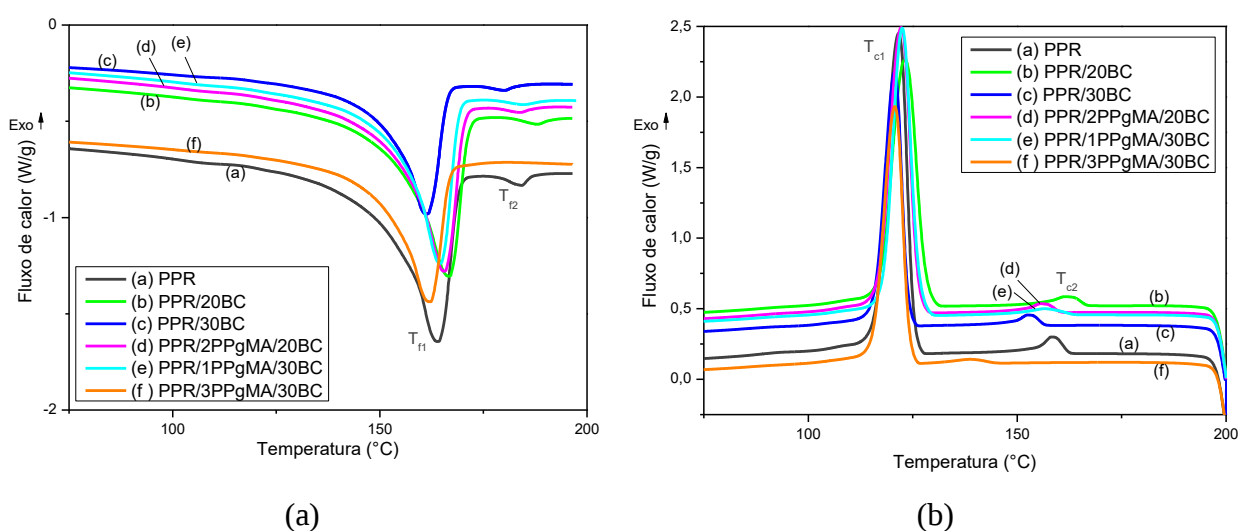
Fonte: O Autor (2019).

O resíduo a 700 °C dos compósitos também apresentou um comportamento intermediário entre PPR e BC, correspondendo à presença de aditivos e estabilizantes presentes no polímero reciclado e também às cinzas e extrativos do reforço natural. PEREIRA et al. (2013), GARCÍA-GARCÍA et al. (2015) e MULINARI et al. (2017) também identificaram um comportamento semelhante em compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, onde a adição do reforço aumentou a porcentagem de resíduos ao final da análise, em relação ao polímero.

5.2.4 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas de DSC da matriz de PPR e dos compósitos PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC estão apresentadas na Figura 28 e os parâmetros determinados a partir desta análise estão na Tabela 9. A fim de eliminar o histórico térmico do material, apenas os resultados do segundo aquecimento (Figura 28 (a)) e do resfriamento (Figura 28 (b)) foram considerados.

Figura 28 – Curvas DSC das amostras PPR, PPR/30BC, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC, onde (a) 2º aquecimento e (b) resfriamento.

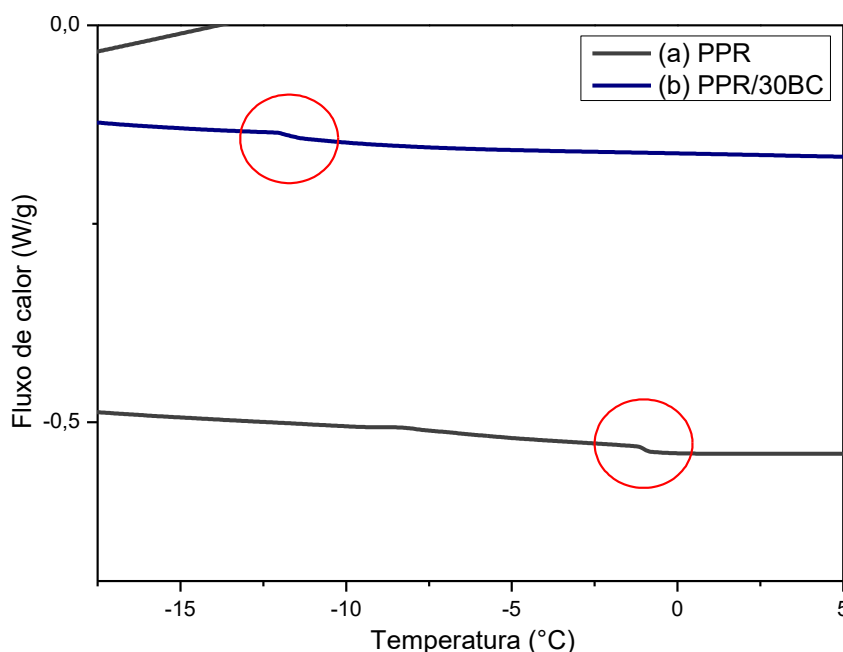


Fonte: O Autor (2019).

Os compósitos apresentaram T_{m1} e T_{c1} similar à amostra PPR, com uma leve diminuição nas amostras PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC e, um leve aumento para PPR/20BC,

conforme apresentado na Figura 28(a) e (b). Todavia, o compósito PPR/3PPgMA/30BC apresentou um comportamento diferente quanto à presença do segundo pico endotérmico e exotérmico (T_{f2} e T_{c2}). Como discutido nas análises por TGA e DSC nos itens 5.1.1 e 5.1.2, respectivamente, o pico T_{f2} pertence ao copolímero EVOH. Desta forma, a adição de 20 e 30 % de reforço não causou mudanças térmicas no polímero, assim como 1 e 2% de PPgMA. Entretanto, a adição de 3 % de PPgMA (PPR/3PPgMA/30BC) causou o desaparecimento de T_{f2} , sendo possível observar a presença de um pequeno pico exotérmico T_{c2} , que foi deslocado em relação as demais amostras.

Figura 29 – Variação na linha de base identificada como a T_g das amostras PPR e PPR/30BC.



Fonte: O Autor (2019).

De acordo com a Tabela 9, foi possível observar uma diminuição na T_g da amostra PPR/30BC em relação a PPR, sugerindo que a adição do reforço causou uma maior mobilidade das cadeias poliméricas, que fez com que a temperatura de transição vítrea acontecesse em uma temperatura mais baixa. A Figura 29 apresenta as curvas de DSC das amostras PPR e PPR/30BC onde é possível observar suas temperaturas de transição vítrea (T_g). Após a adição de 1 e 3 % de agente compatibilizante ao reforço de 30%, não foi possível identificar a T_g do material. Provavelmente o agente compatibilizante diminuiu a T_g dos compósitos para uma temperatura abaixo da temperatura limite de operação do equipamento ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nas amostras PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC também não foi possível observar a T_g do material, apenas a relaxação de tensão.

Tabela 9 – Parâmetros medidos na curva DSC das amostras PPR, PPR/30BC e PPR/3PPgMA/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC e PPR/2PPgMA/20BC.

Amostra	T_{fi} (°C)	ΔH_{fi} (J/g)	T_{f2} (°C)	ΔH_{f2} (J/g)	T_{c1} (°C)	ΔH_{c1} (J/g)	T_{c2} (°C)	ΔH_{c2} (J/g)	T_g (°C)	X_{c1} (%)
PPR	164,0	71,7	184,0	1,6	121,0	-77,6	158,0	-4,3	-1,1	34,3
PPR/ 30BC	161,0	48,1	180,0	0,9	120,0	-53,1	152,0	-3,3	-11,9	23,0
PPR/ 3PPgMA/ 30BC	162,0	54,7	-	-	120,0	-57,4	138,0	1,3	-	26,2
PPR/ 1PPgMA/ 30BC	164,0	59,3	184,0	0,9	122,0	-69,2	157,0	2,0	-	28,4
PPR/ 20BC	167,0	63,5	188,0	1,1	123,0	-75,7	162,0	2,6	-	30,4
PPR/ 2PPgMA/ 20BC	165,0	62,5	184,0	0,8	122,0	-75,3	156,0	2,4	-	29,9

Fonte: O Autor (2019).

A adição de 20 e 30% de reforço (PPR/20BC e PPR/30BC) causou uma diminuição na entalpia (ΔH_{f1}) e na porcentagem de cristalinidade (X_{c1}) em relação a PPR, porém a amostra PPR/20BC obteve uma maior cristalinidade comparada à PPR/30BC. Tal comportamento está relacionado com a quantidade de reforço presente em cada amostra, visto que as fibras naturais são rígidas e podem se tornar uma barreira para a cristalização, agindo como uma impureza, reduzindo assim, a cristalinidade do polímero. KUMAR et al. (2019) também observou o mesmo comportamento em compósitos de PLA com 5 e 25 % de borra de café, quando comparados à matriz. Por outro lado, a adição do agente compatibilizante nas amostras PPR/3PPgMA/30BC e PPR/1PPgMA/30BC aumentou a mobilidade de cadeia e por isso, aumentou a entalpia e a cristalinidade dos compósitos, mas manteve a tendência de menor valor que a matriz PPR. Já a adição do agente compatibilizante ao reforço de 20%

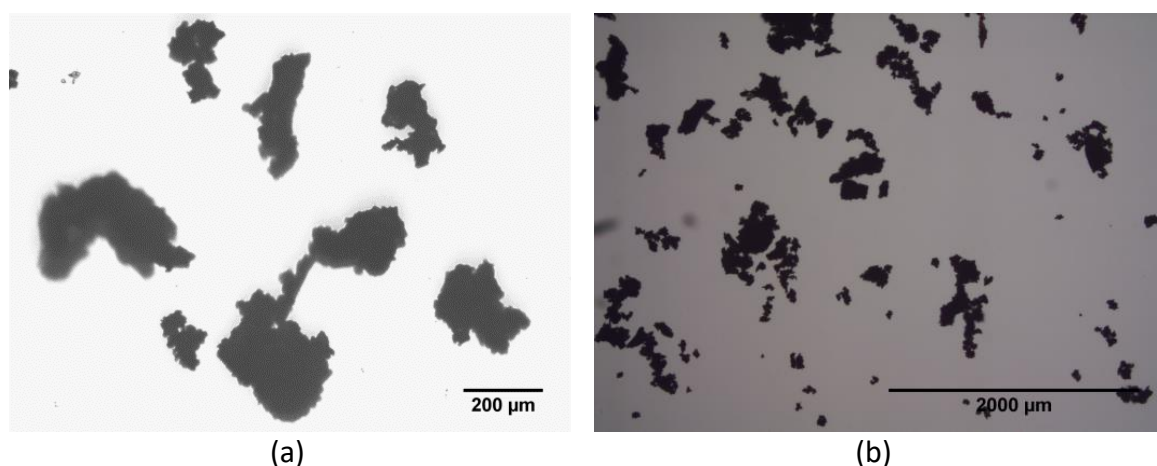
(PPR/2PPgMA/20BC) causou uma pequena diminuição de 0,5% na porcentagem de cristalinidade do material.

5.2.5 Microscopia

5.2.5.1 Microscopia Óptica da amostra BC

A análise foi realizada com o objetivo de determinar a morfologia das partículas de borra de café e auxiliar a compreensão da morfologia da fratura dos compósitos que está discutida no item 5.2.5.2. Desta forma, as imagens obtidas estão apresentadas na Figura 30 com 5x e 2,5x de ampliação.

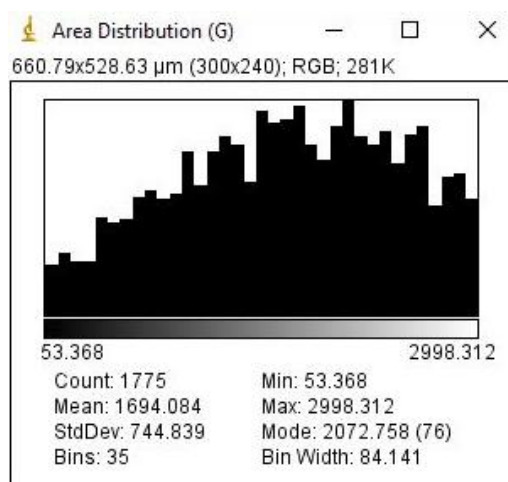
Figura 30 - Imagens obtidas com ampliação de (a) 5x e (b) 2,5x.



Fonte: O Autor (2018).

De acordo com as imagens, foi possível observar que as partículas apresentaram morfologia não circular com tamanhos variados, o que influenciou na escolha do parâmetro de medição pela área das partículas. Após o processamento das imagens, foi gerada uma tabela com as medições da área das partículas da Figura 30 (b), onde foi possível contabilizar 4523 partículas no intervalo de área entre 0,05 e 2029,77 μm^2 . Entretanto, a partir do histograma gerado, foi possível identificar que a quantidade de partículas com dimensões entre 3000 e 2029,77 μm^2 era muito inferior comparado com o intervalo entre 0,05 e 3000 μm^2 , por exemplo. Logo, a fim de tornar o histograma mais homogêneo, o intervalo de medição da área das partículas foi definido entre 50 e 3000 μm^2 , conforme histograma da Figura 31.

Figura 31 – Histograma homogêneo de distribuição da área das partículas no intervalo entre 50 e 3000 μm^2 .



Fonte: O Autor (2018).

5.2.5.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura dos compósitos

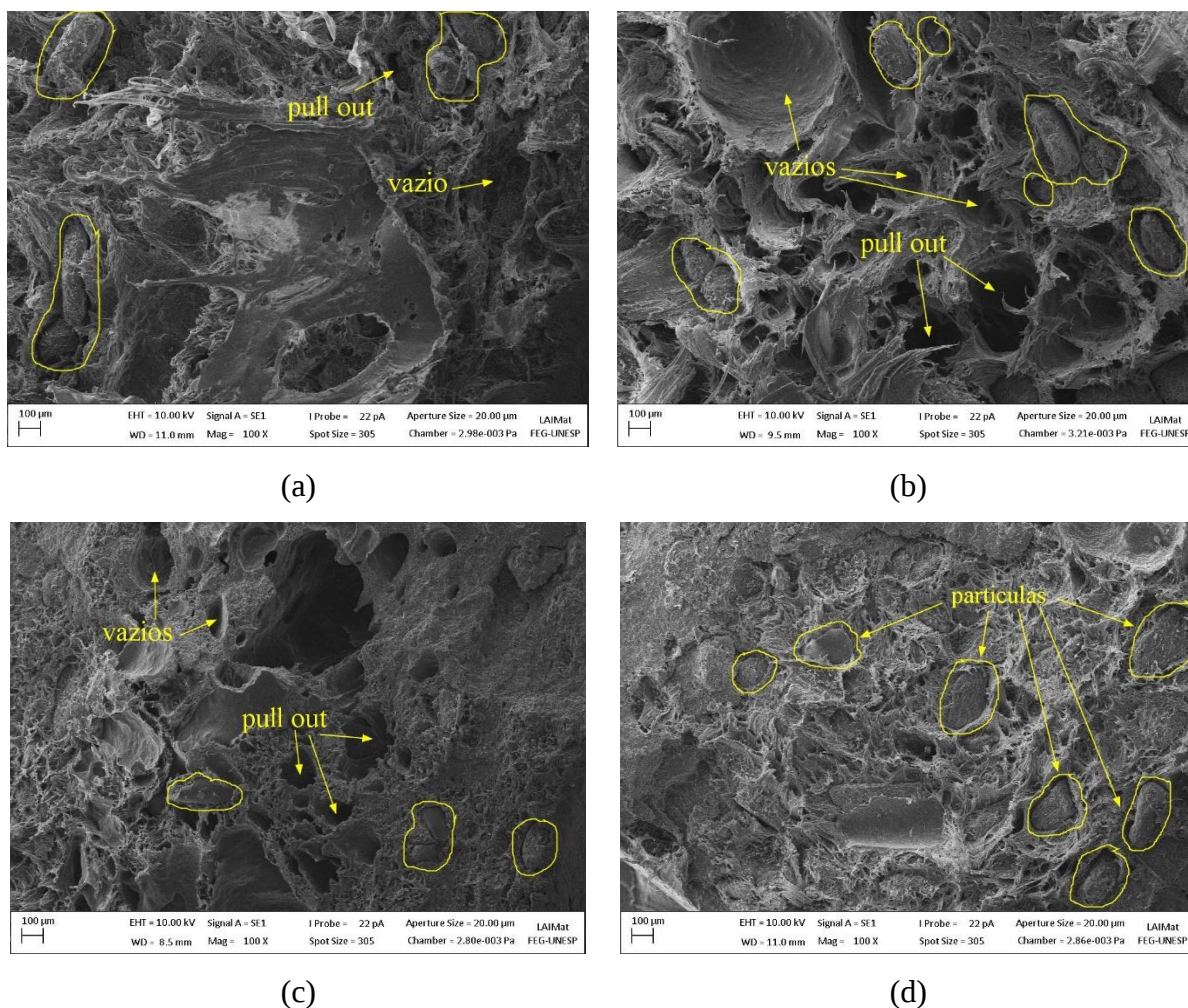
A análise foi realizada com o objetivo de identificar a adesão entre matriz e reforço na superfície de fratura dos compósitos ensaiados por tração. As imagens obtidas estão apresentadas na Figura 32 e 33 com ampliações de 100x e 1000x, respectivamente.

A partir das imagens da Figura 32 foi possível observar que as amostras com o reforço in natura PPR/30BC e PPR/20BC (Figuras 32 (a) e (b), respectivamente) apresentaram uma superfície cujas partículas do reforço possuem morfologia diferentes entre si, conforme destacado nas imagens e discutido no item de microscopia óptica da borra de café, além disso, foi observado a formação de pequenos aglomerados de partículas, corroborando com os baixos valores de resistência à tração encontrado nas amostras (item 5.2.1). Em adição, foi possível observar a presença de alguns vazios, provenientes do processo de injeção e alguns orifícios formados pelo arrancamento das partículas (*pull out*), para ambas amostras, porém, com uma maior ocorrência na amostra PPR/20BC. O fenômeno de arrancamento de partículas é reportado por diversos autores e está relacionado com a pouca adesão na interface matriz e reforço que faz com que as partículas se soltem facilmente da matriz, após a aplicação de carga (KEENER et al., 2004; DAS et al., 2010; FRANCO-MARQUÈS et al., 2011; SARASINI et al., 2018).

A presença do agente compatibilizante, na amostra PPR/2PPgMA/20BC (Figuras 30 (d)), melhorou a dispersão das partículas e diminuiu a ocorrência de arrancamento de

partículas, corroborando com o resultado de aumento da resistência à tração e do módulo desta amostra, discutido no item 5.2.1. Tal comportamento era esperado pois o PPgMA faz uma ancoragem química na interface matriz/reforço e diminui a formação dos aglomerados, que são concentradores de tensão e influenciam nos valores de resistência à tração do material (ZULKIFLI et al., 2015). Entretanto, a região da amostra PPR/3PPgMA/30BC (Figura 32 (c)) apresentou a ocorrência de muitos arrancamentos de partículas e pouca melhora na dispersão das partículas.

Figura 32 – Superfície fraturada em tração com ampliação de 100x das amostras (a) PPR/30BC, (b) PPR/20BC, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/2PPgMA/20BC.

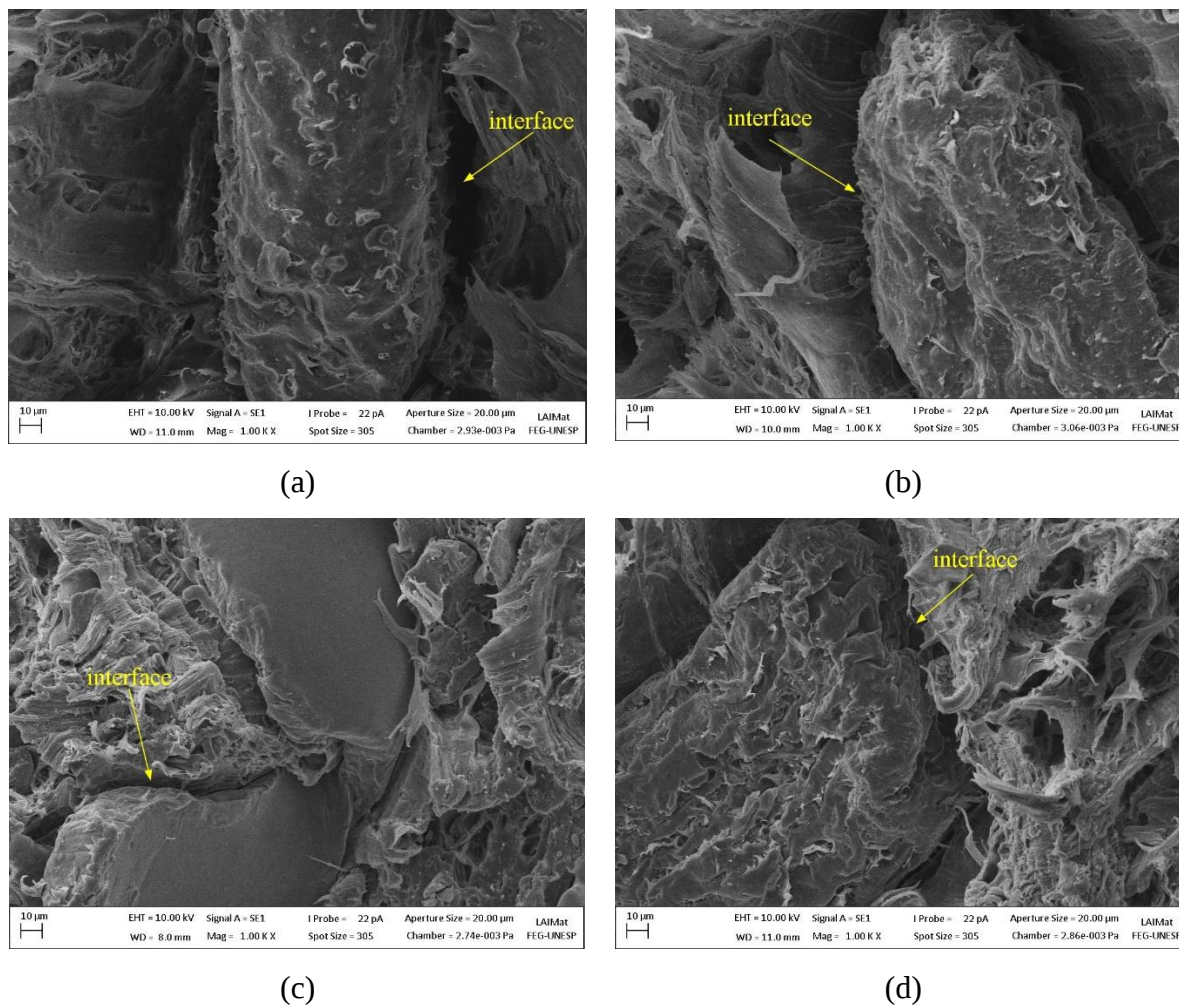


Fonte: O Autor (2019).

De acordo com a Figura 33, é possível observar a interface ampliada entre matriz e reforço, onde foi identificado que, para as amostras PPR/30BC e PPR/20BC (Figuras 31 (c) e (d)), há um espaço entre a matriz e a partícula, sugerindo que houve pouca ou nenhuma

adesão entre elas. A partícula não foi envolvida pela matriz, corroborando para os baixos valores de resistência à tração encontrados no item 5.2.1.

Figura 33 - Superfície fraturada em tração com ampliação de 1000x das amostras (a) PPR/30BC, (b) PPR/20BC, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/2PPgMA/20BC.



Fonte: O Autor (2019).

Entretanto, após a adição do agente compatibilizante (Figuras 31 (c) e (d)), foi possível observar que houve uma melhora na adesão entre matriz e reforço, pois a partícula foi envolvida pelo polímero. Tal comportamento foi reportado na literatura (KEENER et al., 2004; CORREA et al., 2007; ROCHA; ROSA, 2019) e está diretamente relacionado ao aumento da resistência à tração das amostras PPR/3PPgMA/30BC e PPR/2PPgMA/20BC comparando às amostras PPR/30BC e PPR/20BC (item 2.5.1).

5.3 EXPOSIÇÃO À DEGRADAÇÃO

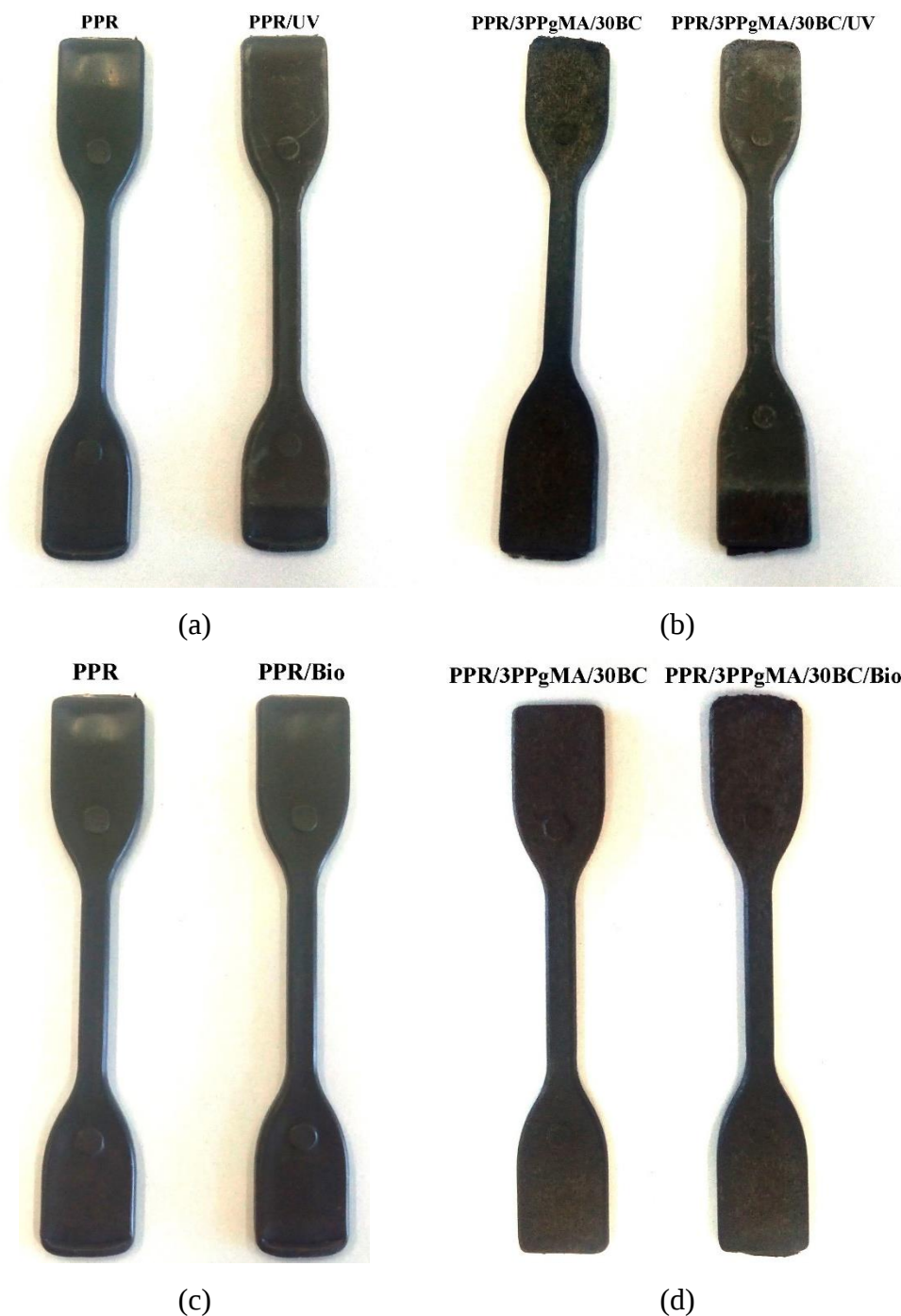
As amostras PPR e PPR/3PPgMa/30BC foram expostas à biodegradação, por meio do enterro dos CDPs no solo da composteira e ao intemperismo acelerado através de ciclos de radiação UV e condensação. As amostras foram analisadas antes e após as exposições de maneira a identificar se as exposições causaram mudanças na superfície do material, bem como nas propriedades mecânicas e térmicas dos mesmos. Para isso foi realizado uma análise dos aspectos visuais, absorção de umidade, FTIR, análises térmicas e mecânicas.

5.3.1 Análise Visual

Após 120 dias expostas aos ciclos de UV e condensação, as amostras sofreram mudanças superficiais que foram observadas a nível macroscópico. Tanto a amostra PPR/UV quanto a amostra PPR/3PPgMA/30BC/UV sofreram um branqueamento na superfície que ficou exposta, podendo ser observado na comparação das amostras antes e depois da exposição na Figura 34 (a) e (b). Além disso, as amostras apresentaram um esfarelamento na superfície degradada, comportamento também identificado pela autora após a exposição ao intemperismo acelerado, durante 70 dias, em amostras da embalagem externa da cápsula de café, antes da reciclagem (BOMFIM et al., 2019).

Apesar das amostras expostas ao UV apresentarem branqueamento e esfarelamento, o PP é um polímero que não absorve radiação ultravioleta. O processo ocorre devido a presença de impurezas na estrutura do polímero, geralmente grupos cromóforos como éster, carbonila e aldeído, que absorvem a energia da radiação UV, causam reações oxidativas e agem como um propulsor da degradação (RABELLO; WHITE, 1997). Desta forma, como a amostra PPR é proveniente do processo de moldagem das cápsulas de café seguido de reciclagem mecânica, o branqueamento e o esfarelamento da amostra está relacionado com o processo oxidativo que ocorreu na superfície do material causado por grupos cromóforos (DEPAOLI, 2008). Tal comportamento foi confirmado e discutido na análise de FTIR no item 5.3.3.

Figura 34 – CDPs de tração das amostras antes e após às exposições, onde (a) PPR e (b) PPR/3PPgMA/30BC expostos ao intemperismo acelerado, (c) PPR e (d) PPR/3PPgMA/30BC expostos a biodegradação.



Fonte: O Autor (2019).

De acordo com a Figura 34 (c) e (d) foi possível observar que a exposição, após 120 dias, ao processo de compostagem não causou mudanças, a nível macroscópico, na superfície

do material. O tempo de exposição e as condições da análise, 120 dias, não foram suficientes para proliferação de microrganismos, presentes no solo, na superfície do material.

5.3.2 Absorção de umidade

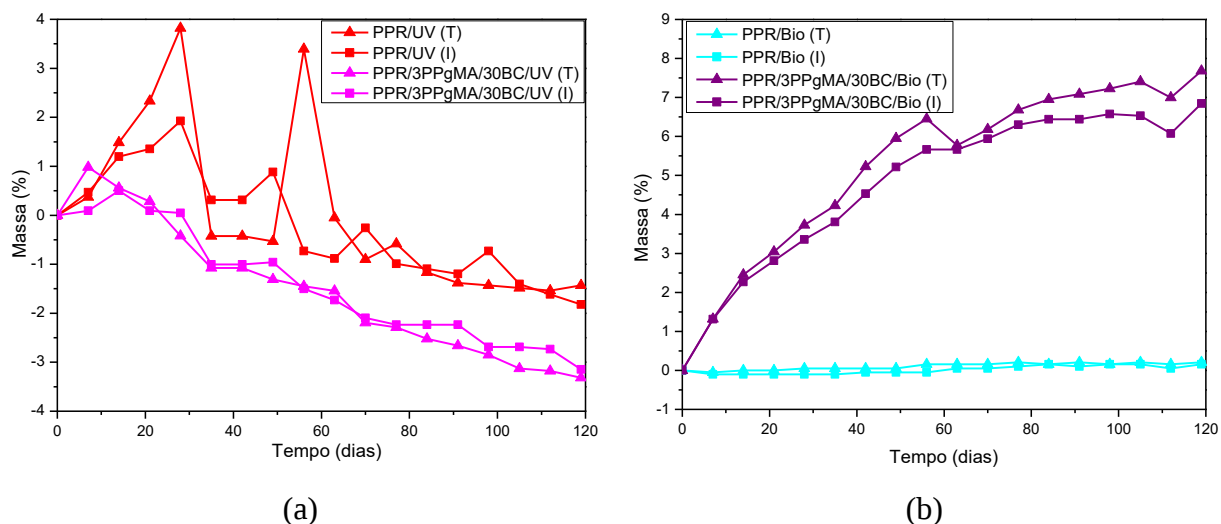
As amostras, CDPs de tração (T) e impacto (I), tiveram seu peso monitorado durante os 120 dias de exposição ao intemperismo acelerado (fotodegradação), pesagens realizadas sempre dentro do ciclo da radiação, e à biodegradação através do processo de compostagem. Os dados coletados estão apresentados no gráfico da Figura 35 (a) e (b), de maneira a permitir uma comparação entre o comportamento das amostras.

De acordo com os dados da Figura 35 (a), foi possível observar um ganho de massa de 4% para PPR/UV (T) e de 2% para PPR/UV (I) até o 30º dia, devido à absorção de umidade e após sofreram um declínio até o final do experimento. Mas apesar do declínio, as amostras oscilaram entre ganhar e perder massa durante todo o experimento, com um pico de ganho de massa para PPR/UV (T), após 60 dias. Foi possível observar uma variação expressiva entre as amostras de tração (T) e impacto (I), que pode estar relacionado com a diferença dimensional entre os CDPs.

As amostras PPR/3PPgMA/30BC/UV (T) e (I) também ganharam massa no início do experimento, porém com uma porcentagem menos expressiva do que PPR. Após 20 dias expostas, as curvas de ambas amostras sofreram um declínio até o final do experimento, apresentando pouca variação na curva.

Logo, foi possível concluir que após a exposição ao intemperismo acelerado tanto a matriz PPR quanto o compósito PPR/3PPgMA/30BC, apesar do reforço possuir características hidrofílicas, sofreram mais com a ação da radiação ultravioleta do que com a condensação, trazendo como consequência a perda de massa, bem como o branqueamento e o esfarelamento superficial, discutido no item anterior (5.3.1). Tal comportamento caracteriza degradação da cadeia polimérica (DEPAOLI, 2008), discutido nas próximas análises.

Figura 35 – Gráfico de massa (%) em função do tempo (dias) das amostras PPR (T) e (I) e PPR/3PPgMA/30BC (T) e (I) após exposição à (a) Fotodegradação e (b) Biodegradação.



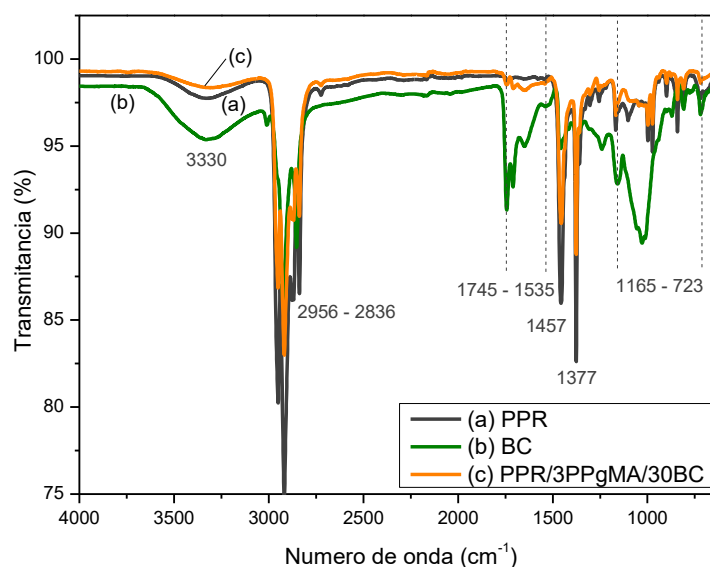
Fonte: O Autor (2019).

De acordo com a Figura 35 (b), foi possível observar que a amostra PPR/Bio (T) e (I) não sofreu perda nem aumento de massa durante o tempo de exposição à compostagem. Todavia, a amostra PPR/3PPgMA/30BC/Bio (T) e (I) absorveu a umidade presente durante o processo de compostagem e ganhou massa do início ao final do processo, com pouca oscilação na curva.

5.3.3 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Primeiramente foi conhecido as bandas de absorção da matriz (PPR), do reforço (BC) e do compósito (PPR/3PPgMA/30BC) com o objetivo de identificar e comparar o comportamento das mesmas antes e após as exposições. Os espectros na região do infravermelho das amostras PPR, BC e PPR/3PPgMA/30BC estão apresentados na Figura 36. Em seguida, os espectros das amostras antes da exposição foram comparados aos espectros das amostras após a exposição, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV, que estão apresentados na Figura 37 (a) e (b). A região de absorção foi realizada na faixa de comprimento de onda entre $4000\text{-}650\text{ cm}^{-1}$, para todas as amostras. A discussão a seguir foi realizada de maneira qualitativa.

Figura 36 – Espectros na região do infravermelho das amostras PPR, BC e PPR/3PPgMA/30BC.



Fonte: O Autor (2019).

De acordo com o espectro da amostra PPR (Figura 36), foram identificadas bandas característica do PP, conforme a literatura (PARPARITA et al., 2014; AUTA et al., 2018). A região entre 2956 e 2836 cm^{-1} corresponde ao estiramento assimétrico e simétrico de CH₂ e CH₃ (PARPARITA et al., 2014). A banda em 1457 cm^{-1} é atribuída ao dobramento de CH₂ (PARPARITA et al., 2014; AUTA et al., 2018) e 1376 cm^{-1} refere-se ao dobramento de CH₃ (AUTA et al., 2018). Em 1165 cm^{-1} foi observado vibrações características do estiramento C-C (SILVA et al., 2016), em 971 cm^{-1} há vibrações do dobramento *rocking* do CH₃ e nas últimas bandas 899, 841 e 807 cm^{-1} são vibrações que correspondem à ligação C-H fora do plano (PARPARITA et al., 2014).

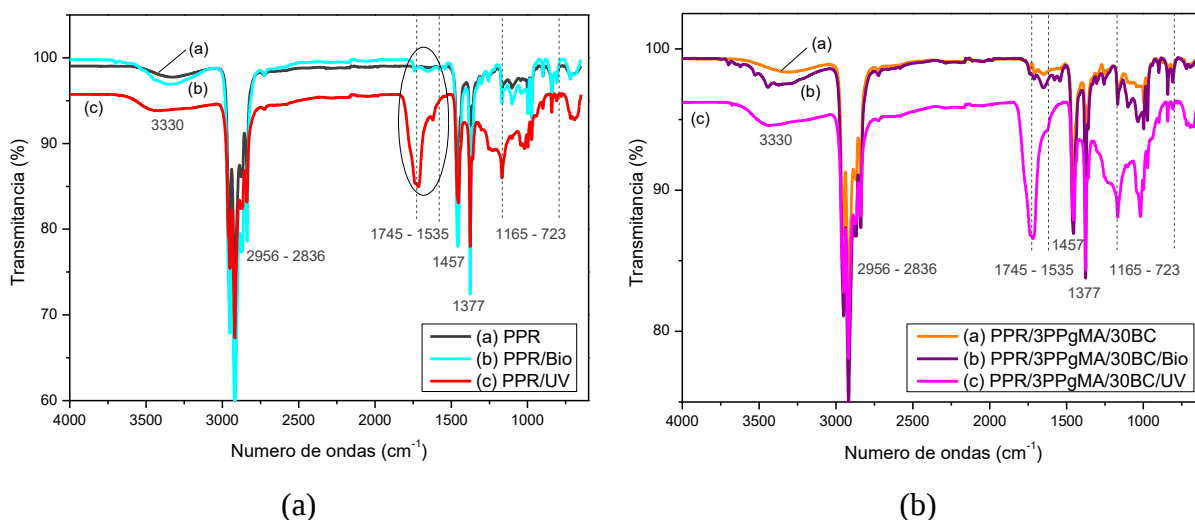
Além disso, foi possível observar uma banda de absorção em 3330 cm^{-1} na amostra PPR. Tal banda corresponde a deformação axial do grupo hidroxila O-H e não é característica do polímero em estudo (PARPARITA et al., 2014). A presença do oxigênio na cadeia polimérica do PP está relacionada com o processo oxidativo que pode ocorrer durante a pelletização e/ou no processamento do polímero (DEPAOLI, 2008; CHAMMINGKWAN et al., 2017). Desta forma, a presença de oxigênio na amostra PPR pode estar relacionado com contaminação no processamento das cápsulas e/ou no processo de reciclagem mecânica (JMAL et al., 2018), além disso, pode estar relacionado com a presença de umidade na amostra (BAEK et al., 2013).

A partir dos espectros da amostra BC (Figura 36) foi possível observar bandas características de materiais lignocelulósicos e outras bandas de componentes presentes especificadamente na estrutura química do café (BENINI, 2011; BALLESTEROS et al., 2014). Desta forma, foi identificado a banda correspondente ao grupo hidroxila O-H em 3338 cm^{-1} , conforme já esperado, devido ao comportamento hidrofílico dos materiais lignocelulósicos (BENINI, 2011; BAEK et al., 2013; MEI et al., 2017). A região identificada entre 2922 e 2854 cm^{-1} é relacionada, geralmente, com a molécula da cafeína ($\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$), estando presente no café Arábica e Robusta (PUJOL et al., 2013; BALLESTEROS et al., 2014), correspondendo ao estiramento assimétrico e simétrico de ligações C-H do grupo metil.

As bandas de absorção em 1746 cm^{-1} corresponde à vibração de grupos carbonilas C=O em ésteres, aldeídos ou lipídios (PUJOL et al., 2013; REIS et al., 2013; MEI et al., 2017), em 1646 cm^{-1} corresponde ao estiramento das ligações C=C de lipídios e ácidos graxos, em 1535 cm^{-1} corresponde ao estiramento das ligações C=C do anel aromático da lignina e em 1461 cm^{-1} corresponde ao dobramento de ligações C-H do grupo metil (PUJOL et al., 2013). A região entre 1380 e 1027 cm^{-1} é caracterizada pela vibração de vários tipos de ligações glicosídicas relacionadas com os polissacarídeos, como C-H, C-O-C, C-N (presente na molécula da cafeína) e C-O. Além disso, essa região também pode ser caracterizada pela presença de ácido clorogênico, (PUJOL et al., 2013; REIS et al., 2013; BALLESTEROS et al., 2014) que é o principal componente fenólico presente na estrutura da lignina (CAMPOS-VEGA et al., 2015). As últimas bandas em 866 e 723 cm^{-1} estão relacionadas com unidades de açúcar presentes na hemicelulose, manose e galactose, respectivamente (REIS et al., 2013; BALLESTEROS et al., 2015).

O espectro do compósito PPR/3PPgMA/30BC apresentou um comportamento semelhante a matriz PPR e ao reforço BC, conforme a Figura 36. As regiões 2956 - 2836 , 1457 , 1377 e 1165 - 723 cm^{-1} presentes no compósito, também foram identificadas nas amostras de controle (PPR e BC). Entretanto, a adição do reforço adicionou as bandas 1745 e 1646 cm^{-1} , não presentes na matriz PPR, correspondente aos grupos C=O e C=C, respectivamente (PUJOL et al., 2013).

Figura 37 - Espectros na região do infravermelho das amostras (a) PPR, PPR/Bio, PPR/UV e (b) PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.



Fonte: O Autor (2019).

As amostras expostas à biodegradação se comportaram de maneira similar às amostras antes da exposição. O espectro da amostra PPR/3PPgMA/30BC/Bio não apresentou nenhuma variação em relação a amostra PPR/3PPgMA/30BC, conforme Figura 37 (b). Entretanto, no espectro da amostra PPR/Bio (Figura 37 (a)) foi possível observar o aparecimento das bandas 1745 e 1646 cm^{-1} , não presentes na amostra PPR, correspondente a ligação carbonila C=O e ao estiramento de C=C, respectivamente (PUJOL et al., 2013). Essas ligações não são originárias da estrutura molecular do PP e podem ter sido formadas durante o processamento dos CDPs.

A formação da ligação carbonila C=O está diretamente ligada ao processo de auto oxidação gerado pela presença do oxigênio. O oxigênio é muito reativo, ou seja, reage rapidamente com qualquer radical livre, que foi gerado através de uma cisão na cadeia. Essa reação do oxigênio com um radical livre forma um radical peroxila que irá propagar a reação (processo auto catalítico com início, propagação e término), resultando na formação de grupos carbonilas, carboxilas e álcoois (DEPAOLI, 2008).

A ligação C=C provavelmente foi formada através da reação de degradação sem cisão da cadeia polimérica. O processo ocorre através do rompimento da ligação do carbono da cadeia principal com um substituinte, seguido do rompimento de uma ligação C-H, formando, assim, uma ligação C=C (DEPAOLI, 2008).

Desta forma, durante o processamento dos CDPs em misturador termocinético, moinho granulador e injetora, é possível que tenha ocorrido a contaminação por oxigênio juntamente com o rompimento de ligações químicas na cadeia principal do PP.

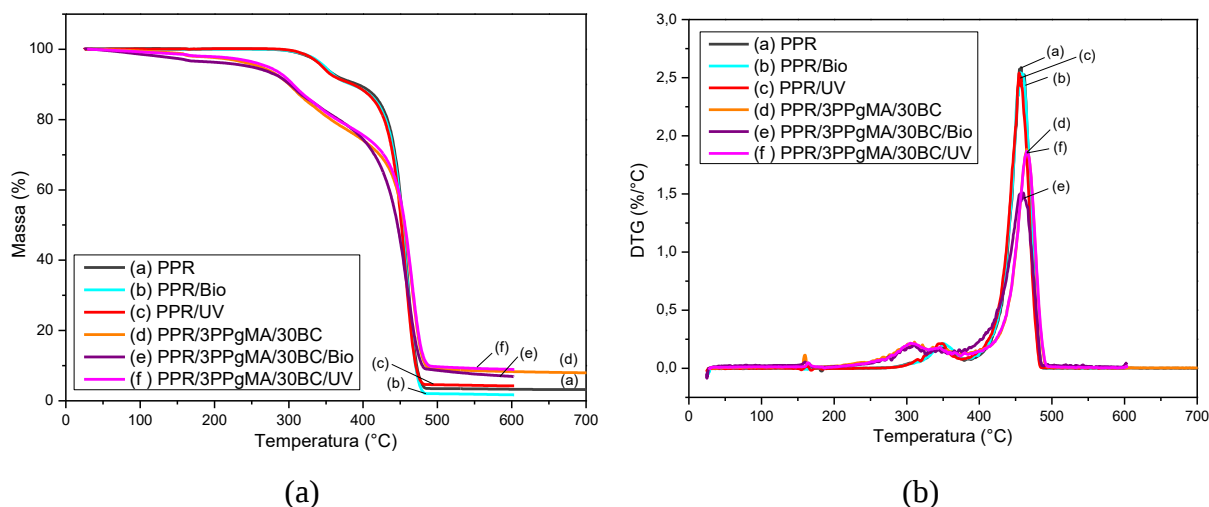
Após a exposição ao intemperismo acelerado a amostra PPR/3PPgMA/30BC/UV não apresentou nenhuma variação em relação a amostra PPR/3PPgMA/30BC, conforme Figura 31 (b). Entretanto, na amostra PPR/UV (Figura 37 (a)) foi possível observar a presença das mesmas bandas mencionadas anteriormente, 1745 e 1646 cm^{-1} , correspondentes as ligações C=O e C=C, respectivamente. Conforme já mencionado, estas ligações provavelmente foram formadas durante o processamento dos CDPs.

A ligação C=O é um cromóforo extrínseco (contaminante) ao PP, ou seja, é uma ligação que absorve luz na faixa de comprimento de onda do ultravioleta e propaga o processo de degradação. A ligação C=C também é um cromóforo, entretanto só absorve luz na região do ultravioleta depois de sua propagação em quatro ou mais ligações C=C conjugadas. Logo, a presença destas ligações cromóforas tanto na amostra PPR/UV quanto na amostra PPR/3PPgMA/30BC/UV causou a fragilidade superficial do material, conforme observado no item 5.3.1, através da absorção de luz na faixa do ultravioleta.

5.3.4 Termogravimetria (TGA)

As curvas de TGA e DTG das amostras antes das exposições PPR e PPR/3PPgMA/30BC e das amostras após as exposições PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV estão apresentadas na Figura 38 e as propriedades obtidas estão apresentadas na Tabela 10.

Figura 38 – Curvas TGA e DTG das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.



Fonte: O Autor (2019).

De acordo com os dados, as amostras PPR/Bio e PPR/UV não perderam estabilidade térmica após as exposições, mantendo os eventos térmicos e perdas de massa similares a amostra PPR. Os compósitos PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV também não sofreram mudanças, com estabilidade térmica, eventos térmicos e perdas de massa similares a amostra PPR/3PPgMA/30BC.

Tabela 10 – Parâmetros medidos nas curvas TGA e DTG das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.

Amostra	Evento	T _i (°C)	T _{pico} (°C)	T _f (°C)	Perda de massa (%)	Resíduo (%)
PPR	1	275	350	386	9,8	3,0
	2	386	458	488	87,2	
PPR/Bio	0	275	351	386	9,7	2,0
	1	386	456	488	88,3	
PPR/UV	1	275	347	380	9,5	4,0
	2	380	454	488	85,9	
PPR/3PPgMA/30BC	1	220	308	388	20,7	8,0
	2	388	465	494	67,5	
PPR/3PPgMA/30BC/Bio	1	220	309	376	17,2	7,0
	2	376	460	488	69,7	
PPR/3PPgMA/30BC/UV	1	220	305	385	20,0	9,0
	2	385	465	495	67,8	

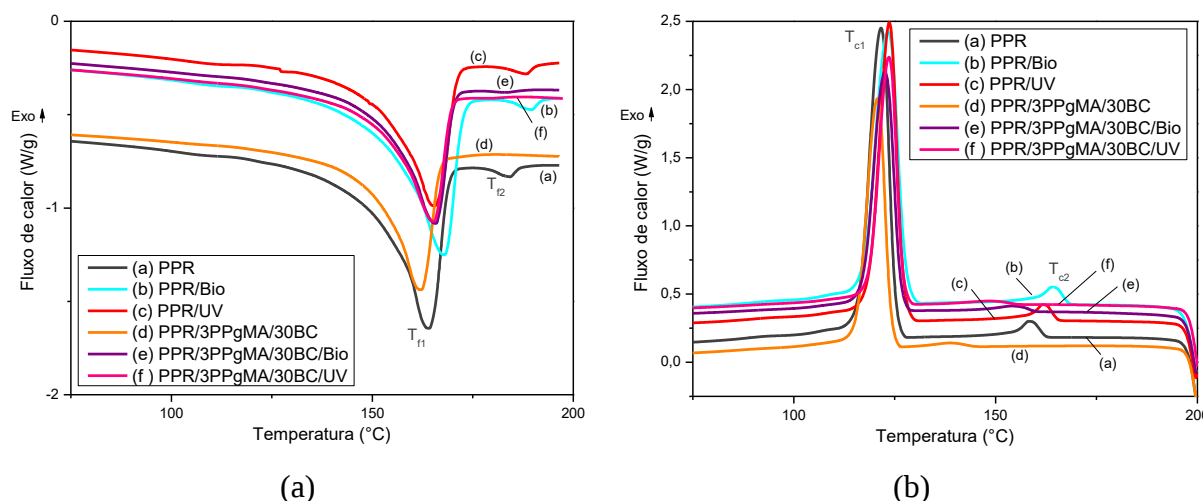
Fonte: O Autor (2019).

O resíduo gerado à 600 °C para as amostras expostas ao intemperismo acelerado PPR/UV e PPR/3PPgMA/30BC/UV e à biodegradação PPR/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/Bio sofreu uma variação de 1%, para mais e para menos, comparado às amostras antes da exposição. Entretanto, tal variação é considerada não significativa.

5.3.5 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas de DSC das amostras antes das exposições PPR e PPR/3PPgMA/30BC e das amostras após as exposições PPR/Bio, PPR/UV e PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV estão apresentadas na Figura 39 e os parâmetros determinados a partir desta análise estão na Tabela 11. A fim de eliminar o histórico térmico do material, apenas os resultados do segundo aquecimento (Figura 39 (a)) e do resfriamento (Figura 39 (b)) foram considerados.

Figura 39 – Curvas DSC das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio, PPR/3PPgMA/30BC/UV onde (a) 2º aquecimento e (b) resfriamento.



Fonte: O Autor (2019).

De acordo com os dados, foi possível observar que as exposições causaram algumas mudanças nas temperaturas de fusão (T_{f1} e T_{f2}) e de cristalização (T_{c1} e T_{c2}) das amostras PPR/Bio e PPR/UV, com um leve aumento da T_{f1} (2,4%), T_{f2} (3,3%), T_{c1} (1,7%) e T_{c2} (3,8%) para PPR/Bio e leve aumento da T_{f2} (2,2%), T_{c1} (1,7%) e T_{c2} (2,5%) para PPR/UV. A presença de dois picos endotérmicos e exotérmicos, juntamente com suas temperaturas máximas de

pico são similares à amostra PPR. Além disso, após as exposições, não foi possível identificar a T_g dos materiais nas curvas de DSC. Entretanto, foi possível observar uma diminuição na entalpia (ΔH_{f1}) e na porcentagem de cristalinidade (X_{c1}) para a amostra PPR/UV, comportamento que está relacionado ao rompimento de ligações da cadeia polimérica causado pelas exposições, conforme discutido nas análises anteriores.

Tabela 11 – Parâmetros medidos na curva DSC das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio, PPR/3PPgMA/30BC/UV.

Amostra	T_{f1} (°C)	ΔH_{f1} (J/g)	T_{f2} (°C)	ΔH_{f2} (J/g)	T_{c1} (°C)	ΔH_{c1} (J/g)	T_{c2} (°C)	ΔH_{c2} (J/g)	T_g (°C)	X_{c1} (%)
PPR	164,0	71,7	184,0	1,6	121,0	-77,6	158,0	-4,3	-1,1	34,3
PPR/Bio	168,0	70,6	190,0	1,9	123,0	-84,6	164,0	-5,8	-	33,7
PPR/UV	165,0	67,3	188,0	1,7	123,0	-79,2	162,0	-4,4	-	32,2
PPR/ 3PPgMA/ 30BC	162,0	54,7	-	-	120,0	-57,4	138,0	-1,3	-	26,2
PPR/ 3PPgMA/ 30BC/Bio	165,0	53,5	-	-	122,0	-65,8	154,0	-2,1	-	25,5
PPR/ 3PPgMA/ 30BC/UV	165,0	48,4	-	-	123,0	-60,8	148,0	-1,2	-	23,1

Fonte: O Autor (2019).

Os compósitos PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV apresentaram um pico endotérmico T_{f1} e dois picos exotérmicos T_{c1} e T_{c2} , comportamento similar à amostra antes da exposição PPR/3PPgMA/30BC, com um leve aumento na T_{f1} (1,9%) e T_{c1} (2,3%), bem como uma diminuição na T_{c2} (11,6% para PPR/3PPgMA/30BC/Bio e 7,2% para PPR/3PPgMA/30BC/UV). A T_g dos materiais expostos não foi possível ser identificada nas curvas, entretanto, foi possível observar uma diminuição na entalpia e na cristalinidade da amostra PPR/3PPgMA/30BC/UV, assim como ocorreu com a amostra PPR/UV. Logo, a exposição ao intemperismo acelerado causou a diminuição da cristalinidade do polímero e do compósito exposto.

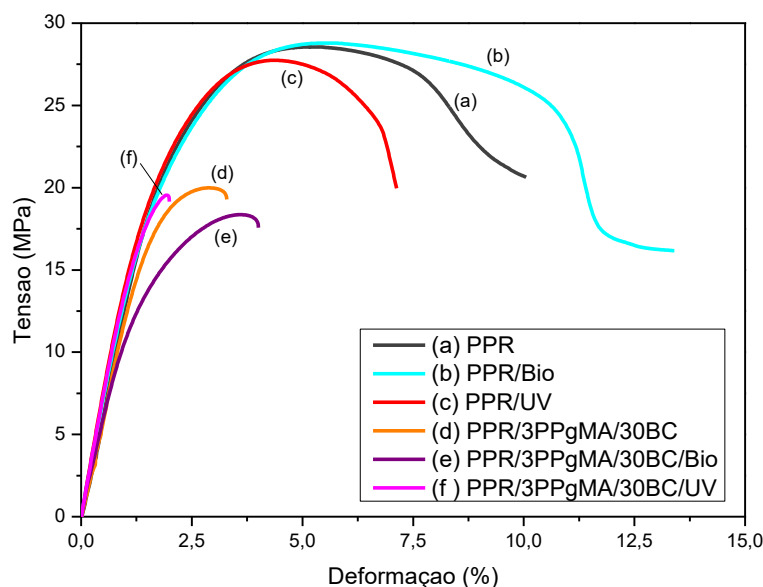
5.3.6 Ensaio de Tração

As curvas tensão x deformação obtidas a partir do ensaio de tração das amostras antes e após exposição ao intemperismo acelerado e à biodegradação, PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV estão apresentadas na Figura 40 e suas propriedades na Tabela 12.

De acordo com os dados, após a exposição à biodegradação a amostra PPR/Bio apresentou leves mudanças, de menos de 10,5%, na resistência à tração, na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e na deformação total, porém, com valores sobrepostos, levando em consideração o desvio padrão. Entretanto, o valor do módulo sofreu um aumento de 15,4%. Tal comportamento está relacionado com as diferenças dimensionais individuais entre os CDPs, causadas pela moldagem por injeção, visto que as análises anteriores não apresentaram mudanças que caracterizasse degradação da cadeia do polímero exposto à biodegradação.

No mesmo contexto da exposição à biodegradação, o compósito PPR/3PPgMA/30BC/Bio, comparado à amostra antes da exposição, apresentou algumas mudanças na resistência à tração, na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$, na deformação total e no módulo, entretanto, alguns dos valores se sobrepuseram, considerando o desvio, e não são considerados uma efetiva alteração, como a deformação na $\sigma_{\text{máx}}$, por exemplo. Tal comportamento está relacionado a variação dimensional dos CDPs, conforme já mencionado.

Figura 40 - Gráfico Tensão x Deformação do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.



Fonte: O Autor (2019).

A exposição ao intemperismo acelerado causou uma queda de 18,9% na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e de 36,8% na deformação total na amostra PPR/UV, indicando uma fragilização do material em relação a amostra antes da exposição (PPR). Tal comportamento já era esperado, mediante a fragilização superficial da amostra discutida no item 5.3.1. Além disso, a amostra apresentou uma diminuição menor do que 10% na resistência à tração, mas, considerando o desvio padrão, os valores são considerados similares. Além disso, houve um aumento de 23,1% no valor do módulo. O aumento no valor do módulo elástico também foi discutido por CUI et al. (2013) em amostras de PP expostas a 750 h de intemperismo acelerado com ciclos de 8h de UV e 4h de condensação, onde os autores abordaram como causa a reticulação da cadeia polimérica, após a exposição. Em adição, CÁCERES e CANEVAROLO (2009) estudaram a degradação do PP durante o processo de extrusão e concluíram que o mecanismo de degradação do PP, em temperaturas abaixo de 200 °C, pode causar a cisão de cadeia com ramificação e/ou reticulação da cadeia polimérica. A reticulação ou *crosslinking* forma ligações cruzadas na cadeia, diminui a cristalinidade do material e provoca o aumento da massa molar (DEPAOLI, 2008). A diminuição da cristalinidade de PPR/UV foi observada na análise de DSC no item 5.3.5.

Comportamento semelhante foi identificado na amostra PPR/3PPgMa/30BC/UV, apresentando uma fragilização expressiva devido à queda de 26,9% na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e

de 35,5% na deformação total e, conseqüentemente, houve um aumento do módulo em 14,3%. Com relação a resistência à tração houve um leve aumento que não pode ser considerado devido ao desvio padrão. O aumento do módulo está relacionado com o mesmo mecanismo mencionado no parágrafo anterior, reticulação da cadeia polimérica.

Tabela 12 – Propriedades do ensaio de tração das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.

Amostra	Resistência à Tração (MPa)	Deformação ϵ máx. (%)	Deformação total (%)	Módulo Elástico (GPa)
PPR	28,3 $\pm$ 0,6	5,3 $\pm$ 0,1	11,4 $\pm$ 1,3	1,3 $\pm$ 0,1
PPR/Bio	28,1 $\pm$ 0,4	5,4 $\pm$ 0,1	12,6 $\pm$ 3,0	1,5 $\pm$ 0,1
PPR/UV	27,7 $\pm$ 0,2	4,3 $\pm$ 0,1	7,2 $\pm$ 1,0	1,6 $\pm$ 0,1
PPR/3PPgMA/30BC	19,0 $\pm$ 0,9	2,6 $\pm$ 0,2	3,1 $\pm$ 0,4	1,4 $\pm$ 0,1
PPR/3PPgMA/30BC/Bio	17,7 $\pm$ 0,9	3,2 $\pm$ 1,0	4,3 $\pm$ 0,5	1,2 $\pm$ 0,1
PPR/3PPgMA/30BC/UV	19,7 $\pm$ 0,9	1,9 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,1

Fonte: O Autor (2019).

A exposição à biodegradação não causou a perda de propriedades mecânicas das amostras, seguindo a tendência das análises discutidas anteriormente. Todavia, a exposição ao intemperismo acelerado além de fragilizar a superfície das amostras, também causou uma fragilização mecânica nas mesmas, entretanto, não houve perda na resistência à tração do material. Essa fragilização foi causada pela degradação na superfície exposta do material, que foi comprovada através da microscopia óptica no item 5.3.8.2.

5.3.7 Ensaio de Impacto

As propriedades obtidas no ensaio de impacto Charpy para as amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV estão apresentadas na Tabela 11.

De acordo com a Tabela 11, a exposição à biodegradação causou um aumento na energia absorvida pela amostra PPR/UV em relação a PPR e, conseqüentemente, aumentou a resistência ao impacto do material, entretanto, o aumento da resistência não pode ser considerado efetivo devido ao espalhamento do desvio padrão e a sobreposição dos valores dos CDPs ensaiados. Todavia, a exposição causou uma leve diminuição na resistência ao

impacto do compósito PPR/3PPgMA/30BC/Bio, em menos de 10%. Tal diferença, para as duas amostras, está relacionada com a influência das diferenças dimensionais de cada CDP, mencionada na discussão do ensaio de impacto no item 5.2.2. Além disso, foi identificado a presença de vazios na microscopia das amostras expostas, vide item 5.3.8.1, que são concentradores de tensão e influenciam na perda de propriedades mecânicas.

Tabela 13 – Propriedades do ensaio de impacto das amostras PPR, PPR/Bio, PPR/UV, PPR/3PPgMA/30BC, PPR/3PPgMA/30BC/Bio e PPR/3PPgMA/30BC/UV.

Amostra	Energia absorvida (J)	Resistência ao Impacto (J/m)
PPR	$0,12 \pm 0$	$39,0 \pm 4,1$
PPR/Bio	$0,14 \pm 0$	$43,8 \pm 3,0$
PPR/UV	$0,14 \pm 0$	$43,9 \pm 1,3$
PPR/3PPgMA/30BC	$0,13 \pm 0$	$30,5 \pm 1,4$
PPR/3PPgMA/30BC/Bio	$0,10 \pm 0$	$27,8 \pm 1,5$
PPR/3PPgMA/30BC/UV	$0,10 \pm 0$	$25,0 \pm 1,2$

Fonte: O Autor (2019).

A exposição ao intemperismo acelerado também causou mudanças na tenacidade dos materiais. A amostra PPR/UV apresentou um aumento na energia absorvida, bem como um aumento de 12,5% na resistência ao impacto. Tal comportamento não é justificável, devido a fragilização do material identificado no item 5.3.6, todavia, pode estar relacionada com as diferenças dimensionais entre os CDPs, não confiabilidade do equipamento usado, com a presença de vazios encontrados em todas as amostras fraturadas por tração e com a distribuição das partículas na matriz.

A amostra PPR/3PPgMA/30BC/UV obteve uma perda de resistência ao impacto em 18,3%. Tal perda está diretamente relacionada com a fragilização da superfície do material, discutida no item anterior, item 5.3.6.

5.3.8 Microscopia

5.3.8.1 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

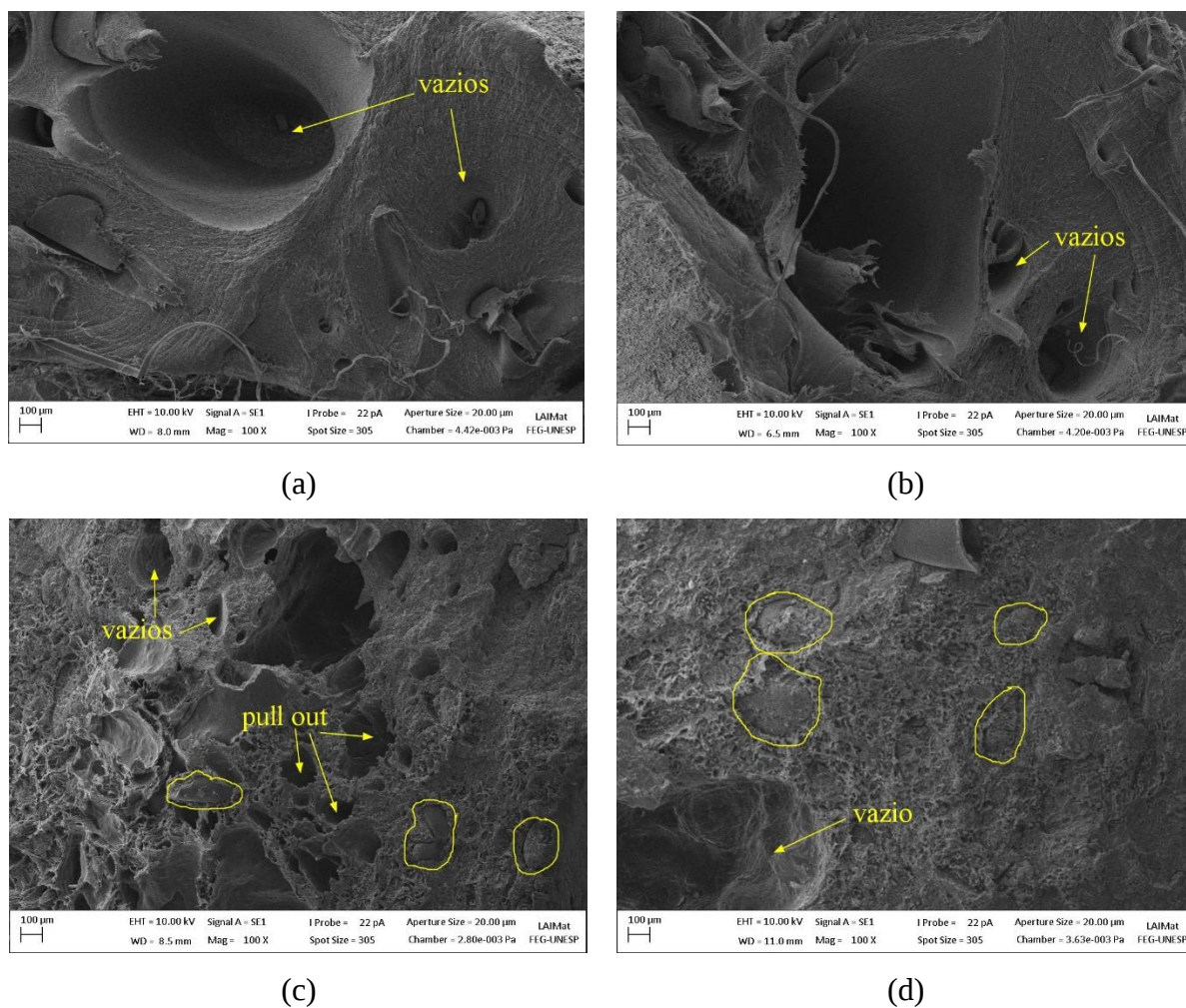
A análise foi realizada com o objetivo de identificar o que ocorreu na superfície fraturada das amostras PPR e PPR/3PPgMA/30BC antes e após as degradações. As imagens

obtidas após exposição à biodegradação estão apresentadas na Figura 41 com ampliação de 100x e as imagens das amostras após exposição ao intemperismo acelerado estão apresentadas na Figura 42 e 43 com ampliações de 100x e 1000x, respectivamente.

De acordo com a Figura 41, a superfície fraturada das amostras PPR e PPR/3PPgMA/30BC não sofreu alteração morfológica após a exposição à biodegradação, com destaque para a presença de vazios na matriz polimérica, corroborando com os resultados das demais análises já discutidas.

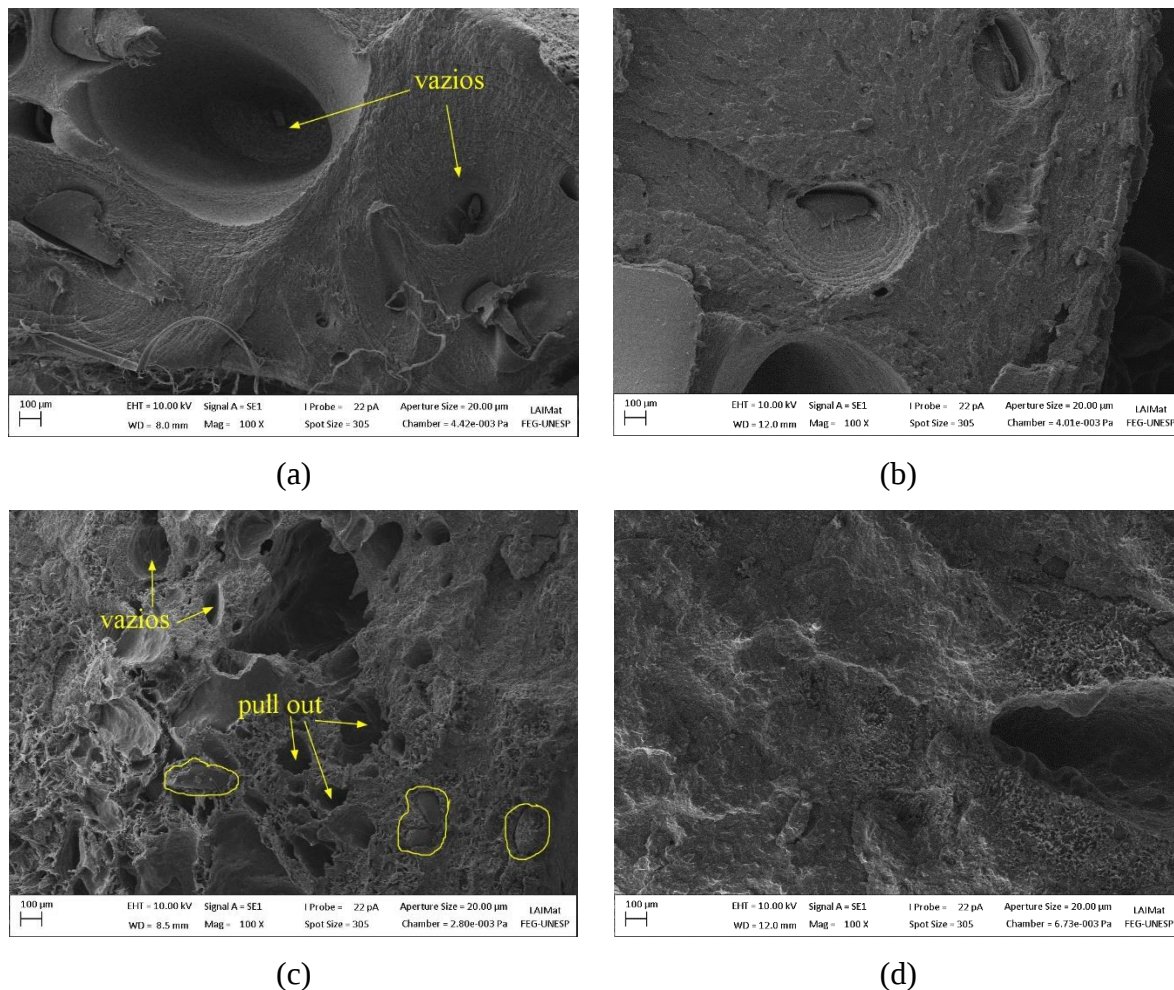
Após a exposição ao intemperismo acelerado, tanto a matriz PPR quanto o compósito PPR/3PPgMA/30BC apresentaram a mesma morfologia na superfície fraturada comparado às amostras antes da exposição, conforme Figura 42. Entretanto, a exposição ao UV causou degradação na superfície exposta do material (vide análise visual no item 5.3.1) e não na superfície da fratura em tração. Portanto, a Figura 43 apresenta imagens com ampliação de 1000x das bordas das superfícies degradadas.

Figura 41 – Superfície fraturada em tração com ampliação de 100x das amostras antes e após a exposição à biodegradação (a) PPR, (b) PPR/Bio, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/Bio.



Fonte: O Autor (2019).

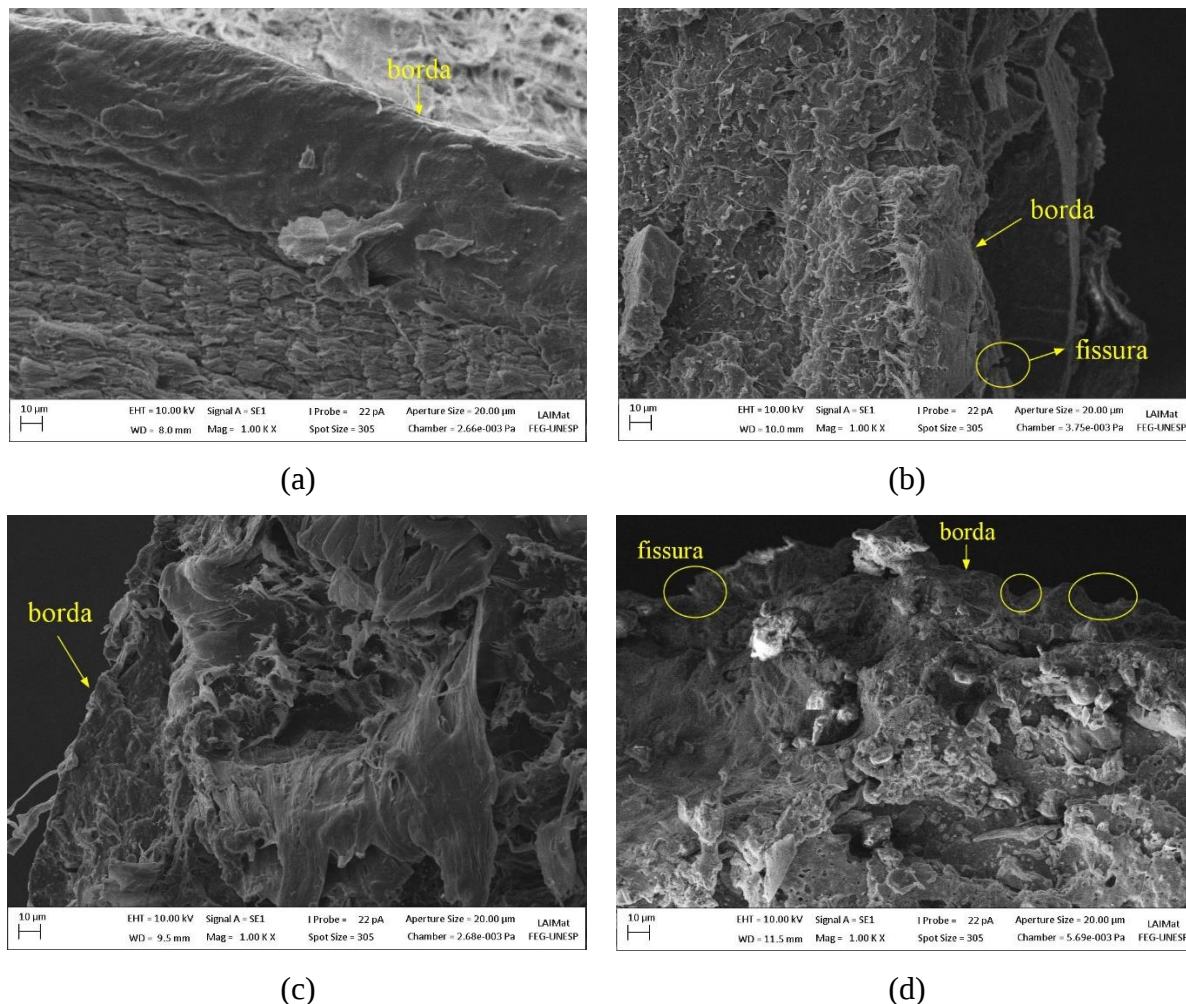
Figura 42 - Superfície fraturada em tração com ampliação de 100x das amostras antes e após a exposição à intemperismo acelerado (a) PPR, (b) PPR/UV, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/UV.



Fonte: O Autor (2019).

A exposição aos vários ciclos de umidade e radiação UV causam um gradiente de tensão dentro da estrutura polimérica levando à formação de fissuras na superfície do material (CUI et al., 2013). Desta forma, na região fotografada das amostras PPR/UV e PPR/3PPgMA/30BC/UV foi possível observar as bordas da superfície exposta à degradação, onde foi identificado o aparecimento de fissuras em ambas amostras, conforme destacado na Figura 43 (b) e (d) respectivamente. Além disso, foi identificado a formação de cavidades mais profundas na borda da superfície da amostra PPR/3PPgMA/30BC/UV (Figura 43 (d)).

Figura 43 – Borda da superfície degradada com ampliação de 1000x das amostras antes e após a exposição à intemperismo acelerado (a) PPR, (b) PPR/UV, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/UV.



Fonte: O Autor (2019).

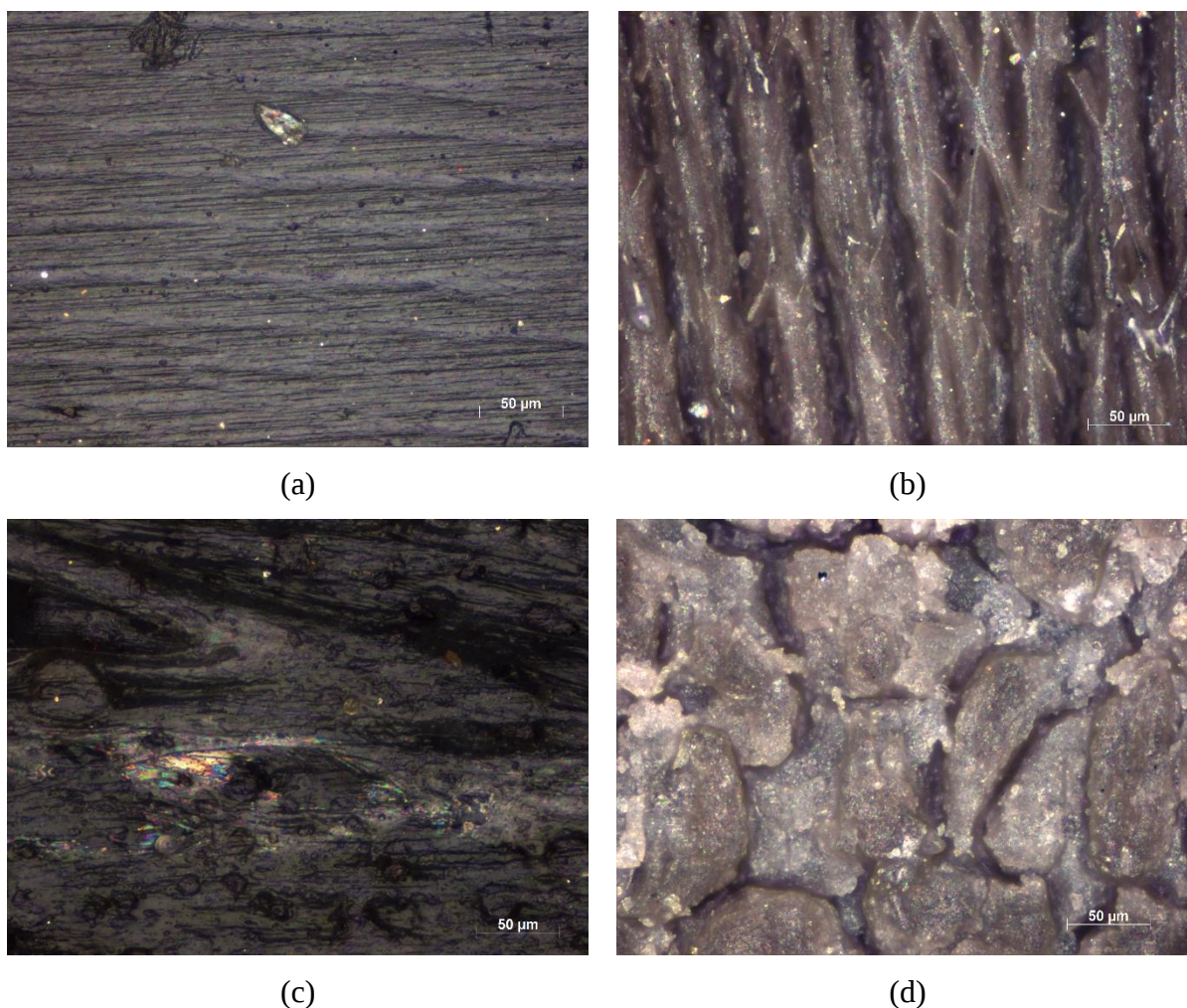
5.3.8.2 Microscopia Óptica

A análise foi realizada com o objetivo de observar a superfície exposta ao intemperismo acelerado das amostras PPR e PPR/3PPgMA/30BC e compará-las as amostras antes da exposição, todas ensaiadas por tração. As imagens obtidas estão apresentadas na Figura 44 com ampliação de 200x.

De acordo com as imagens obtidas, as amostras antes da exposição apresentaram pontos com brilho de maior intensidade, que são pequenos contaminantes proveniente do processo de reciclagem que não foram homogeneizados. Além disso, foi possível observar uma mudança significativa na superfície tanto da matriz quanto do compósito, após o período de exposição

aos ciclos de condensação e radiação UV. A amostra PPR/UV (Figura 44 (b)), apesar de ter sido fotografada no mesmo sentido de PPR, apresentou uma mudança no sentido da injeção do polímero. Segundo SCHOOLENBERG e VINK (1991), amostras moldadas por injeção podem formar fissuras no sentido perpendicular em relação ao sentido da injeção, causadas pelo tempo de exposição à degradação e pela deformação após serem fraturadas por tração.

Figura 44 – Superfície antes e após exposição ao intemperismo acelerado das amostras (a) PPR, (b) PPR/UV, (c) PPR/3PPgMA/30BC e (d) PPR/3PPgMA/30BC/UV.



Fonte: O Autor (2019).

O compósito PPR/3PPgMA/30BC (Figura 44 (d)) apresentou uma superfície, com formação de fissuras ao longo da estrutura polimérica, característica de amostras poliméricas degradadas que foram submetidas a uma certa tensão (CUI et al., 2013). Tal comportamento também foi identificado por SOCCALINGAME et al. (2015) em compósitos de polipropileno reforçados com 10 e 30% de madeira.

5.4 PROJETO DA COMPOSTEIRA DOMÉSTICA

5.4.1 Apresentação geral do problema projetual

Mediante o cenário de degradação ambiental, como aquecimento global, esgotamento dos recursos naturais, poluição atmosférica e marítima, soluções ambientalmente corretas estão sendo aplicadas em prol da preservação dos recursos naturais e manutenção do meio ambiente para as futuras gerações. Deste modo, a reciclagem e o reuso do que já existe no mundo são soluções que promovem o desenvolvimento sustentável das cidades, além de estar de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, é responsabilidade do governo e da indústria o manejo dos resíduos gerados, com políticas de coleta seletiva e reciclagem, mas o consumidor, como um importante influenciador do que a indústria produz, deve também ser responsável e compreender seu papel na proteção do meio ambiente em que vive, através de escolhas sustentáveis, adquirindo produtos que não impacte o meio ambiente durante seu ciclo de vida e repensando a geração do seu próprio resíduo.

5.4.2 Objetivos

Geral:

Desenvolver uma composteira para uso doméstico, que esteja de acordo com os princípios da sustentabilidade, cuja matéria prima será proveniente de um composto natural.

Específicos:

- Produto de pequeno porte;
- Peças intercambiáveis facilitando sua inserção em diferentes cenários domésticos;
- Design que facilite o processo de compostagem;
- Design que facilite a montagem e desmontagem;
- Usabilidade que atenda ao público-alvo;
- Facilidade na limpeza;
- Segurança para crianças;
- Esteticamente atrativa a diferentes nichos de consumidores;
- Baixo custo para atingir a maior parte da população;

- Valores sustentáveis;

5.4.3 Justificativa

A grande motivação deste projeto está na aplicação de um material proveniente de resíduo plástico e orgânico de cápsulas de café expresso em um produto que já nasceu com um valor sustentável agregado (processo de compostagem). Desta forma, este projeto não é apenas o desenvolvimento de mais um produto plástico, e sim um produto que possui matéria-prima e função sustentáveis. Além disso, este produto levará conscientização ambiental para dentro de casa, onde toda a família poderá mudar sua cultura e repensar seu consumo e sua geração de resíduos.

5.4.4 Público alvo

O principal público alvo deste projeto são pessoas que tem o hábito de fazer escolhas sustentáveis. Entretanto, este projeto também visa alcançar pessoas comuns que não conhecem o pensamento sustentável, de qualquer idade e classe social, e estimular sua conscientização e de toda família. As crianças menores de 12 anos podem participar do processo sustentável, estimulando uma nova cultura para novas gerações, com a supervisão de um adulto.

5.4.5 Levantamento de Dados

5.4.5.1 Análise de Similares

Esta análise foi realizada no item 2.5 Composteiras e o Processo de Compostagem Doméstica, dentro da Revisão Bibliográfica.

5.4.5.2 Análise do Uso

Para que este projeto seja adequado a diferentes tipos de pessoas, será levado em consideração os princípios da Ergonomia através de dados antropométricos do corpo humano. Segundo o Relatório trienal (2015-2018) da Associação Internacional de Ergonomia (IEA), a ergonomia relaciona as interações entre os seres humanos e elementos de um sistema, além de

aplicações de princípios, dados e métodos para projetar, otimizando o bem estar humano e o desempenho global de um sistema (INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 2018). Desta forma, aspectos ergonômicos devem ser incorporados na concepção de um produto de maneira a aprimorar as condições de trabalho do mesmo.

A antropometria, termo grego que significa medidas do homem, relaciona as medidas física do corpo humano com a influência de variáveis, como etnia, alimentação e saúde. A padronização das medidas antropométricas é um meio utilizado, entretanto, compreender a natureza das variações dessas medidas, para cada situação específica, influencia a qualidade do sistema. Desse modo, este projeto será baseado em dados da antropometria estática, medidas do corpo parado ou pouco movimento, e dinâmica, medidas do alcance dos movimentos, além de considerar as variações dos grupos presentes no público alvo (IIDA, 2005). Para isso, algumas medidas ergonômicas serão consideradas.

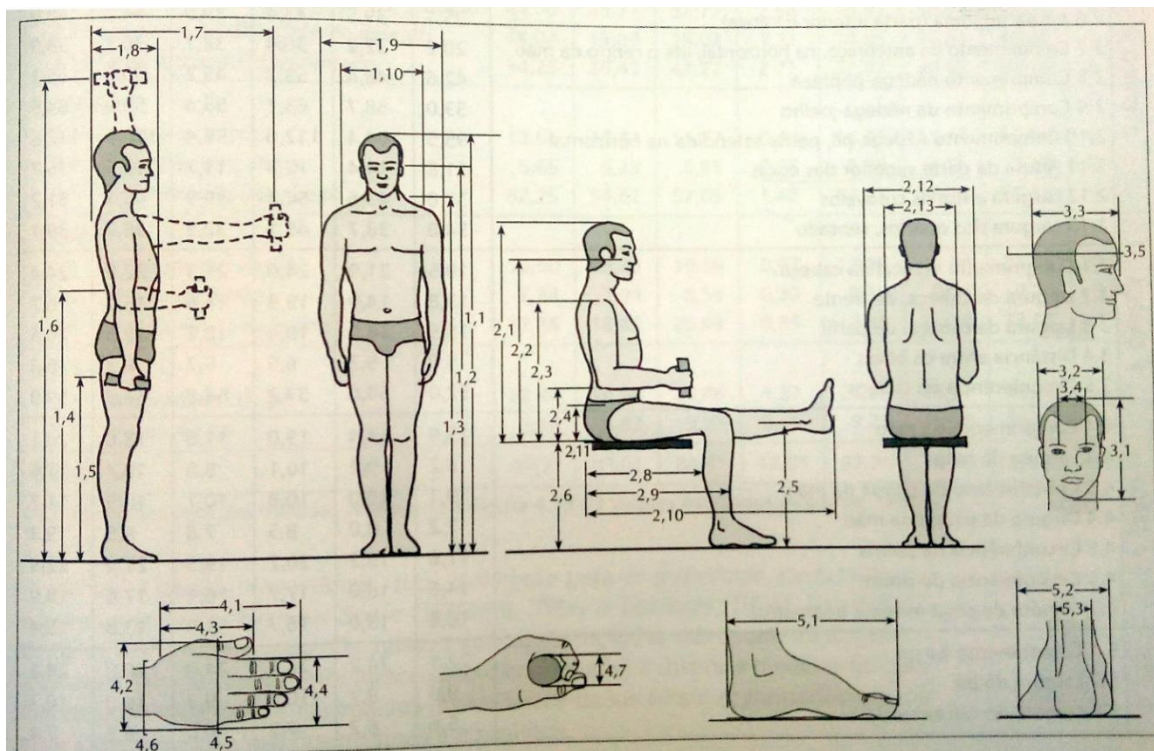
A Figura 45 apresenta uma tabela com algumas medidas estática de um grupo de trabalhadores brasileiros, homens e mulheres nos percentis 5, 50 e 95%, além da média e do desvio padrão. O termo percentil está relacionado com a porcentagem de indivíduos que possuem uma certa medida antropométrica, ou seja, o percentil 5%, por exemplo, são os menores indivíduos brasileiros. Além disso, conforme a Figura 46, foi possível observar as principais variáveis medidas pela antropometria estática, como estatura, comprimento do braço e perna estendidos, comprimento do tórax, medidas da cabeça, medidas da mão e dedos, tamanho do pé e outros (IIDA, 2005).

Figura 45 – Tabela de medidas de 500 trabalhadores brasileiros na região paulista.

Medidas antropométricas estática (cm)	Mulheres					Homens				
	5%	50%	95%	Média	D.P.	5%	50%	95%	Média	D.P.
1.1 Estatura	149	159	169	158,8	6,13	160	171,5	183,5	171,5	6,79
1.2 Altura dos olhos	138,5	147,5	157,5	147,6	5,98	149	159,5	172	160	6,61
1.3 Altura dos ombros	122	131	139,5	131	5,45	133	143	154,5	143,2	6,46
1.4 Altura dos cotovelos	92,5	99,5	107	99,5	4,29	100,5	109	118	109,1	5,31
1.5 Altura das mãos	56,5	61,5	67	61,8	3,31	59,5	66	73	66,1	4,31
1.9 Largura do tronco	34	38	44	38,9	3,27	36	43	49	42,8	4,70
1.10 Largura do quadril	33	39	45	39,1	4,03	29	36	42	35,5	3,63
2.6 Altura poplítea.	36,5	40,5	45,5	40,9	2,56	44	48,5	53	48,8	2,75
2.9 Compr. poplítea-nádegas	41,6	45,5	49	45,3	2,62	42,5	47	51	46,9	2,67
4.1 Tamanho da mão	15	16,5	17,5	16,6	1,06	16	18	20	18,2	1,17

Fonte: Iida (2005).

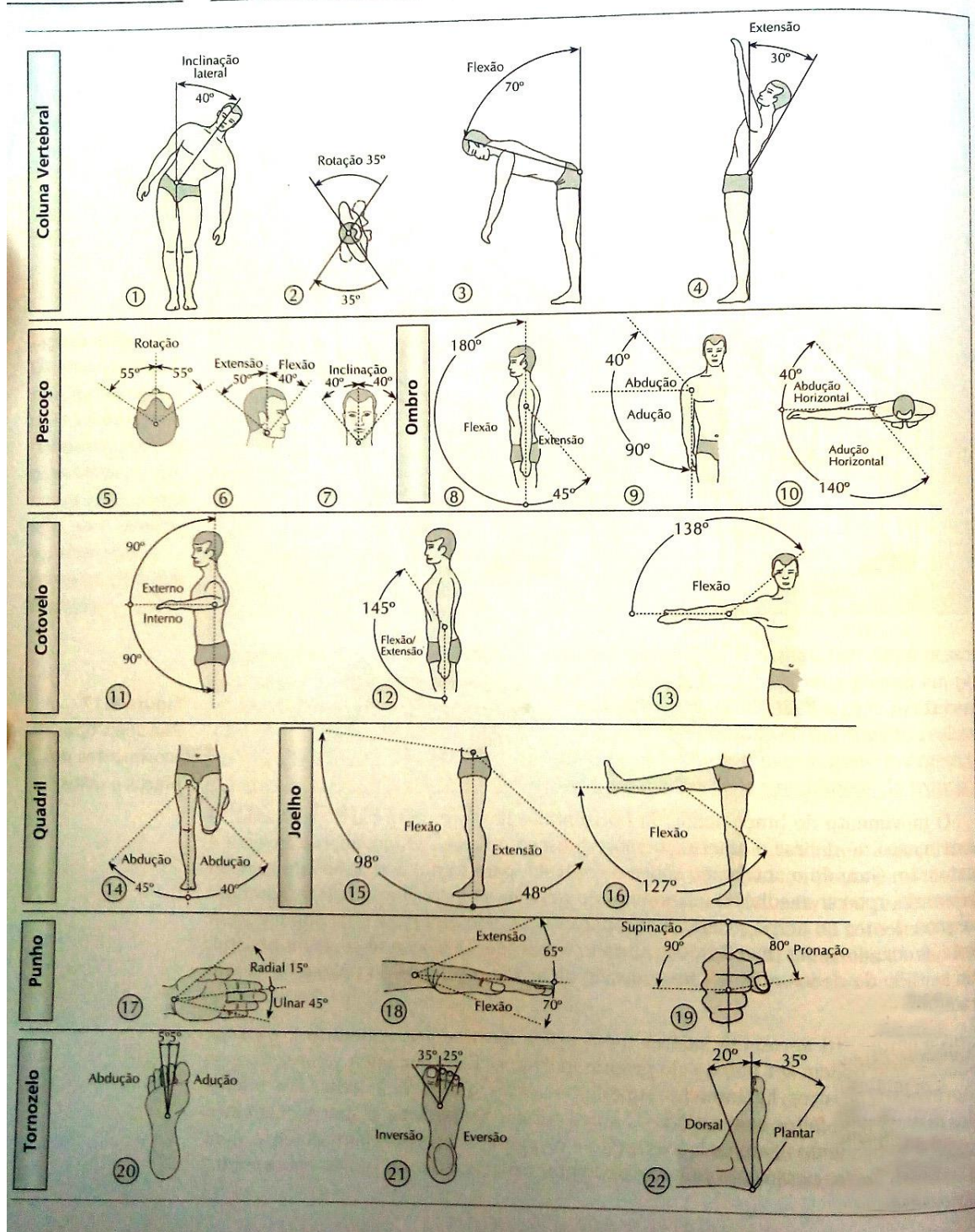
Figura 46 – Principais variáveis usadas para medir a antropometria estática.



Fonte: Iida (2005).

Além das medidas estáticas, é necessário compreender as possibilidades de movimentos do corpo humano para executar certo trabalho. A Figura 47 mostra as principais rotações do corpo humano levando em consideração o conforto e bem-estar humano durante uma atividade, como por exemplo, o corpo humano só deve inclinar 70°, com o joelho esticado, para levantar algum objeto do chão, ângulos maiores de inclinação requerem que o joelho seja flexionado, para não lesionar a coluna (IIDA, 2005).

Figura 47 – Rotações voluntárias do corpo dentro da antropometria dinâmica.



Fonte: Iida (2005).

5.4.5.3 Requisitos e Restrições

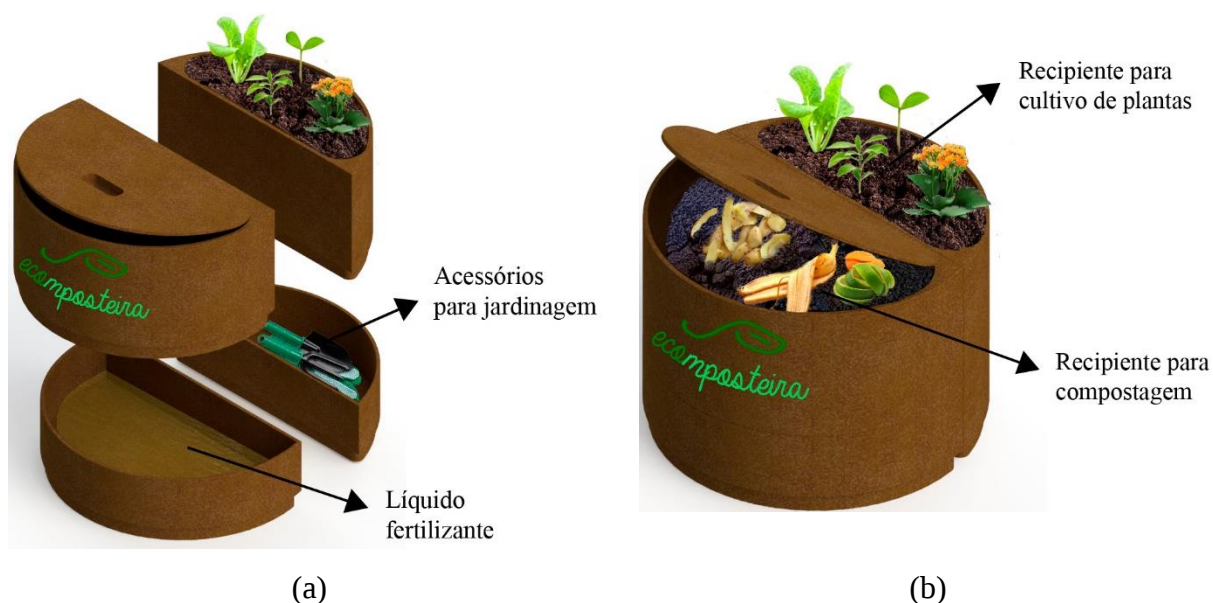
- O design da composteira deve levar em consideração a matéria-prima desenvolvida neste trabalho: compósito de PP reciclado reforçado com borra de café;

- As dimensões do produto devem ser definidas de maneira a contemplar o uso doméstico;
- A funcionalidade do produto deve estar de acordo com as necessidades do processo de compostagem e do consumidor;
- A facilidade na montagem e desmontagem deve ser considerada.

5.4.6 Conceituação

Após a fase de geração de alternativas, dois conceitos distintos foram desenvolvidos de maneira a englobar os objetivos do projeto, bem como os requisitos e restrições. O primeiro conceito da composteira doméstica está apresentado na Figura 48. Este conceito envolve um produto versátil com recipientes para o fertilizante líquido, cultivo de plantas e armazenamento de acessórios para jardinagem. Essa composteira poderá ficar apoiada em qualquer bancada da cozinha ou varanda, não só como um produto para compostagem, mas também de ornamentação, como um vaso de plantas. A ideia geral é que o usuário produza o adubo no recipiente da compostagem e transfira o material fertilizado para o cultivo de plantas no recipiente acoplado. Este recipiente acoplado, em meio círculo, pode ser retirado e apoiado sozinho em qualquer bancada com outras plantas, bem como o recipiente com os acessórios de jardinagem.

Figura 48 – Conceito 1 da composteira doméstica em 3D, onde (a) vista explodida em perspectiva e (b) vista em perspectivas com detalhes do uso.



Fonte: O Autor (2018).

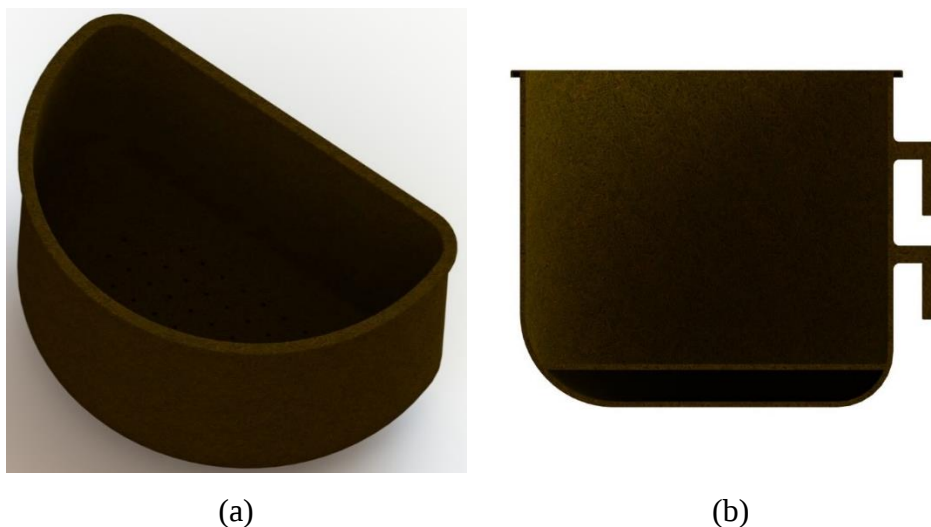
O conceito 2 está relacionado com a praticidade e versatilidade, com um produto composto por recipientes intercambiáveis para compostagem e para o cultivo de plantas, conforme Figura 49. A composição prevê a montagem suspensa, ou seja, deverá ser fixada na parede, podendo haver uma disposição com uma ou mais composições dispostas horizontalmente. Além disso, cada composição prevê o encaixe de três recipientes que podem ser escolhidos pelo consumidor, podendo ser dois recipientes para o cultivo de plantas e um recipiente para compostagem, ou dois recipientes para uma mesma função. A Figura 50 mostra como funcionaria o armazenamento do fertilizante líquido, onde um patamar com furação foi adicionado ao recipiente, para que, caso haja a produção desse líquido, o mesmo possa gotejar e ser armazenado na parte inferior do recipiente.

Figura 49 – Conceito 2 da composteira doméstica em 3D (a) vista explodida em perspectiva e (b) vista em perspectiva com detalhes de uso.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 50 – Detalhes do conceito 2 (a) detalhes furação e (b) vista em corte do armazenamento do fertilizante líquido.



Fonte: O Autor (2018).

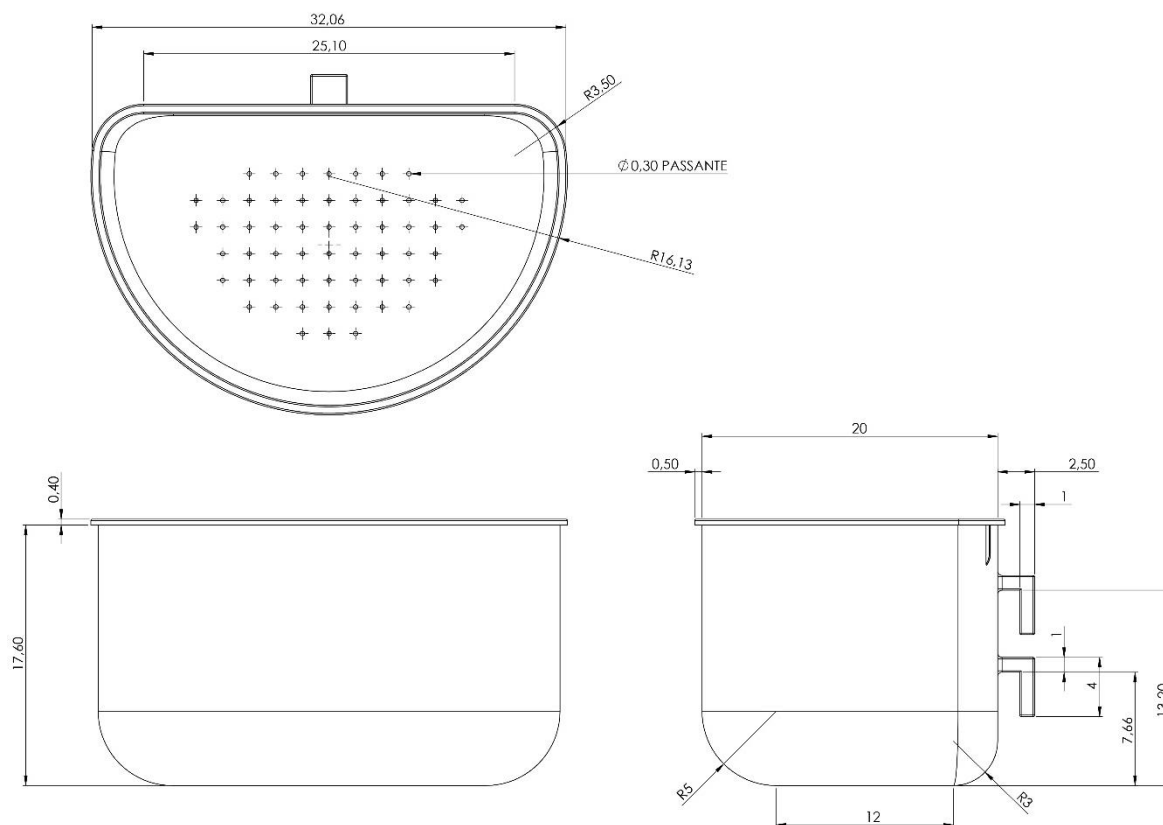
5.4.6.1 Detalhamento do conceito escolhido

Apesar das vantagens do conceito 1, como diferentes recipientes para armazenamento, o conceito 2 foi escolhido como sendo o mais adequado. O conceito 2 apresenta mais opções para reutilização do adubo gerado, além de proporcionar ao usuário um produto de decoração suspenso na parede. E ainda, este conceito suspenso não permite que as crianças tenham acesso, apenas quando um adulto retirar o recipiente de compostagem, que pode ser facilmente apoiado em qualquer base reta, como pia ou mesa. O desenvolvimento técnico do conceito escolhido será realizado em uma fase posterior, assim como os estudos ergonômicos, que serão realizados de maneira a garantir sua utilização com conforto, levando em consideração as dimensões do público alvo. Entretanto, na Figura 51 é possível observar os dimensionamentos básicos do conceito escolhido.

Em adição as análises realizadas no material desenvolvido, o conceito escolhido foi submetido a uma análise por elementos finitos para determinar os esforços que a composteira será submetida durante seu uso e comparar com a resistência do material desenvolvido. Desta forma, foi possível determinar as tensões equivalentes de von Mises e a deformação total do modelo, levando em consideração o recipiente desenvolvido no conceito 2. O dimensionamento exposto na Figura 51 foi mantido, entretanto, foi variado a espessura do modelo, em 1,5 mm, 2,5 mm e 3,0mm, de maneira a identificar a espessura adequada para que o material suporte os esforços do produto durante seu uso. As tensões equivalentes e a

deformação total, considerando os suportes fixados no modelo e o volume máximo com composto, com espessuras de 1,5 mm, 2,5 mm e 3,0 mm, estão dispostas nas Figuras 52, 53 e 54, respectivamente.

Figura 51 – Dimensionamento do conceito 2.



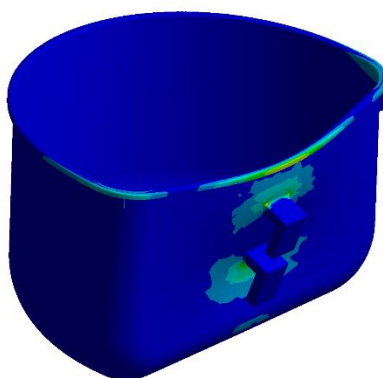
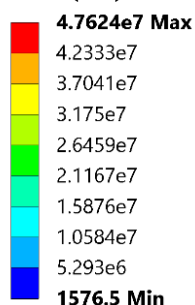
Fonte: O Autor (2020).

A Figura 52 (a) e (a') apresenta as tensões equivalentes de von Mises presentes no modelo com 1,5 mm de espessura. De acordo com a escala de cores das tensões, foi possível identificar que o modelo, quando suspenso, sofre as maiores tensões no suporte e na borda da parede posterior (que vai do laranja até o verde), entre 26,5 e 42,3 MPa. Em adição, a deformação total sofrida por este modelo está apresentada na Figura 52 (b) e (b'), onde foi possível observar as maiores deformações na parte frontal do modelo (que vai do vermelho até o amarelo), entre 8,9 e 6,9 cm. Além disso, foi possível observar na vista lateral (Figura 52 (b')) que o modelo tende a se deslocar para frente quando fixado no suporte, apesar da escala de cores indicar uma deformação de apenas 0,9 cm na parte posterior do modelo e nos suportes, levando em consideração o volume máximo do recipiente. Desta forma, é possível concluir que a espessura de 1,5 mm, apesar de ser encontrada nos recipientes encontrados no

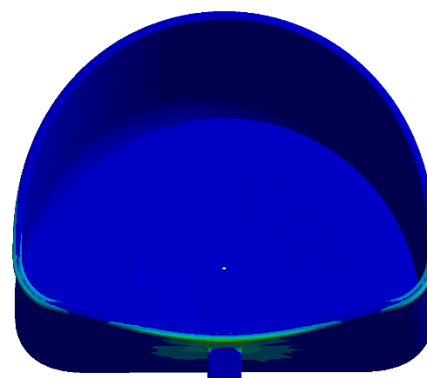
mercado atual, não é adequada para esta aplicação, levando em consideração o material desenvolvido.

Figura 52 – Análise por elementos finitos do modelo com 1,5 mm com escala das tensões equivalentes de *von Mises* em Pascal (Pa) e a deformação em metros (m), onde: (a) tensões no modelo em perspectiva, (a') tensões no modelo em vista superior, (b) deformações no modelo em perspectiva e (b') deformações no modelo na vista lateral, preso pelo suporte.

**Escala das tensões
equivalentes de *von*
Mises (Pa) – 1,5 mm**

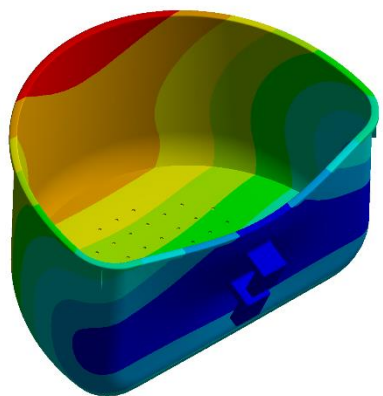
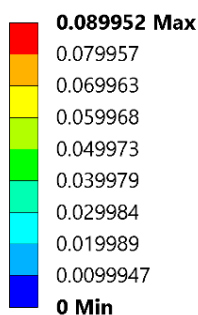


(a)

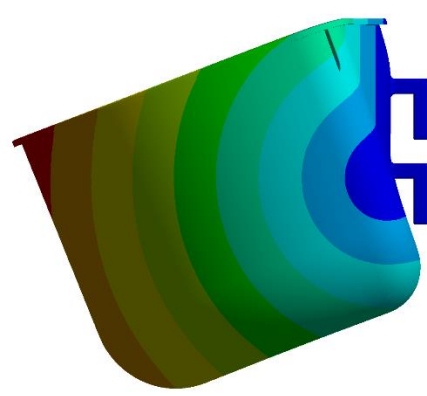


(a')

**Deformação total
(m) – 1,5 mm**



(b)



(b')

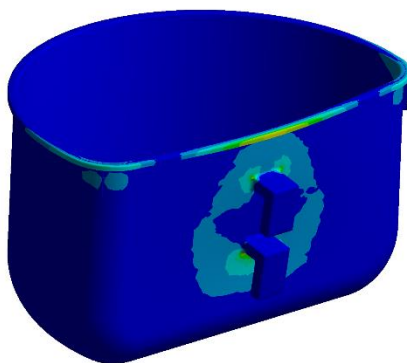
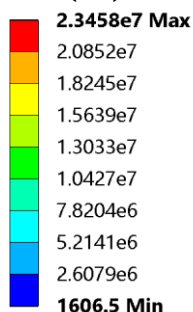
Fonte: O Autor (2019).

A Figura 53 apresenta as tensões equivalente e a deformação total para o modelo com espessura de 2,5 mm. De acordo com as Figura 53 (a) e (a'), foi possível observar que o aumento da espessura, apesar de manter a mesma região com as maiores tensões, causou uma diminuição no valor para cerca de 13,0 e 28,5 MPa (zona laranja à verde). O mesmo ocorreu para a deformação total (Figura 53 (b) e (b')), que deformou entre 2,3 e 3,4 cm, na mesma região destacada anteriormente. Esses resultados se aproximaram das propriedades do

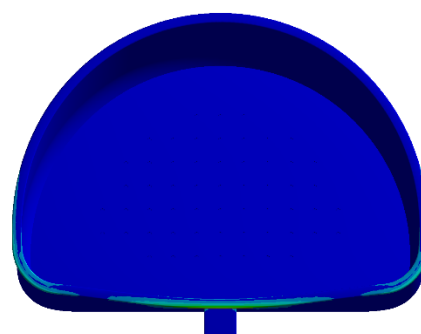
material desenvolvido, entretanto, o modelo ainda possui algumas regiões com tensões que ultrapassam a resistência à tração do material desenvolvido, vide item 5.2.1.

Figura 53 – Análise por elementos finitos do modelo com 2,5 mm com a escala das tensões equivalentes de *von Mises* em Pascal (Pa) e a deformação total em metros (m), onde: (a) tensões no modelo em perspectiva, (a') tensões no modelo em vista superior, (b) deformações no modelo em perspectiva e (b') deformações no modelo na vista lateral, preso pelo suporte.

**Escala das tensões
equivalentes de *von*
Mises (Pa) – 2,5 mm**

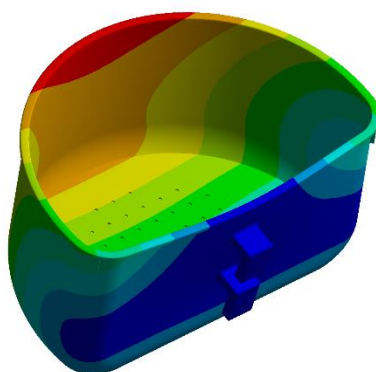
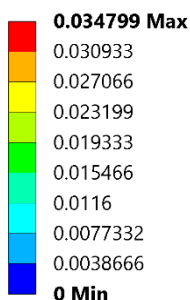


(a)

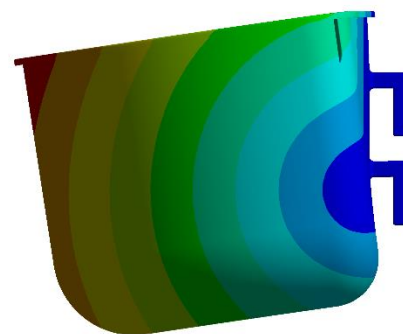


(a')

**Deformação total
(m) – 2,5 mm**



(b)



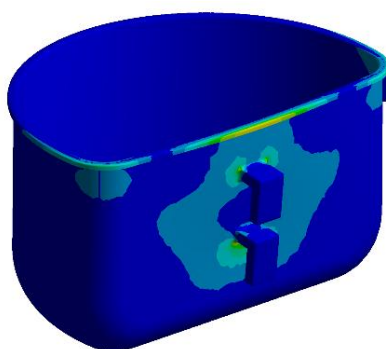
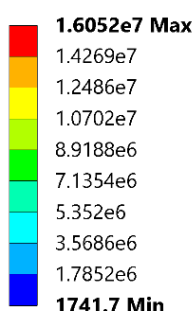
(b')

Fonte: O Autor (2019).

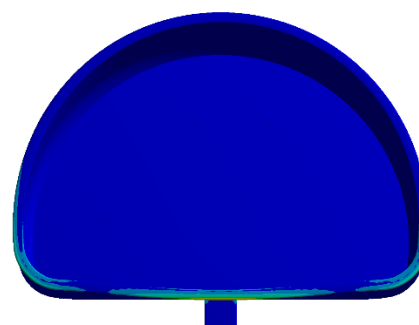
A Figura 54 apresenta as tensões equivalente e a deformação total para o modelo com espessura de 3,0 mm. De acordo com as Figuras 54 (a) e (a'), o aumento em 0,5 mm proporcionou uma diminuição no valor das maiores tensões para 10,7 e 14,3 MPa, presentes na mesma região mencionada anteriormente. A deformação total (Figura 54 (b) e (b')) também diminuiu para 1,5 e 2,3 cm, nas mesmas regiões.

Figura 54 – Análise por elementos finitos do modelo com 3,0 mm com a escala das tensões equivalentes de *von Mises* em Pascal (Pa) e a deformação total em metros (m), onde: (a) tensões no modelo em perspectiva, (a') tensões no modelo em vista superior, (b) deformações no modelo em perspectiva e (b') deformações no modelo na vista lateral, preso pelo suporte.

**Escala das tensões
equivalentes de *von*
Mises (Pa) – 3,0 mm**

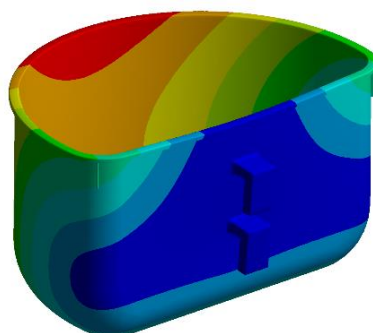
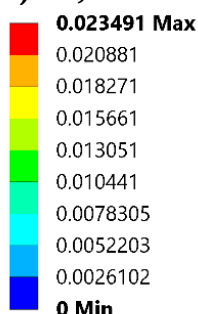


(a)

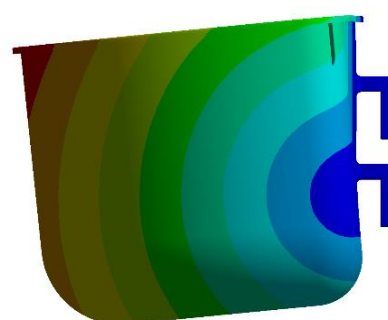


(a')

**Deformação total
(m) – 3,0 mm**



(b)



(b')

Fonte: O Autor (2019).

Desta forma, é possível concluir que o modelo com 3,0 mm de espessura é o mais adequado para a aplicação no material desenvolvido neste trabalho, tanto os compósitos com 20 quanto os de 30% de reforço, com e sem agente compatibilizante (PPR/20BC, PPR/30BC, PPR/2PPgMA/20BC e PPR/3PPgMA/30BC), conforme resultado de resistência à tração no item 5.2.1. Com relação a deformação total do modelo, a região com a maior deformação, parte frontal, possui baixos valores de tensões equivalentes (cerca de 1,8 MPa). Logo, levando em consideração o gráfico tensão x deformação do material (item 5.2.1), esta deformação ainda estaria dentro da deformação elástica do material, ou seja, é uma deformação que não

atingiu a região plástica do material e, portanto, o material pode voltar ao seu formato original.

Apesar dos resultados apontarem para a possibilidade de usar quaisquer dos compósitos desenvolvidos, os compósitos sem agente compatibilizantes são as melhores opções para ser aplicados na composteira, pois além de ter as propriedades mecânicas adequadas ao uso, possuem menos um material sintético como matéria-prima (agente compatibilizante), levando em consideração os objetivos sustentáveis deste trabalho. E ainda, objetivando a diminuição da maior quantidade possível de materiais sintéticos, a utilização do compósito PPR/30BC como matéria-prima da composteira doméstica será o mais adequado.

6 CONCLUSÕES

A reciclagem mecânica das cápsulas de café expresso foi realizada e não alterou as propriedades térmicas e mecânicas do polipropileno.

Os compósitos com polipropileno reciclado reforçado com 20 e 30% de borra de café, com e sem agente compatibilizante mostraram uma perda de estabilidade térmica e comportamento intermediário em relação à matriz, sem prejudicar o processamento e aplicação em um novo produto. Os ensaios mecânicos mostraram que a adição do reforço natural causou uma queda na resistência à tração, na deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ e na deformação total, sem perda de módulo e tenacidade. Entretanto, a adição do agente compatibilizante aumentou a resistência à tração dos compósitos, porém fragilizou significativamente o material, diminuindo a deformação e a tenacidade do material.

A partir dos resultados das exposições à biodegradação e ao intemperismo acelerado, foi possível concluir que o compósito de polipropileno reciclado com borra de café não vai ser afetado pela exposição ao composto orgânico da composteira, entretanto, a mesma não poderá ficar exposta diretamente aos raios solares, pois poderá sofrer fragilização com mudança de coloração na superfície do material.

Em relação à resistência do material quando aplicado à composteira doméstica, a análise por elementos finitos mostrou que a espessura do modelo da composteira está diretamente relacionado as tensões e a deformação que a composteira vai sofrer durante seu uso. Desta forma, o modelo com 3 mm de espessura foi o mais viável para aplicação do material desenvolvido. Desta forma, mesmo o compósito PPR/30BC com menor valor de resistência à tração (16 MPa) estará apto a ser aplicado na composteira.

Portanto, o objetivo de obtenção de um material compósito proveniente de resíduos plásticos e orgânicos para aplicação em um produto sustentável, denominado composteira doméstica, foi atingido. Além disso, o material desenvolvido foi caracterizado de maneira a comprovar sua possibilidade de aplicação no produto desenvolvido, através de análises mecânicas, térmicas, exposição às condições do meio, como ao processo de compostagem e à radiação UV, e análise por elementos finitos.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Expor as demais condições de compósitos (PPR/30BC, PPR/1PPgMA/30BC, PPR/20BC, PPR/2PPgMA/20BC) à biodegradação e ao intemperismo acelerado, afim de obter dados para confirmação dos resultados e para futuras publicações.
- Realizar o desenvolvimento técnico da composteira e produção de um protótipo para testes.

6.2 TRABALHOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS

BOMFIM, A. S. C.; MACIEL, M. M. A. D.; VOORWALD, H. J. C.; *et al.* Effect of different degradation types on properties of plastic waste obtained from espresso coffee capsules. **Waste Management**, v. 83, p. 123-130, 2019.

6.3 TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSO

BOMFIM, A. S. C.; VOORWALD, H. J. C.; BENINI, K. C. C. C.; CIOFFI, M. O. H.; OLIVEIRA, D. M. Mechanical properties of coffee grounds reinforcing recycled polypropylene biocomposite. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURAL FIBERS*, 4., 2019, Porto. **Proceedings** [...] Guimarães: TECMINHO – Associação Universidade-Empresa para o desenvolvimento, 2019.

OLIVEIRA, D. M.; BENINI, K. C. C. C.; BOMFIM, ANNE S.C.; CIOFFI, M. O. H.; VOORWALD, H. J. C. Dynamic mechanical and morphological analysis of untreated and atmospheric plasma treated coconut fiber reinforced polyester biocomposites. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURAL FIBERS*, 4., 2019, Porto. **Proceedings** [...] Guimarães: TECMINHO – Associação Universidade-Empresa para o desenvolvimento, 2019.

BOMFIM, A. S. C.; VOORWALD, H. J. C.; BENINI, K. C. C. C. Reaproveitamento de cápsulas de café expresso para obtenção de biocompósito: análise de propriedades térmicas e mecânicas. *In: WORKSHOP DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO*, 3., 2019, Guaratinguetá. **Anais** [...] Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá / UNESP, 2019. v. 1.

BOMFIM, ANNE S.C.; VOORWALD, HERMAN J.C.; CIOFFI, MARIA O. H.; BENINI, KELLY C. C. Thermal properties study of recycled espresso coffee capsules for biocomposite application. *In: BRAZILIAN CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS*, 4., 2018, Rio de Janeiro. **Proceedings** [...] Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio, 2018.

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. **Perfil 2016**. São Paulo: Abiplast, 2016. Disponível em: http://file.abiplast.org.br/file/download/2017/Perfil_2016_Abiplast_web.pdf. Acesso em: 09 ago. 2018.
- ABIPLAST. **Perfil 2017**. São Paulo: Abiplast, 2017. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/file/download/2018/Perfil-2017.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2019.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, 2016. Disponível em: www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf. Acesso em: 24 set. 2018.
- AHMAD, S. *et al.* Sustainable product design and development: a review of tools, applications and research prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 132, n. jan. p. 49–61, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.020>. Acesso em: 19 ago. 2018.
- AMINTOWLIEH, Y. *et al.* Effects of processing variables on polypropylene degradation and long chain branching with UV irradiation. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 104, n. 1, p. 1–10, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2014.03.016>. Acesso em: 26 set. 2017.
- AMORIN, V. F. *et al.* Vermicompostagem doméstica como alternativa na decomposição de resíduos orgânicos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 10., 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABES-RS, 2016. Disponível em: http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160929194143000000987.pdf. Acesso em: 03 out. 2017.
- AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, A. M. G.; LOUREIRO, D. C. Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos. **Circular Técnica (Embrapa)**, Seropédica, v. 12, p. 1–4, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrobiologia/busca-de-publicacoes/-/publicacao/596884/integrando-compostagem-e-vermicompostagem-na-reciclagem-de-residuos-organicos-domesticos>. Acesso em: 04 set. 2017.
- ARAÚJO, J. F. **Estudo de propriedades mecânicas do polipropileno moldado por injeção em insertos de resinas**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010. Disponível em <http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2010/ARAJOJorgeFranciscocode.pdf>. Acesso em: 24 set. 2018.
- ARAUJO, M. J. F.; MULINARI, D. R. Estudo da biodegradabilidade de compósitos poliméricos reforçados fibras naturais na concepção de composteiras. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Espanha, v. 16, n. 5, p. 213–220, 2015. Disponível em: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/SEPT15/araujo.pdf>. Acesso em: 03 out. 2018.
- ATABANI, A. E. *et al.* Valorization of spent coffee grounds recycling as a potential alternative fuel resource in Turkey: An experimental study. **Journal of the Air & Waste**

Management Association, Pittsburgh, v. 68, n. 3, p. 196–214, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2017.1367738>. Acesso em: 09 maio 2018.

AUTA, H. S. *et al.* Growth kinetics and biodeterioration of polypropylene microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. isolated from mangrove sediment. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 127, p. 15–21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.036>. Acesso em: 14 fev. 2018.

BADJI, C. *et al.* Correlation between artificial and natural weathering of hemp fibers reinforced polypropylene biocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 148, nov. 2017, p. 117–131, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.01.002>. Acesso em: 16 jul. 2018.

BAEK, B. S. *et al.* Development and application of green composites: Using coffee ground and bamboo flour. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 21, n. 3, p. 702–709, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-013-0581-3>. Acesso em: 13 set. 2018.

BALLESTEROS, L. F. *et al.* Characterization of polysaccharides extracted from spent coffee grounds by alkali pretreatment. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 127, p. 347–354, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.047>. Acesso em: 20 nov. 2018.

BALLESTEROS, L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Chemical , functional and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p. 3493–3503, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-014-1349-z>. Acesso em: 04 set. 2018.

BENINI, K. C. C.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H. Mechanical properties of HIPS/sugarcane bagasse fiber composites after accelerated weathering. **Procedia Engineering**, v. 10, p. 3246–3251, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.536>. Acesso em: 27 jan. 2018.

BENINI, K. C. C. DE C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca de coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99334/benini_kccc_me_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 nov. 2018.

BENINI, K. C. C. DE C.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H. Manufacturing and characterization of high impact polystyrene (HIPS) reinforced with treated sugarcane bagasse. **Journal of Research Updates in Polymer Science**, v. 6, p. 2–11, 2017.

BERTIN, D. *et al.* Polypropylene degradation: Theoretical and experimental investigations. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 95, n. 5, p. 782–791, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.02.006>. Acesso em: 25 set. 2017.

BOMFIM, A. S. C. *et al.* Effect of different degradation types on properties of plastic waste obtained from espresso coffee capsules. **Waste Management**, Elmsford, v. 83, p. 123–130,

2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.006>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BOOMERA. **Do início ao início**. Disponível em: <http://boomera.com.br/>. Acesso em: 6 ago. 2018.

BORIA, S.; SCATTINA, A.; BELINGARDI, G. Impact behavior of a fully thermoplastic composite. **Composite Structures**, Oxford, v. 167, p. 63–75, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.083>. Acesso em: 22 ago. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Lex: Diário Oficial**, Brasília, Distrito Federal, v. 1, p. 3, 2010.

BUTNARU, E. *et al.* Gamma irradiation assisted fungal degradation of the polypropylene/biomass composites. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 125, p. 134–144, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.04.003>. Acesso em: 26 set. 2017.

CABEDO, L. *et al.* Development of EVOH-kaolinite nanocomposites. **Polymer**, v. 45, n. 15, p. 5233–5238, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2004.05.018>. Acesso em: 23 jul. 2019.

CÁCERES, C. A.; CANEVAROLO, S. V. Degradação do polipropileno durante a extrusão e a geração de compostos orgânicos voláteis. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 19, p. 79–84, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v19n1/17.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2018.

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 5th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CÂMARA, V. B. *et al.* Cápsula de café: uma análise com base em teoria da inovação buscando agregar valor à balança comercial brasileira. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 2, p. 137–153, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v10i2.17925>. Acesso em: 15 maio 2018.

CAMOLEZE, N. Diversidade no mercado de cápsulas. **Revista Espresso**. Disponível em: <http://revistaespresso.com.br/2018/06/20/diversidade-no-mercado-de-capsulas/>. Acesso em: 06 ago 2018.

CAMPOS-VEGA, R. *et al.* Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 24–36, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>. Acesso em: 25 set. 2018.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2002.

CATALDO, V. A. *et al.* Coffee grounds as filler for pectin: Green composites with competitive performances dependent on the UV irradiation. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 170, p. 198–205, 2017. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.092>. Acesso em: 31 ago. 2018.

CESCHIN, F.; GAZIULUSOY, I. Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. **Design Studies**, Oxford, v. 47, p. 118–163, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002>. Acesso em: 18 jan. 2018.

CHAMMINGKWAN, P. *et al.* Influence of isotacticity and its distribution on degradation behavior of polypropylene. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 143, p. 253–258, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.024>. Acesso em: 26 set. 2017.

CHAND, N.; FAHIM, M. **Tribology of natural fiber polymer composites**. Cambridge, England: Woodhead Publishing, 2008.

CHANG, A. S.; TSAI, C. Y. Sustainable design indicators: Roadway project as an example. **Ecological Indicators**, v. 53, p. 137–143, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.036>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CHUENSANGJUN, C.; PECHYEN, C.; SIRISANSANEEYAKUL, S. Degradation behaviors of different blends of polylactic acid buried in soil. **Energy Procedia**, v. 34, p. 73–82, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.735>. Acesso em: 26 set. 2017.

COLÓN, J.; *et al.* Environmental assessment of home composting. **Resources, Conservation & Recycling**, Amsterdam, v. 54, p. 893–904, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.008>. Acesso em: 03 out. 2017.

COMPOSTAÍ. **Compostagem Doméstica**. Disponível em: <https://www.facebook.com/compostai/>. Acesso em: 23 jan. 2018.

COMPOSTINGHOME. **Kitchen Composter**. Disponível em: <https://www.compostinghome.com.au>. Acesso em: 23 jan. 2018.

CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira de café**. Brasília:Conab, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 01 nov. 2018.

CONKE, L. S. Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 134, n. March, p. 129–135, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.007>. Acesso em: 07 ago. 2018.

COOPERBAND, L. R. Composting: Art and science of organic waste conversion. **Laboratory Medicine**, v. 31, n. 5, p. 283–290, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1309/W286-LQF1-R2M2-1WNT>. Acesso em: 24 set. 2018.

CORREA, C. A.; RAZZINO, C. A.; HAGE, E. Role of maleated coupling agents on the interface adhesion of polypropylene-wood composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 20, n. 3, p. 323–339, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0892705707078896>. Acesso em: 24 ago. 2018.

CUCUZZELLA, C. Creativity, sustainable design and risk management. **Journal of Cleaner**

Production, Amsterdam, v. 135, p. 1548–1558, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.076>. Acesso em: 04 set. 2017.

CUI, H.; HANUS, R.; KESSLER, M. R. Degradation of ROMP-based bio-renewable polymers by UV radiation. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 98, n. 11, p. 2357–2365, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.08.003>. Acesso em: 26 set. 2017.

DAHLBO, H. *et al.* Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. **Waste Management**, Elmsford, v. 71, p. 52–61, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>. Acesso em: 15 maio 2018.

DAS, K.; ADHIKARY, K.; RAY, D.; BANDYOPADHYAY, N. R. Development of recycle polypropylene matrix composites reinforced with waste jute caddies. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, WestPort, v. 29, n. 2, p. 201–208, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0731684408096929>. Acesso em: 30 ago. 2018.

DE LA ORDEN, M. U. *et al.* Effect of different coupling agents on the browning of cellulose-polypropylene composites during melt processing. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 95, n. 2, p. 201–206, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.024>. Acesso em: 27 ago. 2018.

DEPAOLI, M. A. Degradação e Estabilização de Polímeros. **Chemkeys**, v. 2, p. 221, 2008. Disponível em: <http://chemkeys.com/pdf/degradacao-e-estabilizacao-de-polimeros.pdf>. Acesso em: 25 set. 2017.

DICIO. Dicionário online de português. Disponível em: <https://www.dicio.com.br>. Acesso em: 01 set. 2017.

ECOISAS. **Composteiras**. Disponível em: <https://ecoisas.com.br/utilidades/composteira-jardim-250-l-tramontina.html>. Acesso em: 23 jan. 2018.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, Barking, v. 46, n. 2, p. 488–495, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>. Acesso em: 31 out. 2018.

ESSABIR, H. *et al.* Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds. **Composites Part B**, v. 149, p. 1–11, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.05.020>. Acesso em: 17 jul. 2018.

ESTADÃO. **A patente caiu. E agora para onde vai o café?** Disponível em: <https://www.estadao.com.br/noticias/geral,a-patente-caiu-e-agora-para-onde-vai-o-caffe-imp-994088>. Acesso em: 06 ago. 2018.

ABIC. **Tendências do Mercado de Café**. Rio de Janeiro: Euromonitor, 2017. Disponível em: http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/consumo/tendencias_do_mercado_cafe_2017.pdf. Acesso em: 17 maio 2018.

FARUK, O. *et al.* Biocomposites reinforced with natural fibers : 2000 – 2010. **Progress in**

Polymer Science, Elmsford, v. 37, n. 11, p. 1552–1596, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>. Acesso em: 28 ago. 2017.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Start-up recicla resíduos indesejados, das cápsulas de café às fraldas**. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2017/10/1924747-start-up-recicla-residuos-indesejados-das-capsulas-de-cafe-as-fraldas.shtml>. Acesso em: 16 maio 2018.

FRANCO-MARQUÈS, E. *et al.* Influence of coupling agents in the preparation of polypropylene composites reinforced with recycled fibers. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 166, n. 3, p. 1170–1178, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.031>. Acesso em: 27 ago. 2018.

GAGNON, B.; LELUC, R.; SAVARD, L. From a conventional to a sustainable engineering design process : Different shades of sustainability. **Journal of Engineering Design**, v. 23, n. 1, p. 49–74, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/09544828.2010.516246>. Acesso em: 17 ago. 2018.

GARCÍA-GARCÍA, D. *et al.* Green composites based on polypropylene matrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder. **Composites Part B: Engineering**, v. 78, p. 256–265, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.080>. Acesso em: 16 jul. 2018.

GAVARA, R. *et al.* Use of EVOH for Food Packaging Applications. **Reference Module in Food Science**, p. 1–6, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21125-6>. Acesso em: 18 jul. 2019.

GOLEBIEWSKI, J.; GALESKI, A. Thermal stability of nanoclay polypropylene composites by simultaneous DSC and TGA. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 67, n. 15–16, p. 3442–3447, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21125-6>. Acesso em: 18 jul. 2019.

GUNGE, A. *et al.* Study on mechanical properties of alkali treated plain woven banana fabric reinforced biodegradable composites. **Composites Communications**, v. 13, n. December 2018, p. 47–51, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.02.006>. Acesso em: 27 jul. 2019.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. **Composites Part A**, Kidlington, v. 77, p. 1–25, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>. Acesso em: 28 ago. 2017.

HAMAD, K.; KASEEM, M.; DERI, F. Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 98, n. 12, p. 2801–2812, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.025>. Acesso em: 18 set. 2017.

HE, B.; GU, Z. Sustainable design synthesis for product environmental footprints. **Design Studies**, Oxford, v. 45, p. 159–186, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2016.04.001>. Acesso em: 04 set. 2017.

HOMKHIEW, C.; RATANAWILAI, T.; THONGRUANG, W. Effects of natural weathering on the properties of recycled polypropylene composites reinforced with rubberwood flour. **Industrial Crops & Products**, v. 56, p. 52–59, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.034>. Acesso em: 30 ago. 2018.

HUNG, K. *et al.* Assessing the effect of wood acetylation on mechanical properties and extended creep behavior of wood / recycled-polypropylene composites. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 108, p. 139–145, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.039>. Acesso em: 30 ago. 2018.

IBRAHIM, I. D. *et al.* Dependency of the mechanical properties of sisal fiber reinforced recycled polypropylene composites on fiber surface treatment, fiber content and nanoclay. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 25, n. 2, p. 427–434, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-016-0823-2>. Acesso em: 15 maio 2018.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2nd ed. São Paulo: Blucher, 2005.

ILERSIS. **Vaso e composteira em um só produto**. Disponível em: <http://ilersis.org/empresa-jardinieria-medio-ambiente/maceta-y-compostador-todo-en-uno/>. Acesso em: 23 jan. 2018.

INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. **IEA triennial report 2015-2018**. 2018. Disponível em: <https://www.iea.cc/upload/Triennial%20Report%202015-18.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 14062: gestão ambiental: integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto**. Suíça: ISO, 2004.

JIANG, W.; QIAO, X.; SUN, K. Mechanical and thermal properties of thermoplastic acetylated starch/poly(ethylene-co-vinyl alcohol) blends. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 65, n. 2, p. 139–143, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.038>. Acesso em: 23 jul. 2019.

JMAL, H. *et al.* Influence of the grade on the variability of the mechanical properties of polypropylene waste. **Waste Management**, Elmsford, v. 75, p. 160–173, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.006>. Acesso em: 18 dez. 2018.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 71, n. 3, p. 343–364, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>. Acesso em: 05 set. 2017.

KARINA, M. *et al.* Physical and mechanical properties of recycled polypropylene composites reinforced with rice straw lignin. **BioResources**, v. 12, p. 5801–5811, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.5801-5811>. Acesso em: 30 ago. 2018.

KEENER, T. J.; STUART, R. K.; BROWN, T. K. Maleated coupling agents for natural fibre composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 35, n. 3, p. 357–362, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.014>. Acesso em: 27 ago. 2018.

KISSEL, W. J.; HAN, J. H.; MEYER, J. A. Polypropylene: Structure, properties, manufacturing processes and applications. In: KARIAN, H. G. **Handbook of polypropylene and polypropylene composites**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2003. v. 41, cap. 2, p.123–135.

KUMAR, R.; SINGH, T.; SINGH, H. Solid waste-based hybrid natural fiber polymeric composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Westport, v. 34, n. 23, p. 1979–1985, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0731684415599596>. Acesso em: 23 ago. 2018.

KUMAR, S. M. *et al.* Mechanical and thermal properties of spent coffee bean filler/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) biocomposites: Effect of recycling. **Process Safety and Environmental Protection**, Rugby, v. 124, p. 187–195, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.008>. Acesso em: 23 jul. 2019.

LAADILA, M. A. *et al.* Green synthesis of novel biocomposites from treated cellulosic fibers and recycled bio-plastic polylactic acid. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 164, p. 575–586, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.235>. Acesso em: 27 mar. 2018.

LEE, H. K. *et al.* Green nanocomposites filled with spent coffee grounds. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 132, n. 23, p. 2–7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.42043>. Acesso em: 13 set. 2018.

LEMOS, A. L. *et al.* Biocomposites reinforced with natural fibers : thermal, morphological and mechanical characterization. **Revista Matéria**, p. 8–10, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0173>. Acesso em: 28 ago. 2017.

LI, R. *et al.* Recent progress on biodegradable materials and transient electronics. **Bioactive Materials**, v. 3, n. 3, p. 322–333, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2017.12.001>. Acesso em: 04 out. 2018.

LIAO, T.-Y. Reverse logistics network design for product recovery and remanufacturing. **Applied Mathematical Modelling**, New York, v. 60, p. 145–163, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.03.003> Acesso em: 07 ago. 2018.

LILA, M. K. *et al.* A recyclability study of bagasse fiber reinforced polypropylene composites. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 152, p. 272–279, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.05.001>. Acesso em: 16 jul. 2018.

LIMA, L. S. DE. **A influência das variáveis de processamento e de diferentes tipos de nanocargas nas propriedades dos compósitos de polipropileno**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/980/Dissertacao%20Leandro%20Soares%20de%20Lima.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jul. 2019.

LLEÓ, T. *et al.* Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 47, p. 70–76, 2013. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.011>. Acesso em: 18 set. 2017.

LONGO, C. *et al.* Degradation study of polypropylene (PP) and bioriented polypropylene (BOPP) in the environment. **Materials Research**, São Carlos, v. 14, n. 4, p. 442–448, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392011000400003&lng=en&tlng=en. Acesso em: 22 jun. 2018.

LORANDI, N. P.; CIOFFI, M. O. H.; JR., H. O. Análise dinâmico-mecânica de materiais compósitos poliméricos. **Scientia Cum Industria**, v. 4, n. 13, p. 48–60, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p48>. Acesso em: 24 jul 2019.

LUZ, S. M.; GONÇALVES, A. R.; DEL'ARCO, A. P. Mechanical behavior and microstructural analysis of sugarcane bagasse fibers reinforced polypropylene composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 38, n. 6, p. 1455–1461, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.01.014>. Acesso em: 30 ago. 2018.

MARTINS, M. H.; PAOLI, M. DE. Polypropylene compounding with recycled material I . Statistical response surface analysis. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 71, p. 6–11, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(00\)00178-6](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(00)00178-6). Acesso em: 25 set. 2017.

MCLELLAN, B. C. *et al.* Incorporating sustainable development in the design of mineral processing operations – Review and analysis of current approaches. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 17, n. 16, p. 1414–1425, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.06.003>. Acesso em: 16 jan. 2018.

MEI, L. H. *et al.* Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café. **Polímeros**, São Carlos, v. 27, p. 99–109, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282017000700099&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 28 nov. 2018.

METZGER, J. O.; EISSEN, M. Concepts on the contribution of chemistry to a sustainable development. Renewable raw materials. **Comptes Rendus Chimie**, Paris, v. 7, n. 6–7, p. 569–581, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crci.2003.12.003>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MOHAMMADI, H.; MIRMEHDI, S.; HUGEN, L. N. Rice straw/thermoplastic composite: Effect of filler loading, polymer type and moisture absorption on the performance. **Cerne**, Lavras, v. 22, p. 449–456, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622042192>. Acesso em: 28 ago. 2017.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. **Natural fibers, biopolymers and biocomposites**. New York: CRC Press, 2005.

MORADA DA FLORESTA. **Compostagem**. Disponível em: <https://loja.moradadafloresta.eco.br>. Acesso em: 23 jan. 2018.

MOUSTAFA, H.; GUIZANI, C.; DUFRESNE, A. Sustainable biodegradable coffee grounds filler and its effect on the hydrophobicity, mechanical and thermal properties of biodegradable

PBAT composites. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 134, n. 8, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/app.44498>. Acesso em: 09 maio 2018.

MOUSTAFA, H. *et al.* Utilization of torrefied coffee grounds as reinforcing agent to produce high-quality biodegradable PBAT composites for food packaging applications. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 5, p. 1906–1916, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b02633>. Acesso em: 26 fev. 2019.

MULINARI, D. R.; GUEDES, J. R.; SIMBA, B. G. Low density polyethylene composites reinforced with Australian King palm fibers: mechanical and thermal properties. **Polymer Bulletin**, Berlim, v. 74, n. 11, p. 4549–4559, 2017. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00289-017-1963-9>. Acesso em: 04 abr. 2018.

MUSCOLO, A. *et al.* Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and / or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 195, p. 93–101, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.204>. Acesso em: 24 set. 2018.

MUSSATTO, S. I. *et al.* A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 2, p. 368–374, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.063>. Acesso em: 04 set. 2018.

NACHTIGALL, S. M. B.; CERVEIRA, G. S.; ROSA, S. M. L. New polymeric-coupling agent for polypropylene/wood-flour composites. **Polymer Testing**, Essex, v. 26, n. 5, p. 619–628, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.03.007>. Acesso em: 27 ago. 2018.

NESCAFÉ DOLCE GUSTO. **Recicle suas cápsulas**. Disponível em: <https://www.nescafe-dolcegusto.com.br/mundo-ndg#sustentabilidade>. Acesso em: 30 ago. 2017.

NESCAFÉ DOLCE GUSTO. **Fim de vida útil, o que acontece no final**. Disponível em: <https://www.dolce-gusto.pt/ciclo-de-vida-fim-de-vida>. Acesso em: 05 set. 2017.

NESPRESSO. **A interminável inovação em reciclagem de cápsulas para o fim da vida útil das cápsulas**. Disponível em: https://www.nespresso.com/positive/br/pt#!/sustentabilidade/never-ending-capsule?icid=BAI_B2C_BR-PT_menu_sustentabilidade_push1_caps. Acesso em: 30 ago. 2017.

O crescimento das cápsulas. **Revista Super Varejo**. Disponível em: <http://www.supervarejo.com.br/o-crescimento-das-capsulas/>. Acesso em: 07 ago 2018.

O GLOBO. **Pesquisas inéditas mostram que reciclagem de cápsulas de café é problemática no Brasil**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/meio-ambiente/pesquisas-ineditas-mostram-que-reciclagem-de-capsulas-de-cafe-problematica-no-brasil-20660567>. Acesso em: 29 ago. 2017.

OLIVEIRA, D. M. DE. **Influência do tratamento físico da fibra de coco nas propriedades mecânicas do biocompósito com matriz de poliéster insaturada**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP). 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/156013>. Acesso em: 30 nov. 2018.

OLIVEIRA, D. M. *et al.* Effects of plasma treatment on the sorption properties of coconut fibers. **Procedia Engineering**, v. 200, p. 357–364, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.050>. Acesso em: 28 jan. 2018.

OLIVEIRA, R. A. DE. **Comportamentos, térmico e mecânico, de compósitos de polipropileno e resíduo da hidrólise enzimática do bagaço de cana de açúcar**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - São Paulo State University (UNESP). 2014. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/bd/cathedra/29-04-2015/000807395.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2018.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Nações Unidas 2015. Disponível em: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em: 21 ago. 2018.

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; GUIMARÃES, T. R. Propriedades mecânicas de nanocompósitos de polipropileno e montmorilonita organofílica. **Polímeros**, São Carlos, v. 16, n. 2, p. 136–140, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282006000200014&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 24 set. 2018.

PARPARITA, E. *et al.* TG/FTIR/MS study on thermal decomposition of polypropylene/biomass composites. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 109, p. 13–20, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.06.001>. Acesso em: 08 fev. 2018.

PASCAULT, J. *et al.* **Thermosetting Polymers**. Nova York: CRC Press, 2002.

PEREIRA, P. H. F. *et al.* Characterization of high density polyethylene (HDPE) reinforced with banana peel fibers. **Bioresources**, v. 8, n. 2, p. 2351–2365, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.15376/biores.8.2.2351-2365>. Acesso em: 04 set. 2017.

PEREIRA, P. H. F. *et al.* Vegetal fibers in polymeric composites: a review. **Polímeros**, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 9–22, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282015000100002&lng=en&tlng=en. Acesso em: 28 nov. 2018.

PLASTICSEUROPE. **Plastics: the Facts 2017**. Brussels: PlasticsEurope, 2017. Disponível em: <http://www.plasticseurope.org/>. Acesso em: 09 ago. 2018.

PUJOL, D. *et al.* The chemical composition of exhausted coffee waste. **Industrial Crops & Products**, v. 50, p. 423–429, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.056>. Acesso em: 31 ago. 2018.

RABELLO, M. S.; WHITE, J. R. Fotodegradação do polipropileno: um processo essencialmente heterogêneo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, p. 47–57, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14281997000200007>. Acesso em: 14 fev. 2018.

RAGAERT, K.; DELVA, L.; GEEM, K. VAN. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. **Waste Management**, Elmsford, v. 69, p. 24–58, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>. Acesso em: 16 maio 2018.

REIS, N.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Performance of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy and chemometrics for detection of multiple adulterants in roasted and ground coffee. **LWT: Food Science and Technology**, v. 53, n. 2, p. 395–401, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.008>. Acesso em: 19 nov. 2018.

RELATÓRIO internacional de tendências do café. **Lavras**: Bureau de Inteligência Competitiva do Café, v.5, n.11, 2016. Disponível em: http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Relatorio_v5_n_11.pdf. Acesso em: 10 set. 2017.

RIEL, A. *et al.* An innovative approach to teaching sustainable design and management. **Procedia CIRP**, v. 36, p. 29–34, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.059>. Acesso em: 16 jan. 2018.

RJEB, M. *et al.* TG and DSC studies of natural and artificial aging of polypropylene. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 358, n. 1 SPEC. ISS., p. 212–217, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.059>. Acesso em: 16 jan. 2018.

ROCHA, C. S.; ANTUNES, P.; PARTIDÁRIO, P. Design for sustainability models: a multiperspective review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 234, p. 1428–1445, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.108>. Acesso em: 27 jul. 2019.

ROCHA, D. B.; ROSA, D. DOS S. Coupling effect of starch coated fibers for recycled polymer/wood composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 172, 2018, p. 1–8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.052>. Acesso em: 09 set. 2019.

ROETZEL, A.; FULLER, R.; RAJAGOPALAN, P. Integral sustainable design: reflections on the theory and practice from a case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 28, p. 225–232, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.002>. Acesso em: 04 set. 2017.

RYAN, C. J.; HOSKEN, M.; GREENE, D. EcoDesign: design and the response to the greening of the international market. **Design Studies**, Oxford, v. 13, p. 3–22, 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(92\)80002-G](https://doi.org/10.1016/0142-694X(92)80002-G). Acesso em: 19 set. 2017.

SANCHEZ, F. A. C. *et al.* Polymer recycling in an open-source additive manufacturing context: mechanical issues. **Additive Manufacturing**, v. 17, p. 87–105, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.05.013>. Acesso em: 18 set. 2017.

SARASINI, F. *et al.* Recycling coffee silverskin in sustainable composites based on a poly (butylene adipate-co-terephthalate)/poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) matrix. **Industrial Crops & Products**, v. 118, n. March, p. 311–320, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.070>. Acesso em: 26 fev. 2019.

SCHNABEL, W. **Polymer Degradation: Principles and Practical Applications**. Munchen: Hanser, 1981.

SCHOOLENBERG, G. E.; VINK, P. Ultra-violet degradation of polypropylene: 1. Degradation profile and thickness of the embrittled surface layer. **Polymer**, v. 32, n. 3, p. 432–437, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(91\)90446-P](https://doi.org/10.1016/0032-3861(91)90446-P). Acesso em: 23 out. 2018.

SCHRECK, M.; WAGNER, J. Incentivizing secondary raw material markets for sustainable waste management. **Waste Management**, Elmsford, v. 67, p. 354–359, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.036>. Acesso em: 17 ago. 2018.

SEBRAE. **Compostagem: Gestão sustentável dos resíduos orgânicos: Relatório de Inteligência**. Florianópolis: Sebrae, 2014.

SEKHAR, V. C. *et al.* Microbial degradation of high impact polystyrene (HIPS), an e-plastic with decabromodiphenyl oxide and antimony trioxide. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 318, p. 347–354, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.008>. Acesso em: 26 set. 2017.

SHEKAR, H. S. S.; RAMACHANDRA, M. Green composites: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 1, p. 2518–2526, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.034>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SIDDHARTH, L.; SARKAR, P. A Methodology for predicting the effect of engineering design changes. **Procedia CIRP**, v. 60, p. 452–457, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.071>. Acesso em: 17 jan. 2018.

SILVA, C. A.; VALARELLI, I. D. D. Design sustentável: A importância das fibras de juta, sisal e coco, no planejamento de produtos e éticas sustentáveis. **Educação Gráfica**, Bauru, 2006. Disponível em: <http://www.educacaografica.inf.br/artigos/design-sustentavel-a-importancia-das-fibras-de-juta-sisal-e-coco-no-planejamento-de-produtos-e-eticas-sustentaveis>. Acesso em: 04 set. 2017.

SILVA, J. R. M. B.; NUNES, L. S. A.; RABELLO, M. S. Fotodegradação do polipropileno contendo combinação de fotoestabilizantes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, p. 112–120, 2016. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/571/384>. Acesso em: 29 out. 2019.

SINGH, B.; SHARMA, N. Mechanistic implications of plastic degradation. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 93, n. 3, p. 561–584, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008>. Acesso em: 26 set. 2017.

SINGH, N. *et al.* Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. **Composites Part B**, v. 115, p. 409–422, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>. Acesso em: 28 ago. 2017.

SINGH, R. P. *et al.* Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. **Resources, Conservation & Recycling**, Amsterdam, v. 55, n. 7, p. 719–729, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.005>. Acesso em: 18 set. 2017.

SKERLOS, S. J. Promoting effectiveness in sustainable design. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 13–

18, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.080>. Acesso em: 18 dez. 2017.

SOCCALINGAME, L. *et al.* Reprocessing of artificial UV-weathered wood flour reinforced polypropylene composites. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 120, p. 313–327, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.07.013>. Acesso em: 08 fev. 2018.

SPINA, R.; SPEKOWIUS, M.; HOPMANN, C. Simulation of crystallization of isotactic polypropylene with different shear regimes. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 659, n. November 2017, p. 44–54, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.10.023>. Acesso em: 18 dez. 2018.

SPINACÉ, M. A. DA S.; DEPAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65–72, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100014>. Acesso em: 28 ago. 2017.

SRI, N. *et al.* Effect of kenaf fiber as a reinforcement on the tensile, flexural strength and impact toughness properties of recycled polypropylene/halloysite composites. **Procedia Chemistry**, v. 19, p. 253–258, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.102>. Acesso em: 30 ago. 2018.

STOEVA, K.; ALRIKSSON, S. Influence of recycling programmes on waste separation behaviour. **Waste Management**, Elmsford, v. 68, p. 732–741, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.005>. Acesso em: 15 ago. 2018.

STOOF, D.; PICKERING, K. Sustainable composite fused deposition modelling filament using recycled pre-consumer polypropylene. **Composites Part B**, v. 135, p. 110–118, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.10.005>. Acesso em: 15 maio 2018.

STORINO, F. *et al.* Effect of feeding regime on composting in bins. **Compost Science & Utilization**, Emmaus, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2016.1202794>. Acesso em: 18 set. 2017.

STRONG, A. B. **Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications**. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1989.

TARAZONA, E. R. T. **Aproveitamento da fibra de borra de café como material de reforço em compósitos com matriz de resina epóxi preparada a partir de óleo de cozinha usado**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-APKPFT/1/disserta__o_corrigidaednarocio.pdf. Acesso em: 17 maio 2018.

TERRA CYCLE. **Reciclo: programa Nacional de Reciclagem de Cápsulas de Café**. Disponível em: <https://www.terracycle.com.br/pt-BR/brigades/reciclo-capsulas-de-cafe>. Acesso em: 07 ago. 2018.

TODKAR, S. S.; PATIL, S. A. Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, n.

May, p. 106927, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106927>. Acesso em: 27 jul. 2019.

TRES®. **Reciclagem de cápsulas**. Disponível em: <http://www.escolhatres.com.br/reciclagem/>. Acesso em: 30 ago. 2017.

URBALIVE. **Worm Farm Urbalive**. Disponível em: <http://www.urbalive.com/vermicomposter>. Acesso em: 03 out. 2018.

VÁZQUEZ, M. A.; SOTO, M. The efficiency of home composting programmes and compost quality. **Waste Management**, Elmsford, v. 64, p. 39–50, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.022>. Acesso em: 04 set. 2017.

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V. Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, p. 81–88, 2010. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/7601/6696>. Acesso em: 03 out. 2017.

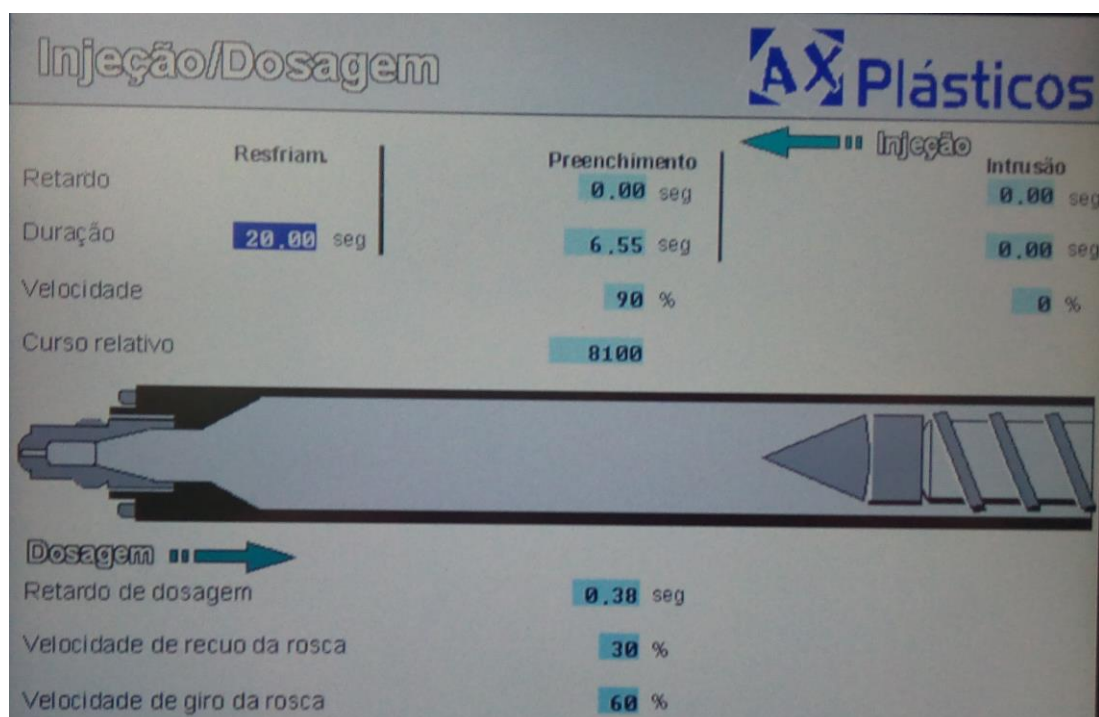
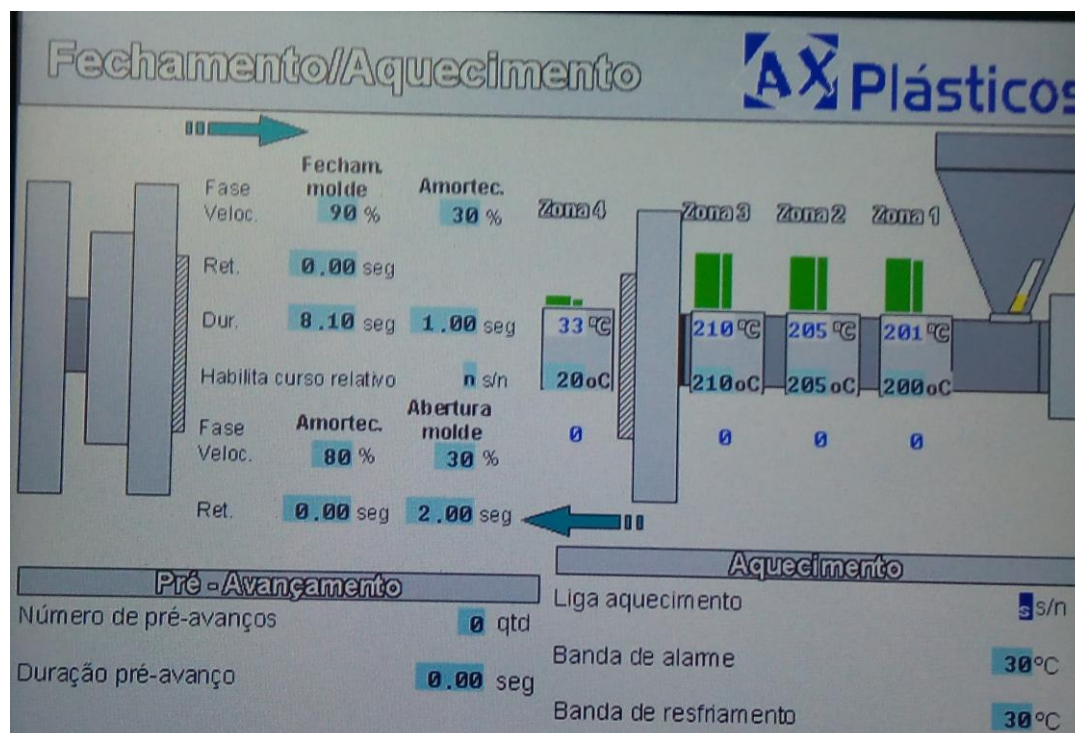
WEVER, R. Design Research for Sustainable Behaviour. **Journal of Design Research**, v. 10, n. 1/2, p. 1–6, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236631005>. Acesso em: 21 ago. 2018.

WLABS INNOVATIONS. **Zera Food Recycler**. Disponível em: <https://wlabsonnovations.com/pages/zera>. Acesso em: 15 out. 2018.

XIONG, J. *et al.* Natural weathering mechanism of isotatic polypropylene under different outdoor climates in China. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 146, n. October, p. 212–222, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.10.012>. Acesso em: 08 fev. 2018.

YOO, J. *et al.* Spent coffee grounds as supporting materials to produce bio-composite PCM with natural waxes. **Chemosphere**, Oxford, v. 235, p. 626–635, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.195>. Acesso em: 27 jul. 2019.

APÊNDICE A – PARÂMETROS UTILIZADOS NA CONFIGURAÇÃO DA MINI INJETORA



APÊNDICE B – TGA E DSC DE AMOSTRA EVOH (EVAL ® H171B RESIN)
PRODUZIDO PELA KURARAY AMÉRICA INC.

