



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**GLEISSON AMARAL MENDES**

**MODELAGEM E PRODUÇÃO DE BLOCOS ECOLÓGICOS USANDO  
O PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM**

**BELÉM**  
**2020**

GLEISSON AMARAL MENDES

**MODELAGEM E PRODUÇÃO DE BLOCOS ECOLÓGICOS USANDO  
O PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial – PPGEI, do Instituto de Tecnologia – ITEC, na Universidade Federal do Pará – UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Linha de Pesquisa: Materiais e Metalurgia.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias.

BELÉM  
2020



GLEISSON AMARAL MENDES

**MODELAGEM E PRODUÇÃO DE BLOCOS ECOLÓGICOS  
USANDO O PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará - UFPA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial, área de concentração: Materiais e Metalurgia.

DATA DA AVALIAÇÃO: **20 / 03 / 2020.**

**CONCEITO:** \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
(Orientadora – PPGEI/ITEC/UFPA)

---

Prof. Dr. José Maria do Vale Quaresma  
(Membro interno – PPGEI/ITEC/UFPA)

---

Prof. Dr. Daniel Onofre de Almeida Cruz  
(Membro externo – PPGEM/COPPE/UFRJ)

## **AGRADECIMENTOS**

A vigente dissertação de mestrado não poderia chegar a um epílogo sem o precioso apoio de várias pessoas. Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer a minha orientadora, Professora Doutora Carmen Gilda Barroso Tavares Dias, por toda a paciência e empenho na elaboração desse projeto.

Desejo, a mesma forma agradecer a todos os meus colegas de Mestrado, especialmente ao Carlos Pinto, Eduardo, Thomas, Edileia, Dani, Beth, Roberta e Garcia. Onde recebi apoio, amizade e estiveram presentes em todos os momentos.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Industrial, que foram sempre solícitos.

Por último, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional que me deram, especialmente a minha esposa Camila Rodrigues Mendes pela paciência e compreensão das viradas de noite estudando ao longo da elaboração desta dissertação.

## RESUMO

Nesta pesquisa foram modelados e processados blocos ecológicos de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD) reciclados por rotomoldagem a partir de embalagens pós-consumo. Usando o software sketchup foram projetados os moldes, blocos e paredes. Foram confeccionados e testados os moldes tanto de aço inox quanto de alumínio. O molde de alumínio apresentou melhor eficiência energética em comparação com o de aço. Foram obtidos blocos de encaixe e sobreposição de dimensões 14x19x39 cm. Os blocos foram caracterizados: morfologicamente, por microscopia ótica, com valor médio da área do PP de 10,15 mm<sup>2</sup> e PEAD, com valor médio da área do PEAD de 1,53 mm<sup>2</sup> do material revalorizado e difração de raio-X (DRX) mostraram que as amostras rotomoldadas obtiveram menor intensidade da difração dos picos em relação aos pós-consumo; mecanicamente, por compressão, mostrou que a resistência dos blocos de PP apresentaram resistência de compressão de 50% acima das amostras de PEAD, entretanto obteve recuperação elástica de 100%, no ensaio de flexão demonstrou que as amostras de PP com velocidade de deformação 2 mm/min obteve o modulo de elasticidade 1060,06% maior que o PEAD com 10 mm/min e o ensaio de impacto constatou que a resistência ao impacto, obtida pelo polímero PEAD apresentou melhor resultado em comparação com PP, ratificando 2,48 kJ/m<sup>2</sup> para PEAD e 0,62 kJ/m<sup>2</sup> para PP; fisicamente, por densidade, apontando o polietileno com densidade de 0,9976 g/cm<sup>3</sup> e polipropileno com 0,9954 g/cm<sup>3</sup>, constatando variação de 0,22% entre as densidades dos materiais analisados e a flamabilidade obtendo a classificação de V-2 as amostras de polietileno e polipropileno e as amostras com 5% de incorporação de retardante de chama de alumina atingindo a classificação V-0. As paredes foram montadas por blocos de encaixe e produto comercial para assentamento e sobreposição, assim como foram revestidos por pastilhas de vidro e receberam perfis de alumínio. Após as análises, a utilização da rotomoldagem como modelo de reciclagem de materiais descartados no meio ambiente será capaz de gerar destinação adequada e revalorização, proporcionando renda familiar para catadores de aterros sanitários e aumento do ciclo de vida das poliolefinas produzindo produto ecológico na construção civil.

**Palavras-chave:** Construção civil; Revalorização; Poliolefinas.

## ABSTRACT

In this research, ecological blocks of polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE) recycled by rotomolding from post-consumer packaging were modeled and processed. Using the sketchup software, molds, blocks and walls were designed. Both stainless steel and aluminum molds were made and tested. The aluminum mold showed better energy efficiency compared to steel. Fitting and overlapping blocks of dimensions 14x19x39cm were obtained. The blocks were characterized: morphologically, by optical microscopy, with an average value of the PP area of 10.15 mm and HDPE, with an average value of the HDPE area of 1.53 mm of the revalued material and X-ray diffraction (XRD) showed that the rotomolded samples obtained less peak diffraction in relation to the post-consumption samples; mechanically, by compression, it showed that the strength of the PP blocks showed 50% compression resistance above the HDPE samples, however it obtained an elastic recovery of 100%, in the flexure test it showed that the PP samples with deformation speed 2 mm/min obtained a modulus of elasticity 1060.06% greater than the HDPE with 10 mm/min and the impact test found that the impact resistance obtained by the HDPE polymer showed a better result compared to PP, ratifying 2.48 kJ/m<sup>2</sup> for HDPE and 0.62 kJ/m<sup>2</sup> for PP; physically, by density, pointing to polyethylene with a density of 0.9976 g / cm<sup>3</sup> and polypropylene with 0.9954 g/cm<sup>3</sup>, showing a variation of 0.22% between the densities of the analyzed materials and the flammability obtaining the classification of V-2 the polyethylene and polypropylene samples and the samples with 5% incorporation of alumina flame retardant reaching the V-0 classification. The walls were assembled using plug-in blocks and a commercial product for laying and overlapping, as well as being covered by glass tiles and receiving aluminum profiles. After the analysis, the use of rotomolding as a model for recycling materials discarded in the environment will be able to generate adequate disposal and revaluation, providing family income for landfill collectors and increasing the life cycle of polyolefins, producing ecological products in civil construction.

**Keywords:** Civil construction. Revaluation. Polyolefins.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MONÔMERO ETENO. ....	30
FIGURA 2 – MERO DO POLIETILENO. ....	30
FIGURA 3 – CADEIA DE POLIETILENO.....	31
FIGURA 4 - PORCENTAGEM DE 2% POLIETILENO DESTINADO A ROTOMOLDAGEM EM 2018.....	31
FIGURA 5 - PORCENTAGEM DE 95% DE POLIETILENO USADO EM ROTOMOLDAGEM EM 2018.....	32
FIGURA 6 – MONÔMERO PROPILENO.....	34
FIGURA 7 - MERO DO POLIPROPILENO.....	34
FIGURA 8 – CADEIA DE POLIPROPILENO.....	34
FIGURA 9 - PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM.....	37
FIGURA 10 - NÚMERO TOTAL DE ROTOMOLDADORES NO PLANETA.....	37
FIGURA 11 - MOINHO DE FACAS MODELO NFA-1533 DA RONE.....	42
FIGURA 12 - MOINHO DE FACAS TIPO CRÓTON TE-625 DA TECNAL.....	42
FIGURA 13 - MAQUINA DE ROTOMOLDAGEM A) MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM B) FORNO C) RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO FORNO.....	44
FIGURA 14 - MICROSCÓPIO ÓPTICO AXIOCAM 105 COLOR DO FABRICANTE ZEISS.....	45
FIGURA 15 - PICNÔMETRO DE 25 ML.....	46
FIGURA 16 - MEDIDAS DO CORPO DE PROVA DA NORMA ASTM D790-17.....	47
FIGURA 17 – INSTRUMENTO DE MEDIÇÕES PARA OS ENSAIOS: A) ESQUADRO METÁLICO DE $90 \pm 0,5^\circ$ , B) PAQUÍMETRO, C) RÉGUA METÁLICA COM SENSIBILIDADE MÍNIMA DE 0,05 MM E D) PAQUÍMETRO.....	49
FIGURA 18 - PONTOS INDICADOS PARA EFETUAR AS MEDIÇÕES DA LARGURA (L) NOS BLOCOS.....	50
FIGURA 19 - PONTOS INDICADOS PARA EFETUAR AS MEDIÇÕES DA ALTURA (H) NOS BLOCOS.....	50
FIGURA 20 - PONTOS INDICADOS PARA EFETUAR AS MEDIÇÕES DO COMPRIMENTO (C) NOS BLOCOS.....	51
FIGURA 21 – POSIÇÃO PARA AS MEDIÇÕES NAS PAREDES EXTERNAS.....	51
FIGURA 22 – POSIÇÃO DAS MEDIÇÕES DO DESVIO EM RELAÇÃO AO ESQUADRO.....	52
FIGURA 23 - MEDIÇÃO DE PLANEZA DAS FACES (F).....	53
FIGURA 24 - COMPRESSÃO AXIAL DE BLOCO DE VEDAÇÃO.....	55
FIGURA 25 - ESQUEMA PARA O ENSAIO DE FLAMABILIDADE VERTICAL.....	56
FIGURA 26 - GARRAFA PÓS-CONSUMO DE ÁGUA MINERAL.....	57
FIGURA 27 - POLIPROPILENO TRITURADO.....	57
FIGURA 28 - GARRAFA DE ÁLCOOL PÓS-CONSUMO DE PEAD.....	58
FIGURA 29 - POLIETILENO MICRONIZADO.....	58
FIGURA 30 - MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DOS BLOCOS.....	59
FIGURA 31 - MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DO MOLDE DO BLOCO FECHADO.....	60
FIGURA 32 - MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DO MOLDE DESMONTADO.....	60
FIGURA 33 - MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DE UMA PAREDE DE BLOCO.....	61
FIGURA 34 - MOLDE DE AÇO INOX.....	62
FIGURA 35 - MOLDE DE ALUMÍNIO.....	63
FIGURA 36 - ENCHIMENTO DO MOLDE COM O POLÍMERO A) MOLDE VAZIO E B) MOLDE COM PEAD.....	63



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 37 - ACOPLAMENTO DO MOLDE NA MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM A) MOLDE ACOPLADO, B) FORNO AGUARDANDO SER ACOPLADO NA MÁQUINA E C) FORNO ACOPLADO NA MAQUINA .....	64
FIGURA 38 - AJUSTES PARA O FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM A) INVERSORES DE FREQUÊNCIA E DISJUNTORES RESPONSÁVEIS PARA CONTROLA A MOVIMENTAÇÃO E AQUECIMENTO DA MÁQUINA E B) ENCAIXE DO PLUG DO DISCO DE COBRE .....	64
FIGURA 39 - DESMOLDE A) REMOÇÃO DA TAMPA DO FORNO, B) MOLDE SEM A TAMPA, C) DESMOLDE DO BLOCO DE PP, D) DESMOLDE DO BLOCO DE PEAD COM CAVIDADE FÊMEA, E) DESMOLDE DO BLOCO DE PEAD COM CAVIDADE MACHO E F) DESMOLDE DO BLOCO DE PEAD SEM CAVIDADES .....	65
FIGURA 40 - BLOCO CONFECCIONADO COM MOLDE DE AÇO INOX E EMBALAGEM DE IOGURTE NATURAL PÓS-CONSUMO.....	66
FIGURA 41 - BLOCO CONFECCIONADO COM MOLDE DE AÇO INOX E GARRAFA DE ÁGUA MINERAL PÓS-CONSUMO .....	66
FIGURA 42 - BLOCO CONFECCIONADO COM MOLDE DE ALUMÍNIO AÇO INOX E GARRAFA DE ÁGUA MINERAL PÓS-CONSUMO.....	67
FIGURA 43 - BLOCO CONFECCIONADO COM MOLDE DE AÇO INOX E EMBALAGEM DE ÁLCOOL PÓS-CONSUMO ..	68
FIGURA 44 - BLOCO CONFECCIONADO COM MOLDE DE ALUMÍNIO AÇO INOX EMBALAGEM DE ÁLCOOL PÓS-CONSUMO.....	68
FIGURA 45 - MICROSCOPIA ÓPTICA DE PP.....	69
FIGURA 46 - MICROSCOPIA ÓPTICA DE PEAD.....	69
FIGURA 47 - PROCESSO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS - X.....	71
FIGURA 48 - DIFRATOGRAMAS ANTES E DEPOIS DA ROTOMOLDAGEM DO PP .....	72
FIGURA 49 - DIFRATOGRAMAS ANTES E DEPOIS DA ROTOMOLDAGEM DO PEAD .....	73
FIGURA 50 - DIFRATOGRAMAS DAS PEÇAS DE PP (AÇO INOX, ALUMÍNIOS E VIDRO).....	74
FIGURA 51 - DIFRATOGRAMAS DAS PEÇAS DE PEAD (AÇO INOX, ALUMÍNIOS E VIDRO).....	75
FIGURA 52 - CORPOS DE PROVAS DE PEAD.....	76
FIGURA 53 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADE 10 MM/MIN DO PP ..	77
FIGURA 54 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADE 5 MM/MIN DO PP ...	77
FIGURA 55 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADE 2 MM/MIN DO PP ...	78
FIGURA 56 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADES 10,5 E 2 MM/MIN DO PP.....	78
FIGURA 57 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADE 10 MM/MIN.....	78
FIGURA 58 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADE 5 MM/MIN.....	79
FIGURA 59 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADE 2 MM/MIN.....	80
FIGURA 60 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO COM VELOCIDADES 10, 5 E 2 MM/MIN.	80
FIGURA 61 - ENSAIO DE IMPACTO DO PEAD E PP DOS BLOCOS ROTOMOLDADOS. ....	81
FIGURA 62 - CORPO DE PROVA DE IMPACTO CHARPY .....	82
FIGURA 63 - MEDIÇÃO DA LARGURA (L) DOS BLOCOS DE PEAD E PP.....	82
FIGURA 64 - MEDIÇÃO DA ALTURA (H) DOS BLOCOS DE PEAD E PP.....	82
FIGURA 65 - MEDIÇÃO NAS PAREDES EXTERNAS DOS BLOCOS DE PEAD E PP .....	83

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 66 - MEDIÇÃO DO DESVIO EM RELAÇÃO AO ESQUADRO DOS BLOCOS DE PEAD E PP .....	84
FIGURA 67 - MEDIÇÃO DE PLANEZA DAS FACES (F) DOS BLOCOS DE PEAD E PP .....	85
FIGURA 68 – FRATURA DO BLOCO DE PP A) LADO ESQUERDO B) LADO DIREITO .....	87
FIGURA 69 - BLOCO DE PEAD SOFRENDO DEFORMAÇÃO ELÁSTICA A) INICIO DO TESTE B) DEFORMAÇÃO LATERAL C) APÓS A REMOÇÃO DA CARGA D) BLOCO COM RECUPERAÇÃO DE 100%. .....	87
FIGURA 70 - BLOCO COM MALHA DE REFORÇO .....	89
FIGURA 71 - RESULTADO DOS BLOCOS COM REFORÇO .....	89
FIGURA 72 - ENSAIO DE FLAMABILIDADE APÓS A RETIRADA DE 10S DA CHAMA A) PP, B) PEAD E C) PP + 5% DE ALUMINA. ....	90
FIGURA 73 – RESULTADO DA FIBRA DE ALGODÃO DEPOIS DO ENSAIO DE FLAMABILIDADE A) PP, B) PEAD E C) PP + 5% DE ALUMINA. TESTE.....	91

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - TOLERÂNCIA DAS AMOSTRAS EXIGIDO PELA NBR 15270-1,2017. ....	51
QUADRO 2 - TOLERÂNCIA DE SEPTOS EXTERNOS E INTERNOS. ....	52
QUADRO 3 - TOLERÂNCIA DE ESQUADRO .....	53
QUADRO 4 - TOLERÂNCIA DE MEDIDAS DE PLANEZA DAS FACES.....	54
QUADRO 5 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATÉRIAS.....	55
QUADRO 6 – RESULTADO EXPERIMENTAIS PARA CHEGAR A DENSIDADES .....	70
QUADRO 7 – RESULTADO FINAL EXPERIMENTAL PARA AS DENSIDADES. ....	70
QUADRO 8 - MEDIÇÃO DOS SEPTOS .....	83
QUADRO 9 - RESULTADOS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS BLOCOS DE PEAD E PP. ....	85
QUADRO 10 - RESISTÊNCIA COMPRESSÃO.....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for testing and materials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
SAFE	Avaliação de Sustentabilidade por Avaliação Difusa
CAD	Desenho Assistido Por Computador
CD-ROM	<i>Compact Disc Read-Only Memory</i>
DRX	Difração de Raios – X
FIPA	Feira da Indústria do Pará
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICI	<i>Imperial Chemical Industries</i>
MAPLA	Anidrido Maleico em PLA
MIC	Modelagem de Informações de Construção
SWNT	Nanotubos de Carbono
NBR	Norma Técnica
MAPE	Polietileno com Anidrido Maleico
PET	Polietileno Tereftalato
PLA	Poliácido Láctico
PR	Plástico Reciclado
PVA	Poliacetato de Vinila
PVC	Policloreto de Vinila
TTOSP	Pó de Casca de Ostra Tratada Termicamente
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de baixa Densidade
PEUAPM	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
PEUBD	Polietileno de Ultra Baixa Densidade
PELBD	Polietileno linear de Baixa Densidade
PP	Polipropileno
iPP	Polipropileno Isotático
PS	Poliestireno

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

RPS	Resíduos Plásticos Sólidos
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UFPA	Universidade Federal do Pará
UV	Ultravioleta

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Alfa
H	Altura
$\Theta$	Ângulo
B	Beta
C	Comprimento
L	Comprimento
d	Densidade
D	Desvio
E	Épsilon
h	Espessura
€	Euro
F	Faces
g	Gramma
°	Grau
j	Joule
±	Mais ou menos
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm	Milímetro
$\Delta$	Ômega
%	Percentual
$\Pi$	Pi
P	Potência
kg	Quilograma
kj	Quilojoule
H	Rotação
T	Temperatura
T	Tempo
$\zeta$	Tensão de cisalhamento
$\Theta$	Teta

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>21</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	21
1.1.2 Objetivos específicos .....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Modelagem .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Blocos ecológicos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Aquecimento global .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Sustentabilidade .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Reciclagem de plástico.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6- Polietileno.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7 Polipropileno .....</b>	<b>33</b>
<b>2.8 Rotomoldagem .....</b>	<b>35</b>
2.8.1 Processo .....	35
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Materiais .....</b>	<b>41</b>
3.1.1 Polipropileno .....	41
3.1.2 Polietileno de alta densidade.....	41
<b>3.2 Métodos .....</b>	<b>41</b>
3.2.1 Revalorização de matéria prima .....	41
3.2.1.1 Revalorização do PP .....	41
3.2.1.2 Revalorização do PEAD .....	42
3.2.2 Modelagem tridimensional.....	43
3.2.2.1 Modelagem tridimensional do bloco .....	43
3.2.2.2 Modelagem tridimensional do molde .....	43
3.2.2.3 Modelagem tridimensional de uma parede com os blocos .....	43
3.2.3 Confecção dos moldes.....	43
3.2.3.1 Confecção do molde de aço inox .....	43
3.2.3.2 Confecção do molde de alumínio .....	44
3.2.4 Rotomoldagem.....	44
3.2.5 Microscopia óptica .....	45

	16
3.2.6 Densidade – Método do Picnômetro .....	45
3.2.7 Difração de raio – X.....	46
3.2.8 Ensaio mecânicos .....	47
3.2.8.1 Ensaio de flexão.....	47
3.2.8.2 Ensaio de Impacto.....	48
3.2.9 Ensaio para certificação do material conforme adaptação da norma ABNT NBR e ABNT NBR.....	48
3.2.9.1 Determinação das características geométricas .....	49
3.2.9.1.1 Determinação das medidas das faces – Dimensões efetivas .....	50
3.2.9.1.2 Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos...	51
3.2.9.1.3 Determinação do desvio em relação ao esquadro (D) .....	52
3.2.9.1.4 Determinação da planeza das faces (F) .....	53
3.2.9.2 Determinação da resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação. ....	54
3.2.10 Ensaio de flamabilidade UL 94 vertical.....	55
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>57</b>
<b>4.1 Revalorização de matéria prima.....</b>	<b>57</b>
4.1.1 Revalorização do PP .....	57
4.1.2 Revalorização do PEAD.....	58
<b>4.2 Modelagem tridimensional .....</b>	<b>59</b>
4.2.1 Modelagem tridimensional do bloco .....	59
4.2.2 Modelagem tridimensional do molde .....	59
4.2.3 Modelagem tridimensional de uma parede de bloco .....	61
<b>4.3 Confecção do molde.....</b>	<b>61</b>
4.3.1 Molde de aço inox .....	61
4.3.2 Molde de alumínio.....	62
<b>4.4 Rotomoldagem dos blocos .....</b>	<b>63</b>
4.4.1 Rotomoldagem do bloco (PP) .....	65
4.4.2 Rotomoldagem do bloco (PEAD) .....	67
<b>4.5 Microscopia óptica.....</b>	<b>68</b>
<b>4.6 Densidade – Método do Picnômetro.....</b>	<b>70</b>
<b>4.7 Difração de raio – x .....</b>	<b>70</b>
4.7.1 Difração de raio – X do PP ante e depois da rotomoldagem .....	71



	17
4.7.2 Difração de raio – X do PEAD antes e depois da rotomoldagem.....	72
4.7.3 Difração de raio – X das peças de PP (aço inox, alumínios e Vidro) .....	73
4.7.4 Difração de raio – X das peças de PEAD (aço inox, alumínios e Vidro) .....	74
<b>4.8 Ensaios Mecânicos .....</b>	<b>75</b>
4.8.1 Ensaio de flexão.....	75
4.8.2 Ensaio de Impacto .....	81
<b>4.9 Ensaio para certificação do material conforme a adaptação da norma ABNT NBR 15270-1:2017 e ABNT NBR 15270-2:2017.....</b>	<b>82</b>
4.9.1 Determinação das características geométricas .....	82
4.9.1.1 Determinação das medidas das faces – Dimensões efetivas .....	82
4.9.1.2 Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos.....	83
4.9.1.3 Determinação do desvio em relação ao esquadro (D) .....	84
4.9.1.4 Determinação da planeza das faces (F) .....	85
4.9.2 Determinação da resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação. ....	86
<b>4.10 Ensaio de flamabilidade UL 94 vertical.....</b>	<b>90</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>92</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE A – MODELOS DOS BLOCOS ROTOMOLDADOS.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DOS BLOCOS ROTOMOLDADOS .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE C – PROCEDIMENTO DE APLICABILIDADE DO BLOCO .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE D – APRESENTAÇÃO DO ESTUDO NA XIV FEIRA DA INDÚSTRIA DO PARÁ (FIPA).....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXOS A – MATÉRIA SOBRE O BLOCO ROTOMOLDADO.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS B – BLOCOS POLIMERICOS .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As empresas passaram a buscar selos ou rótulos ambientais visando fidedignidade para acondicionamento do planeta devido constantes impactos no meio ambiente. Como podemos depreender e integrar as áreas que possuem uma busca demasiada por otimizações e melhorias para seus produtos. A transição dos materiais de construção minimiza os impactos buscando nova rotulagem ecológica, decorrente da emissão de 36,19 toneladas de CO<sub>2</sub>, 0,169 toneladas de SO<sub>2</sub> e materiais das fundações responsáveis pelos impactos mais negativos com 57,8% no potencial de aquecimento global com análise de vinte casas de alvenaria. (ESTOKOVA; VILCEKOVA; PORHINCAK, 2017).

Algumas empresas preocupadas com a sustentabilidade, passaram a usar aplicações de rastreamento dos seus produtos, essa está se tornando uma ferramenta segura, mostrando explicitamente todas transações legais e transparecendo confiabilidade. Fazendo com que os consumidores se preocupem com as consequências do lixo, passando a consumir produtos reutilizáveis e ocorrendo destino adequado em virtude do rastreamento de resíduos eletrônicos (LEE et al., 2018).

As companhias que não se amoldarem a normas ambientais, poderá não suportar impactos, fazendo essas empresas inábeis fechem, ao contrário das empresas sustentáveis que tem predisposição a medrança, caso superarem obstáculos econômicos, sociais e ambientais. Portanto, estabelecendo uma procura por alternativas para permanecerem aos ramos dos negócios. (SUN; WU; YANG, 2017)

Quando não há existência de vultuosos investimentos em infraestrutura e inovações tecnologias, recomenda-se buscar novos caminhos para viabilizar a intensificação de aplicações de resíduos sólidos (RS). Onde as tecnologias de RS refletem uma notável dilatação dos índices gerais do processo de reciclagem devido custos no produto final, restringindo aplicações sustentáveis (MILLER et al., 2014).

Singh e colaboradores (2016) afirmam que podemos apoucar a utilização de materiais virgens e reciclar resíduos sólidos de plástico, cooperando com um conjunto de questões em relação a sustentabilidade da situação ambiental e do aquecimento

global. Onde estes polímeros podem ser mesclados para aprimorar as propriedades mecânicas, como reforço em peças metálicas. A mistura de resíduos plásticos e resíduos de demolição se aplicam adequadamente como base, subbases, subgrades e aterros utilizados no âmbito da engenharia civil (ARULRAJAH et al., 2017).

O número de habitantes brasileiros expôs aumento de 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração per capita de resíduos sólidos urbanos (RSU) apresentou crescimento de 0,48%. A geração total de resíduos expandiu 1% no mesmo espaço de tempo, alcançando o montante de 214.868 toneladas diárias de RSU no país. Entretanto, a região Norte representa 6,5% na coleta de RSU no Brasil e 52,9% corresponde a região Sudeste (SARTINI et al., 2018).

Em escala global a reutilização do lixo através da reciclagem eficiente proporciona ganhos sociais, ambientais e econômicos e em nível local assegura economia de dinheiro das comunidades (STARR; NICOLSON, 2015). A reciclagem de resíduos de plástico e demolição anualmente conduz abundantes benefícios ambientais e econômicos utilizando resíduos como material alternativo em construções sustentáveis. Desta forma, promove solucionar imbróglis de aterros sanitários e redução das emissões de carbono (ARULRAJAH et al., 2017).

Com a inquietação para redução de impactos ambientais e melhoria na qualidade de vida, foram criadas paredes à base de garrafas de Polietileno tereftalato (PET) recheados com materiais descartáveis como papel, sacolas plásticas, areia e terra. Observando-se a redução de 70% de custo, reduziria o descarte de embalagem PET e resíduos sólidos de construção civil e gerando diminuição na extração de recursos naturais para produção de blocos e tijolos (GALLI et al., 2012).

Para redução do acúmulo lixo nos oceanos foi desenvolvido blocos plásticos pela empresa *ByFusion* denominado de *ByBlock*, utilizando processo de compactação transformando os resíduos em blocos alternativos, não havendo a necessidade de adesivos ou colas, chegando a reduzir 95% de emissão de gases de efeito estufa em comparação aos de concreto (IDLE, 2016).

A capacidade de saída de adultos de diferentes tamanhos através de aberturas em espaços confinados, foi viável a execução de um estudo, devido ao teste de saída de parede. O correndo a construção de paredes de blocos de particionamento de plásticos desenvolvidos no reino unido denominado de *Everblock*, obtendo paredes claras e viabilizando que o participante não fique preso entre as paredes ao aplicar o teste (STEWART; NEVILL; JOHNSON, 2019).

A empresa *Far Eastern Group* desenvolveu o edifício *EcoARK*, com sua fachada composta de blocos ocios de PET reciclado chamados de *Polli-Bricks*. O material foi reprocessado com design que permite o encaixe entre eles, montado em painéis retangulares e revestidos com uma película resistente ao fogo e à água, sendo resistente a terremotos, ventos fortes e tufões (WANG, 2017).

Outro tipo de bloco plástico foi nomeado de concreto de policloreto de vinila (PVC), garantindo a vantagens do material polimérico, sendo reciclável, resistente a chuva, vento maresia, imune ação de fungos bactérias, insetos, a maioria dos reagentes químicos e apresenta 20% de redução de custo em comparação as de alvenaria convencionais (SILVEIRA, 2011).

A empresa *Conceptos Plásticos* projetou o bloco *BloquePas*, com a intenção de substituir os assentamentos de habitações informais e precárias por habitações decentes, ajudando a minimizar impactos ambientais provocados por resíduos plásticos. Oferecendo incitação de redução de 30% ao custo final em relação a construções tradicionais em locais rurais (CICLOVIVO, 2016).

O uso de termoplásticos em reciclagem cresce gradativamente no Brasil, onde o polipropileno (PP) é um material de baixo custo, com diversas aplicações como: copos plásticos, brinquedos, cadeiras plásticas e tampas em geral. Portanto, a reciclagem automatizada de resíduos plásticos utilizando a tecnologia de espectroscopia, em PP no seu processo sem adição de produtos químicos e com precisão 100% na separação de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), poliestireno (PS). Tornando um processo economicamente viável e ecológico. (LI et al., 2019).

Os resíduos de aterros encontrados com maior frequência são os polímeros PP e polietileno (PE), portanto foi avaliado a degradação dos materiais e observou-se que houve desgaste maior dos polímeros enterrados com mais de 10 anos do que os abaixo de 10 anos. Sendo recomendando o processo de reciclagem de pirolise com a produção de base química compostos de plásticos escavados, contribuindo para a economia circular (CANOPOLI; COULON; WAGLAND, 2020). O PP e Polietileno de Alta Densidade (PEAD) são poliolefinas, usadas em placas de espumas onde indicam resultados satisfatórios mesmo com 50% de granulado substituindo materiais virgens (SCHNEIDER; MACK; RAPP, 2017).

Colaborando com meio ambiente, o uso de pó de PEAD reticulado reciclado, obtido de peças rotomoldadas através do cisalhamento no estado sólido, evidenciou um comportamento de fusão análogo ao com material virgem, usando o processo de

moldagem por compressão, evitando que produtos grandes rotomoldados como tanque de combustível, sejam descartados em aterros domésticos (NOBREGA; JAYARAMAN, 2019).

Na reciclagem de termoplásticos pode ser usado a rotomoldagem também conhecido como moldagem rotacional ou fundição rotacional, onde consiste no processo de moldagem de termoplásticos. Portanto, este método de produção de peças é indicado para empresas com baixo custo de investimento, se confrontarmos outros processos de termoplásticos.

Certamente, devemos procurar meios alternativos para implantar soluções sustentáveis, como o estudo desta pesquisa direcionada ao desenvolvimento de blocos de poliolefinas de PP ou PEAD recicladas, aplicados a elementos construtivos utilizando o processo de rotomoldagem.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

- ✓ Produzir blocos ecológicos de poliolefinas recicladas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Modelar tridimensional os moldes e blocos;
- ✓ Confeccionar moldes para os blocos;
- ✓ Validar a aplicação dos blocos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Modelagem

A utilização da modelagem pode ser aplicada em inúmeras áreas, recentemente foi elaborada uma proposta metodológica de simulação orientada a controle de alta fidelidade envolvendo modelos de vigas para facilitar o desenvolvimento do controlador. Proporcionando, a solução de problemas com ajuste de parâmetros para teste de mesa onde a simulação fosse pariforme ao cenário real possibilitando a criação de modelo numérico do molde a uma ampla gama de sistemas.(NATARAJAN; DING; BENTSMAN, 2019)

A moldagem por transferência de resina por compressão controlada por força, está se tornando uma poderosa tecnologia de processamento para confecção de peças compostas em larga escala ou com alto teor de fibra. Portanto, foi desenvolvido um método de modelagem e simulação 3D da compressão da resina e suas possíveis alterações no molde, para resolver problemas matemáticos do processo de enchimento controlado por controle remoto.(YANG; WANG; TANG, 2019)

A interação 3D e a modelagem de informações de construção (MIC) integrada a metodologia de combinações de ferramentas do MATLAB e recursos de visualização 3D do software de design Sketchup. Possui eficiente na abordagem de criação de novas construções de túnel e avaliação de danos associada aos edifícios nas proximidades dessa construção. (PROVIDAKIS; ROGERS; CHAPMAN, 2019).

A utilização da técnica de contagem de pixels para analisar a fração iluminada pelo sol nas superfícies internas dos edifícios, pode contribuir para o remodelamento de paradigma de construção de ferramentas de simulação. Assim, com auxílio do *software sketchup* ajuda a resolver desafios impostos no cenário real e são adaptados e incorporados a simulação tridimensional com grande eficiência computacional a cálculo de manchas solares nas superfícies internas.(PAULA et al., 2019)

Aquecimento, refrigeração e água quente sanitária para edifícios apresentam uma parcela substancial na demanda global de energia. Portanto, foi aplicada uma metodologia sistemática de equidade técnica e econômica, tornando possível criar modelos de construções baseados em cenário real através da ferramenta Sketchup, reduzindo o consumo de energia não renovável, custos operacionais e impactos ambientais.(AYADI; AL-DAHIDI, 2019)

Embora o propósito de sua criação não seja exclusivo para o aprendizado de geometria, o software Sketchup auxilia os alunos a alcançar níveis mais altos de pensamento geométrico de Van Hiele. O que ajuda os alunos a aumentar a média de pontuação após o módulo de aprendizagem, atingindo próximo de 94% com auxílio da ferramenta aplicada no ensino de matemática de 96 alunos do quinto ano de uma escola pública da Malásia (MDYUNUS; HOCK, 2019).

A combinação dos softwares ArcGIS e SketchUp proporcionou a exploração do método de modelagem geológica 3D simples e prático para promover a maior divulgação nos campos da mineração, geologia e construções de engenharia ajudando a melhorar a eficiência de pré-processamento, modelagem e visualização de dados. Ajudando a popularizar a tecnologia de modelagem nas áreas de mineração, geologia e engenharia de construção (SONG, 2019).

O processo de fundição contínua foi estudado por simulação numérica. Portanto, o comportamento de aprisionamento de escória em molde de vazamento contínuo foi validado usando cálculo numérico e métodos de modelagem de água. Assim, apresentou resultados padronizados de acordo com os da simulação numérica e as gotículas de escória observadas com auxílio da modelagem da água (WANG et al., 2019a).

## **2.2 Blocos ecológicos**

A natureza assim como o homem busca o equilíbrio entre gastos e reposição de energia, buscando através métodos sustentáveis diminuir seus gastos e aumentar recursos. Tornando possível desenvolver modelos aplicados a engenharia civil para diminuir impacto ambientais responsáveis pelo consumo desses recursos.

Cabe destacar que estudos foram desenvolvidos de adição de borracha em tijolos obtendo resultados semelhantes aos convencionais, proporcionando o emprego deste material em pequenas proporções sem prejuízos significativos a sua e resistência. Podendo considerar factível a adição deste material como alternativa sustentável, reduzindo recursos naturais e inserindo recursos descartados ao meio ambiente (SILVA; PAULA; SILVA, 2017).

Na busca por novos conceitos e soluções aplicadas a sustentabilidade na construção civil, procurou-se reduzir o consumo de recursos naturais através da reciclagem de resíduos, introduzindo papéis descartados em lixos urbanos como

alternativas de emprego na composição de tijolos. Ocasionalmente a redução de custos e proporcionando moradias viáveis de baixo consumo de recursos naturais e, assim, impede o processo de queima do papel descartável nos lixos urbanos, enquadrando-se no contexto da sustentabilidade na construção civil evitando a degradação do meio ambiente e do déficit habitacional (OLIVEIRA et al., 2017a).

A procura por elucidações para aperfeiçoamento de desempenho relacionado a baixas densidades, redução de condutividade térmica e aumento de resistência à compressão, proporciona interesse em projetos economicamente sustentáveis. Desta forma, produz blocos sem queimas, obtendo prestígio entre outras manufaturas de tijolos, visando baixa energia (RAUT; RALEGAONKAR; MANDAVGANE, 2011).

A utilização de resíduos sólidos em tijolos promove obtenção de peças de boa qualidade com redução de temperatura nos processos de queima, reduzindo os custos de energia na produção de maneira sustentável (COLETTI et al., 2016).

Com a utilização de material descartado em aterros sanitários e para redução de argila, foi proposto uso de resíduos de azeitona na produção de argila para manufatura de tijolos cerâmicos, obtendo benefícios ambientais usando materiais descartados e reduzindo a porcentagem de argila. Portanto, alcançando economia de energia e emissões de CO<sub>2</sub> durante o processo de queima (PÉREZ-VILLAREJO et al., 2020).

### **2.3 Aquecimento global**

Podemos criar pressuposições adequando equações entre as manchas solares e mudanças na temperatura com estimativas em até dois anos. Há a necessidade de monitorar as manchas solares, para que não ocorra uma discrepância nesta relação com aumento demasiado na emissão de CO<sub>2</sub>, fato sucedido na década de sessenta, proporcionando uma avultação nas temperaturas globais (KRISTOUFEK, 2017).

O aquecimento global afeta diretamente no efeito de minguamento da vida das plantas, ocasionando vultosos danos aos ecossistemas em nosso planeta. Assim, promovendo uma preocupação para criação de um modelo matemático meticuloso capaz de aperceber os impactos com o aumento da temperatura, proporcionando maior aquecimento global devido redução do tempo de vida das plantas (PUTTI et al., 2017).

Mesmo buscando novas formas de mesclar o concreto, para reduzir os



impactos ambientais sem que ocorra prejuízos na durabilidade a longo prazo, ainda ocorrerá danos ao meio ambiente. Com a utilização de taxas moderadas com agregado de concreto reciclado e cinza de volantes podem ser usadas sem comprometer a maioria das características de durabilidade reduzindo impactos ambiental do processo de produção do concreto (KURAD et al., 2017). Sendo assim, devemos levar em consideração efeitos secundários, para solucionar problemas com tomadas de decisões eficaz, para não cometer erros nos cálculos sobre aquecimento global e custo de ciclo de vida (YLMÉN et al., 2017).

Um estudo realizado em uma bacia no norte da China, foi observado uma mudança climática no clima ótimo do meio mioceno, refletindo em um clima mais quente e úmidos. Portanto, as temperaturas globais agem como impulsionadoras dessas mudanças climáticas (HUI et al., 2018).

Com base em uma avaliação probabilística, possíveis alterações climáticas ligadas aos rendimentos dos milhos nos Estados Unidos apresentaram resultados que comprovam o aumento da temperatura está correlacionado a redução de milho e as regiões de milho mais vulneráveis são as que possuem aumento na temperatura (LENG, 2018).

Foi realizada uma simulação de Monte Carlo com base de dados da Servia sobre resíduos alimentares, revelando impactos relacionados ao aquecimento global, devido a expectativa anual de familiares sérvios que despejam cerca 198.712 toneladas de resíduos alimentares associados a 687.346 toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> (DJEKIC; MILORADOVIC; TOMASEVIC, 2019).

Estima-se que entre os anos de 2030 a 2050, a obtenção de cota pessoal será de 5 toneladas de CO<sub>2</sub> ano, contribua para concretizar e buscar medidas vinculadas a mudanças climáticas. Assim, obtendo maior tempo para reduzir ou eliminar CO<sub>2</sub> (FUENTE; ROJAS; LEAN, 2017).

## **2.4 Sustentabilidade**

A produção de resíduos e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) são os causadores de imbróglio nas metrópoles desenvolvidas, em contraste nas cidades dos países em desenvolvimento podemos salienta os crimes e a pobreza. Onde, o modelo de avaliação de sustentabilidade por avaliação difusa (SAFE) denota ser um profícuo apetrecho nas tomadas de decisão para estadistas e praticantes de sustentabilidade

urbana (PHILLIS; KOUIKOGLOU; VERDUGO, 2017).

Nos últimos anos presenciamos ponderações sobre o desenvolvimento sustentável na China, expressadas pela acelerada urbanização que obrigatoriamente chamou atenção das indústrias e do governo a formação de bairros sustentáveis. Visto que, estes bairros afrontam diversas barreiras com: método de urbanização insustentável, ausências de apoio política, modelo nacional e método de avaliação (SHI et al., 2017).

Há avanços relacionado ao número de empresas que atribuíram ponderações ao desempenho ecológico e social que evidenciam, buscas por novos métodos de contribuição para sustentabilidade dos produtos. Assim, disponibilizando um cenário com melhorias ecológicas e sociais. E na maioria das vezes não são suficientes para receberem a designação "sustentável" (DYLLICK; ROST, 2017).

As empresas sustentáveis conseguem prosperar quando afrontam problemas econômicos, sociais e ambientais. No entanto, deve-se vistoriar a conexão entre empresas e os ambientes, para estabelecer tecnologia e métodos para inovação e sustentabilidade, elaborem agregados, onde ofereçam benéficos mútuos (SUN; WU; YANG, 2017).

Empresas que buscam estratégias sustentáveis passam a obter vantagem, movendo uma grande visualização e estimulação de várias direções. Portanto, compensa se reajustar financeiramente para explorar métodos sustentáveis, essencialmente em países em desenvolvimento, onde ocorre um maior incentivo estrutural, promovendo melhor atuação financeira (DANSO et al., 2019)

Fornecedores conceituados de sustentabilidade, adquirem garantias externas para conservar sua credibilidade e legitimidade, onde não há meios de garantias exacerbados. Ao contrário de fornecedores desprovidos de recurso financeiros necessitam de garantias acentuadas, ocasionando em relacionamento nocivos entre as partes interessadas (HUMMEL; SCHLICK; FIFKA, 2019).

O consumo de grande quantidade de produtos que transmitem inúmeros compostos químicos que são absorvidos pelo corpo humano. Assim, encontra-se a necessidade de inovações que proporcionem redução de toxicidade, fornecendo a possibilidade de novos procedimentos aplicados a química verde (VANDENBERG; LUTHI; QUINERLY, 2017).

Para o consumidor final, se não houver uma conscientização na busca por produtos sustentáveis, pode ocasionar em uma visão negativa decorrente dos custos

embutidos. Mesmo que ocorra diminuição impactos ambientais, o preço final pode influenciar, onde a utilização de sistemas de recipientes reutilizável, pode obter um reajuste de 0,06€ por quilograma de produto alimentício, causando um impacto econômico no produto (ACCORSI et al., 2014).

No decorrer dos anos houve grandes mudanças climáticas, forjando aplicações sustentáveis socioambientais, impulsionando elaboração de inovações tecnológicas viabilizando a sustentabilidade. Os produtos sustentáveis apresentam expansão de atributos propícios a melhorar a competitividades dos produtos, como o uso de plásticos verdes, proporcionado a captura de dióxido de carbono e restringindo a emissão gases de efeito estufa (MORAES et al., 2018).

Usuários finais precisam entender o propósito do prolongamento do ciclo de vida dos recipientes de vidros e plásticos usados em alimentos. Portanto, são cruciais e colaboram com aquecimento global, toxicidade humana e marítima, destruição da camada de ozônio (GALLEGO-SCHMID; MENDOZA; AZAPAGIC, 2020).

Com o avanço do desenvolvimento sustentável, empreendedores que buscam financiamentos obtém obstáculos com provedores tradicionais. Obrigando a se juntarem e explorarem novo modelo de financiamento coletivos, para sintetizar barreiras impostas por provedores (BENTO; GIANFRATE; HORST, 2019).

## **2.5 Reciclagem de plástico**

Os resíduos plásticos sólidos (RPS) de polímeros, vem sofrendo um enorme aumento na geração de resíduos, elaborando assim novos desafios, possibilitando explorar vários métodos de reciclagem, fazendo com que modere o número de materiais virgens cooperando com aquecimento global e a sustentabilidade. Assim, viabilizando estudos do reforço de peças metálicas na forma de pó para aprimoramento das propriedades mecânicas. (SINGH et al., 2016).

Uma grande porção de resíduos de plástico e de demolição em países desenvolvidos e em desenvolvimento são produzidos anualmente. Entretanto, abundantes benefícios ambientais e econômicos usam resíduos como material alternativo em construções sustentáveis. Assim, possibilita solucionar imbróglis de aterros sanitários e reduzir significativamente as emissões globais de carbono (ARULRAJAH et al., 2017). A produção de plástico virgem é fabricado principalmente na América do Norte (18%), Europa (19%) e Ásia (50%, com a China respondendo

por 29%) (AMBRIÈRES, 2019).

A reciclagem mecânica e química engloba as opções atuais para reciclagem de polímeros. Os fundamentos desse modelo de reciclagem, atuam com processamento de polímeros em moléculas menores, onde futuramente podem ser reaproveitadas na elaboração de produtos químicos, combustíveis ou plásticos virgens com comportamento igual aos materiais originais (RAGAERT; DELVA; VAN GEEM, 2017).

Com a preocupação com meio ambiente, sucedeu uma procura por novos modelos de reciclagem de lixo eletrônico, onde a reciclagem de plásticos revestidos de metal como o *Compact Disc Read-Only Memory (CD-ROM)*, oferece obstáculos na separação. Portanto, um novo modelo foi desenvolvido através de descargas elétricas pulsadas, garantindo a eficiência na remoção de metal do *CD-ROM*, assim possibilitando a reciclagem dos plásticos (YAMASHITA et al., 2019).

Com auxílio da reciclagem de materiais, geralmente ocorre reduções em algumas propriedades dependendo do material. Então, adição de aditivos procura melhorar as propriedades, tornando-se um método econômico para restabelecer as propriedades mecânicas do poliácido láctico (PLA) reciclado, tornando o método aplicável trazendo benefícios ambientais (BELTRÁN; INFANTE; URREAGA, 2019).

Os resíduos plásticos contaminados e diferentes tipos de material misturados, acarretam em custo na reciclagem em comparação com o método de incineração que prejudica o solo. No processo de reciclagem obtém-se alguns obstáculos no consumo de energia em modelagem por injeção, custos na separação de materiais e diferença de vida útil entre virgem e reciclado. Portanto, necessita de revisão nas taxas de benefícios de reciclabilidade (HUYSVELD et al., 2019).

O plástico vem se tornando vital atualmente, onde há uma grande preocupação com a reciclagem, proporcionando séries de benefícios operacionais e econômicos. Portanto, reduz a dependência de materiais virgem e combustíveis fósseis (AL-SALEM, 2019).

Uso de resíduos de termoplásticos adicionados em tijolos, estimula uma reciclagem sustentável, proporcionando tijolos leves, porosos e de alta resistência térmica características propícias a construção civil. Dependendo da porcentagem de material plástico, sua resistência térmica melhora devido a quantidade de espaços vazios (MONDAL; BOSE; BANSAL, 2019).

Os resíduos plásticos apresentam grupos com características físicas, químicas

e técnicas peculiares, contemplando diversos métodos de reciclagem de matérias. Principalmente em materiais contendo impurezas onde necessita de um processo exclusivo (FARACA; ASTRUP, 2019).

Com o estudo exploratório em escala laboratorial, observou-se a reciclagem automatizada de resíduos plásticos aplicado a tecnologia espectroscopia no infravermelho próximo. Há falta de utilização de soluções químicas no processamento, proporciona a redução com custo tornando economicamente viável (LI et al., 2019).

A importância de criar um círculo fechado é o impulsionamento de uma economia circular, observada no estudo de celulose de lodo recuperada, demonstrou economia de 15% de fabricação e 5,26% eficaz em relação a ecoeficiência em comparação com o compósito plástico de madeira (ZHOU et al., 2019).

Foi aplicado um estudo em treze municípios no estado de São Paulo e notou-se a importância na elaboração de novas pesquisas que são cruciais para reduzir os impactos da escassez de agregados naturais. Constatou-se, a devida importância da reciclagem de aços, vidros e plásticos impactando em “Inorgânicos Respiratórios” e “Aquecimento Global” (PEIXOTO et al., 2019).

A utilização de algoritmos, atuando juntos com plataforma on-line, foi desenvolvida para buscar a conscientização dos consumidores em suas respectivas escolhas podem impactar no meio ambiente. Como também, melhora a qualidade de vida e evita que toneladas de resíduos plásticos sejam despejados no mar, ar e solo (DEMICHELIS et al., 2019).

As indústrias de reciclagem de plásticos devem obter consolidações e eficiência no mercado, onde os recicladores possam buscar métodos para aumentar a substituição de plástico virgem por plásticos reciclado (PR), os reguladores sejam capazes de formularem produtos que incluem PR e os consumidores procurarem pressionar o mercado através de boicotes em produtos não sustentáveis (AMBRIÈRES, 2019).

## **2.6- Polietileno**

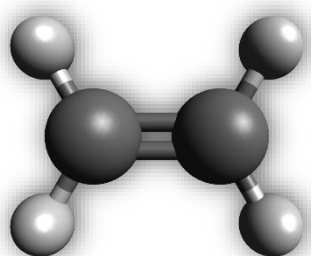
A empresa *Imperial Chemical Industries (ICI)*, foi a criadora do polímero PE inopinadamente nos anos de 1932-1935, classificado como o polímero quimicamente mais simples, representado na Figura 1, o monômero de eteno, que suas reações químicas de polimerização por adição e desenvolvido polietileno. Na Figura 2

podemos observar o mero, que se trata da unidade de repetição do polietileno e na Figura 3 a cadeia de polietileno.

Atualmente é o polímero mais utilizado na rotomoldagem, devido suas propriedades mecânicas e custos por ser um termoplástico que pertence ao grupo das poliolefinas mais frequente no mercado (NUGENT, 2019). O PE possui algumas variações e nomenclaturas diferentes como: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno linear de baixa densidade (PELBD), polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD).

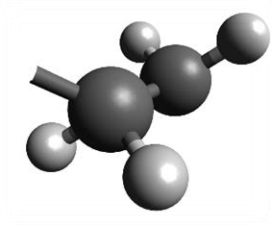
O polímero PEAD é um dos materiais a ser usado na produção dos blocos, desfrutando de baixo número de ramificações, alta densidade em comparação com outros PE, sua temperatura de fusão é aproximadamente entre 130 a 135, resistente a altas temperaturas, possui Alta resistência (tensão, compressão e tração) e tem baixa densidade em comparação com metais e outros materiais.

Figura 1 – Monômero Eteno.



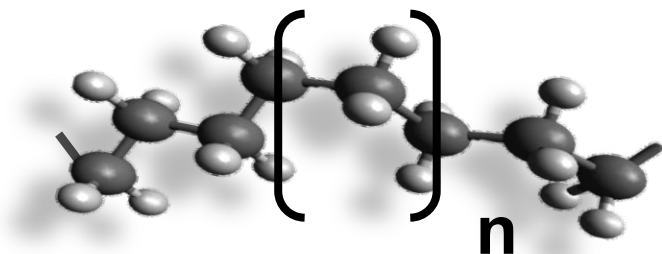
Fonte: Elaborado pelo autor no programa *Avogadro* (versão gratuita).

Figura 2 – Mero do Polietileno.



Fonte: Elaborado pelo autor no programa *Avogadro* (versão gratuita).

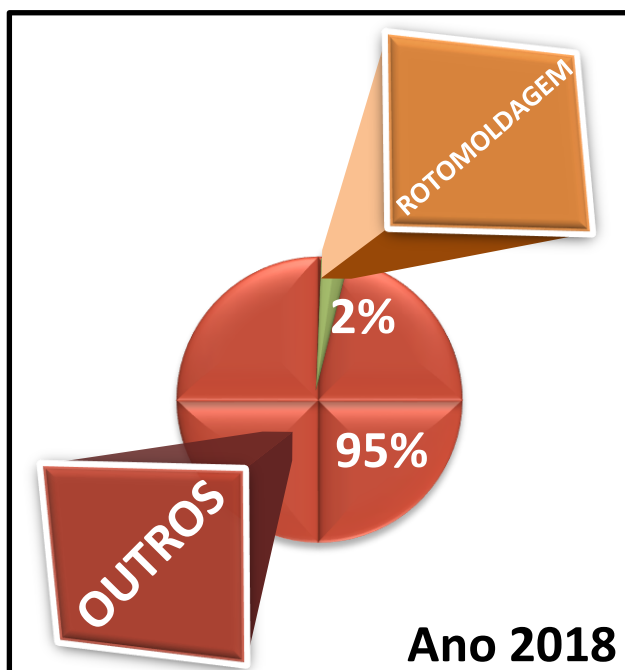
Figura 3 – Cadeia de Polietileno



Fonte: Elaborado pelo autor no programa *Avogadro* (versão gratuita).

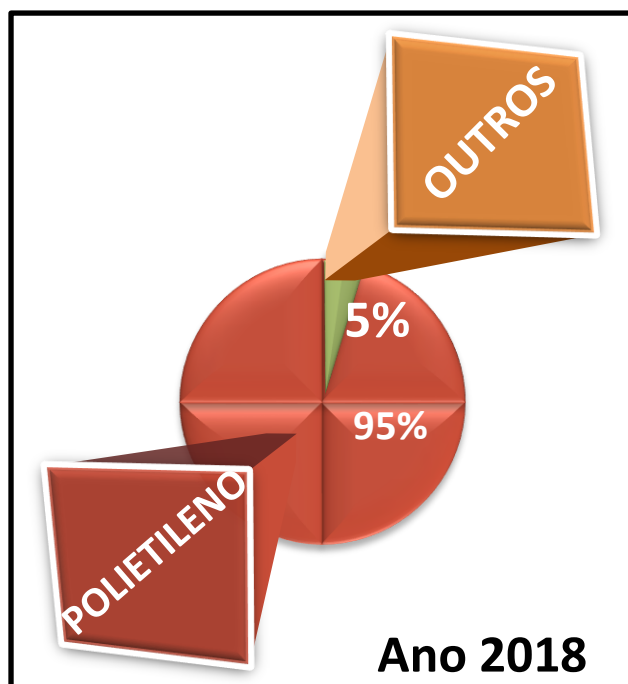
Estima-se cerca de noventa e oito milhões de toneladas de polietileno em 2018 no mercado, apenas dois por cento deste montante foi destinado no processo de rotomoldagem como podemos observar na Figura 4 (NUGENT, 2019). Um número preocupante devido a dependência do polietileno como demonstra a Figura 5, com percentual de 95% de material usado na rotomoldagem e cinco por cento os demais materiais (QUARATINO, 2019). Os designs que utilizam o processo de rotomoldagem para criação de suas peças são dependentes do polietileno, pois é mais resistente a raios ultravioleta (UV), menos porosa e fácil de limpar, permite manter custo baixo com produtos eco-amigável com por cento reciclável e com sustentabilidade ambiental (PAOLI, 2019).

Figura 4 - Porcentagem de 2% polietileno destinado a rotomoldagem em 2018.



Fonte: NUGENT, (2019).

Figura 5 - Porcentagem de 95% de polietileno usado em rotomoldagem em 2018



Fonte: QUARATINO, (2019).

O uso de fibra de sisal em PEAD, traz ganhos a resistências a tração, devido sua sobreposição das extremidades da fibra de sisal não exceda 11 mm, onde a utilização de feixes de fibra de sisal orientados foram incorporados entre duas camadas de filmes em matriz de PEAD (DUN et al., 2019).

Para cada cadeia polimérica existe uma maneira de organização, portanto o polietileno contem cadeia linear e anel. Assim, oferece diferenças nos limiares de temperaturas no processo de fundição polietileno. Observando-se que o linear possui tempo de relaxamento longo em correlacionado ao anel de polietileno, correspondente a decorrência dos extremos da cadeia linear. (HAGITA; FUJIWARA; IWAOKA, 2019).

Em mistura de polímeros quando ocorre adversidade em algum componente que engloba grupos reativos. Há a necessidade de estratégias de compatibilização reativa para estimula novas alternativas no aprimoramento de misturas imiscíveis, como blendas de poli (fluoreto de vinilideno) / polietileno de baixa densidade das quais ambos os componentes não contêm grupos reativo (WEI et al., 2019).

Para absorver melhor a compreensão da relação estrutura-mecânica de polímeros semicristalinos como PEAD, podemos aplicar o método de difração de raio X para caracterizar o estado de tensão microscópica do cristal embasado na distorção



da rede cristalina. Portanto, podemos utilizar este método difundir em outros materiais poliméricos (WANG et al., 2019b).

Métodos alternativos estão sendo usados agregados a uma técnica de análise de degradação de material. O método de sonda fluorescente colabora no avanço de empregos de modelos de progressão de degradação (SAGO, 2019).

Em estudos com nanopartículas magnéticas de pó de Fe@Au imobilizadas na superfície de um filme de polietileno tratado com plasma, demonstra que polietileno tratado com plasma de ar apresenta uma alteração expressiva em sua morfologia e uma oxidação avultada na superfície do polímero (KVITEK et al., 2019).

O polímero polietileno comercial foi adicionado unidades de anidrido maleico forma fácil e prática, obtendo efeitos pujantes e expressivos no aprimoramento de polietileno por intermédio por extrusão reativa. Este método que foi adaptado no polietileno, pode ser aplicado em outros termoplásticos (ZYCH et al., 2019).

Uma vasta preocupação com detritos plásticos despejados nos oceanos onde manifesta apresenta uma profunda gama de metais tóxicos. Ainda que estejam elaborados para que não ocorra uma liberação metais ao longo do uso, devemos nos preocupar com esses metais incorporados nos plásticos, causando afligis relacionados a saúde e ambientais (PRUNIER et al., 2019).

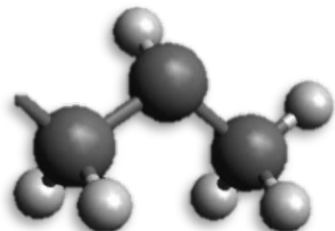
## 2.7 Polipropileno

O polipropileno foi produzido em 1954, onde-se deu início de sua comercialização pela empresa Montecatini, na cidade de Ferrara na Itália. Em 1957, sua produção passou por florescimento progressivo. Devido, afeição pelo polímero PP comercial, por causa de exigências do mercado por produtos de melhor qualidade e preços de commodities. Em 2002, o número de países envolvidos na produção de PP avolumou-se para 48 e acumulando 180 fabricas espalhadas pelo mundo. O Brasil sendo incluído nos países produtores e consumidores, passou a consumir cerca 23% dos termoplásticos consumidos pelo mundo.

O polímero termoplástico PP faz parte da classe das poliolefinas, manufaturado a partir de reações químicas de polimerização por adição de monômero de propileno onde podemos observa na Figura 6, a Figura 7 o mero do polipropileno e na Figura 8 cadeia de polipropileno com sua forma molecular  $(C_3H_6)_n$ . Sua de temperatura de transição vítrea é próxima de  $-20\text{ C}^\circ$ , seu ponto de fusão possui uma faixa de

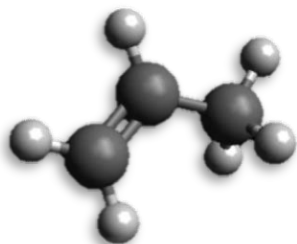
temperatura de 130-176 C°.

Figura 6 – Monômero propileno



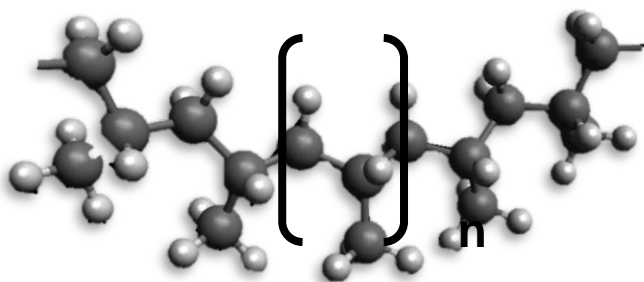
Fonte: Elaborado pelo autor no programa *Avogadro* (versão gratuita).

Figura 7 - Mero do polipropileno



Fonte: Elaborado pelo autor no programa *Avogadro* (versão gratuita).

Figura 8 – Cadeia de Polipropileno



Fonte: Elaborado pelo autor no programa *Avogadro* (versão gratuita).

Um recente método de aperfeiçoamento de interação interfacial em compósitos de polipropileno-alumina para nuclear cristais lamelares na interface utilizando nanotubos de carbono (SWNT) de parede única. Portanto, abruptamente seu comportamento morfológico e de nucleação de intensificação de cristais de

polipropileno isostático-SWNT não obteve anomalias infortunas, independentemente da superfície do substrato de alumina esta adstrito os SWNTs (FAUST et al., 2019)

O polímero polipropileno isotático (iPP) apresenta proeminência na rigidez do plano de fase cristalino em relação ao PE. Observado através do método de homogeneização, dois laminados sobrepostos perpendiculares entre si, fazendo com que ocorra nessa região uma nucleação de cristais nupérrimos, devido a interface do  $\alpha$ -cristal. (GLÜGE et al., 2019).

A utilização do pó de casca de ostra tratada termicamente (TTOSP) pode ser veemente aditivo e agente antibacteriano para manufatura de biopolímeros. Através de avaliações antibacterianas e testes calorimétrico demonstram uma melhoria prudente com o incremento de TTOSP em polipropileno modificado, ocasionado dilatação na taxa de crescimento relativo e atividade antibacteriana.(TSOU et al., 2019).

O uso do poli(etileno-co-1-octeno) (POE) e PEAD para endurecer o polipropileno orientado preparado por estampagem. Proporcionou um intenso aumento a resistência ao impacto e seu modelo cristalino não foi comprometido devido minguamento do grau de cristalinidade com a adição dos polímeros propostos nesse estudo (WU et al., 2019).

## **2.8 Rotomoldagem**

### 2.8.1 Processo

Rotomoldagem também conhecido como moldagem rotacional ou fundição rotacional é denominado pelo processo de moldagem de termoplásticos. Portanto, o processo de produção peças é indicado para empresas com baixo custo de investimento. Os sistemas com polímeros em forma de líquidos podem otimizar o processo de rotomoldagem, devido o curto espaço de tempo de aquecimento e resfriamento (OGILA et al., 2017).

A incoação da moldagem rotacional de plásticos é congruente simples com todo seu processo, estabelecendo uma chave para o sucesso, pois proporciona controle nas dimensões e propriedades das peças para o moldador (CRAWFORD; GIBSON, 2006).

A moldagem rotacional precípua na inserção de termoplástico em geral na forma de pó ou granulado. Neste caso, o material é instruído a movimentação na parte interna do molde. Posteriormente, ocorre o aquecimento e movimentação dinâmica simultaneamente em torno de dois eixos principais, também conhecido de rotação biaxial e o polímero inserido no molde agarra formando uma camada na superfície interna. A rotação continua durante a fase de resfriamento, de modo que o plástico retém a forma desejada à medida que se solidifica (CRAWFORD; GIBSON, 2006).

A Figura 1 ilustra o processo de rotomoldagem, com seus quatro passos deste ciclo de processamento: a) carregamento, b) aquecimento e rotação, c) arrefecimento do molde e d) desmolde da peça. O carregamento do molde ocorre a alimentação de matéria-prima, geralmente em forma de pó ou micronizada, no interior do molde metálico, onde na Figura 9 a), observamos o material sendo despejado em forma de pó.

O aquecimento e rotação do molde ocorre no forno aquecido e com movimentação biaxial resultando em aquecimento uniforme. Quando o material atinge acima de sua temperatura de transição vítrea o material se torna líquido viscoso e acaba escoando, fazendo com que o material consiga aderir o molde devido ao amolecimento do polímero representada na Figura 9 b).

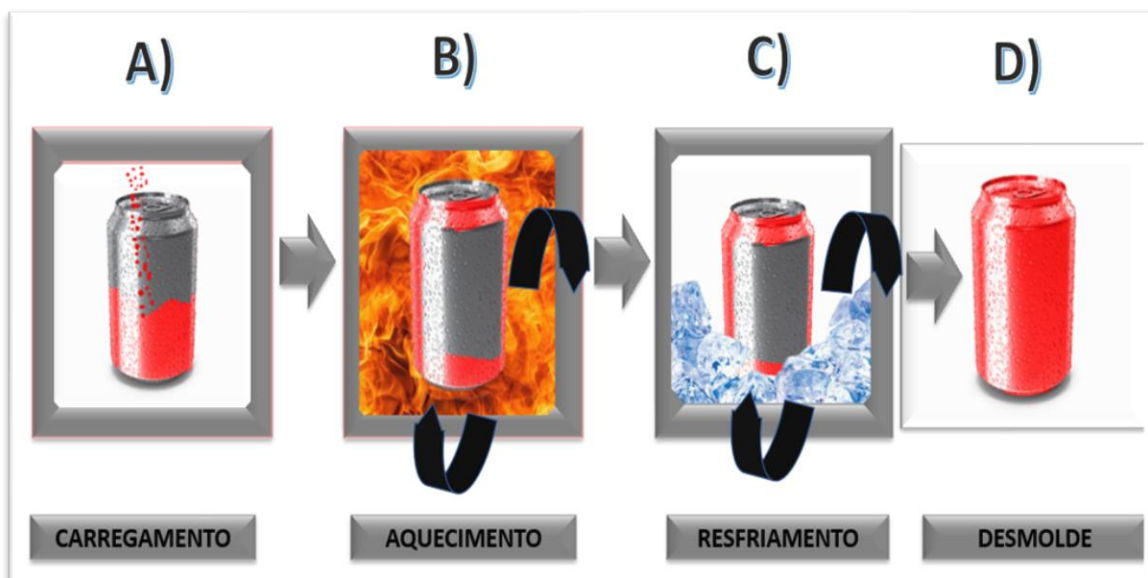
Após atingir a temperatura de fusão, o material começa a se fundir acarretando em bolhas de ar no material devido aprisionamento de ar misturados ao material. Para que a fusão do material seja completa e as bolhas desapareçam é necessário que se prossiga com aquecimento, para que ocorra uma redução na viscosidade, liberando as bolhas de ar com maior facilidade através do processo de sinterização, tornando possível a difusão de gases arrastados para fora do polímero fundido através de uma temperatura superior a de fusão do material (HAMIDI et al., 2016).

Em seguida ocorre o arrefecimento da peça como podemos observar na Figura 9 c), que ainda em movimentação biaxial acontece um resfriamento gradual podendo ser realizado em temperatura ambiente, jatos de ar e jatos de água. Quando ocorre resfriamento lento em materiais como polietileno semicristalinos, ocasiona em tempo hábil para formação dos cristais, fazendo com que aconteça um alto nível de cristalinidade alcançado graças ao arrefecimento lento (CHARMEAU et al., 2017).

O último passo será a desmoldagem demonstrada na Figura 9 d), onde acontece a injeção das peças. Para peças rotomoldadas com polietileno, a remoção pode ser iniciada com uma temperatura próxima de 60 °C (UEKI; PISANU, 2007). Este

processo geralmente é executado manualmente, fazendo que a peça seja removida do interior do molde, deixando-o livre para retornar ao ciclo de moldagem rotacional.

Figura 9 - Processo de rotomoldagem



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Em 2018 ocorreu dez eventos sobre rotomoldagem em cinco continentes com mil participantes, a comunidade mundial de moldadores está prosperando através de redes de comunicação específica, fortalecendo a comunidade compartilhando informações e tecnologias recentes aos seis continentes. Vem crescendo nas últimas décadas o número de moldadores e ocorrendo mudanças em regiões em países como Índia, China e Brasil. A Figura 10 demonstra uma estimativa do número de empresas especializadas em rotomoldagem com quatrocentas na América do Sul, quatrocentas e trinta na América do Norte, quatrocentas e cinquenta Europa, oitenta na África, um mil quatrocentas e sessenta Ásia e duzentas na Australásia totalizando número total de empresas especializadas em rotomoldagem com três mil e vinte pelo planeta (NUGENT, 2019).

Figura 10 - Número total de rotomoldadores no planeta.



Fonte: NUGENT, (2019).

Embora a escassez de dados térmicos exatos, devido sua rotação bi-axial no ciclo de aquecimento na rotomoldagem. Portanto, requer uma previsão confiável de espessura para diferentes temperaturas e horários do processo para desligar o forno. Usando um software de análise COMSOL, foi analisado um produto de espessura 5mm requer um tempo total de ciclo de aquecimento de 24,5 minutos. (RAMKUMAR et al., 2015).

As fibras naturais de agave, coco e pinho manipulada superficialmente com polietileno com anidrido maleico (MAPE) para aprimorar as propriedades mecânicas dos compósitos de fibras naturais processados por rotomoldagem é usada para adicionar um número maior de fibra no compósito. Dessa forma, foi observado que as fibras de agave e coco reagirão melhor que as fibras de pinho por causa de sua composição química (GONZÁLEZ-NÚÑEZ et al., 2016).

Podemos aplicar modelos para alcançar a qualidade desejada do molde, como no estudo que foi aplicado um algoritmo para identificar subespaços em lote em um controlador preditivo de modelo orientado a dados. Ocasionalmente em qualidade, tolerâncias nas medidas entre lotes diferentes e eficácia padronizada dos produtos. (GARG et al., 2019).

O envelhecimento termo-oxidativo do polietileno no processo de rotomoldagem, foi proposto o uso de antioxidante em polietileno, resultando em ampla faixa de temperatura antes que os antioxidantes sejam consumidos no processo de rotomoldagem (CHEN et al., 2019a).

O uso de polietileno com fibra natural através do processo de rotomoldagem

apresenta alguns obstáculos na fusão dos materiais. Então foi proposto um tratamento com plasma na superfície do polímero, ocasionando upgrade na união dos materiais, propriedades mecânicas e resistência a umidade (SASIDHARAN et al., 2019).

Através das ferramentas computacionais *solidworks* e desenho assistido por computador (CAD) foi possível modelar e simular uma máquina de rotomoldagem para proporcionar tarefas a longo prazo, medições de posicionamento dos moldes entre os eixos e distribuição real do material no molde (CANO-RUIZ et al., 2019).

Com a adição de material, podemos mudar completamente as propriedades em comparação com os puros, portanto necessita de atenção especial na elaboração. Em um processo de rotomoldagem foi adicionado ao PLA 20% em peso de cardanol para plastificação, ocasionando redução na faixa de temperatura da transição vítrea do PLA e o grau de cristalinidade não obteve crescimento (GRECO; FERRARI; MAFFEZZOLI, 2019). Sendo assim, devemos focar no objetivo desejado para desenvolver o composto com as propriedades desejadas.

A rotomoldagem foi aplicada na fabricação de multicamadas em peças de polietileno e poliuretano termoplástico incompatíveis em relação a adesão específica. Resultando na constatação em que a força de ligação avulta conforme a espessura entre as camadas cresce e em faixas de temperaturas mais altas ou em processamentos mais longos. (LÖHNER; DRUMMER, 2016).

O processo de rotomoldagem foi usado para melhorar a adesão interfacial usando o enxerto de anidrido maleico em PLA (MAPLA) em biocomposito de fibras PLA-agave, melhorando as propriedades físicas, mecânicas e térmicas através de melhor junção dos materiais devido o MPLA na superfície de fibras de agave (GONZÁLEZ et al., 2019).

Existem algumas variáveis na rotomoldagem, a temperatura, o tempo de aquecimento e o modelo de arrefecimento são os fatores significativos durante o processo de rotomoldagem, causando impactos na qualidade da peça (LUCAS et al., 2019) .

Dependendo do tempo de aquecimento pode causar danos a peça, caso a faixa de tempo de aquecimento for pequena, ou seja, insuficiente. Fragmentos do material não tem tempo hábil para se fundir e a peça irá apresentar falhas em sua formação. Caso a faixa de temperatura for alta, corre o risco de ocorrer uma degradação, ocasionando na produção de hidroperóxido, chegando a mudanças na cor da peça (LUCAS et al., 2019)

Através da inserção de fibra de PEUAPM na produção de um polietileno homocompósito produzido pelo processo de moldagem rotacional, mostrou-se ser mais rígido que o polietileno reforçado com fibra de vidro, aproximadamente cerca de 200%, devido a fração de fibra, que não influenciou no peso do compósito gerado (GRECO et al., 2019).

Na produção de um compósito a base de policaprolactona (PCL) e reforçado com microesferas de ocas de vidro. Podemos observar esta aplicação sendo usada no processo de rotomoldagem, apresentando uma saída interessante para reforço mecânico, redução de peso e aperfeiçoamento estético (VIGNALI et al., 2019).

Em um método experimental foi analisado a influência do vácuo no processo de rotomoldagem, onde foi possível observar o aumento nas propriedades mecânicas, a redução no ciclo de produção e peças menos porosas sem exigências de espera. As mudanças ocorreram devido a influência da pressão aplicada a vácuo (VETTER et al., 2019).

A degradação pode ocorrer na superfície interna das peças, formando grupos carboxílicos e éster, devido a influência de insaturações de carbonila. A morfologia da superfície interna pode apresentar variação de dilatação dos esferulitos e redução de porcentagem de cristalinidade, causados pela oxidação (CHEN et al., 2019a)



## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Materiais**

#### **3.1.1 Polipropileno**

Polipropileno pós-consumo na forma recipiente de garrafa proveniente de água mineral na cor azul, oriundos de doações e coleta seletiva no Laboratório de Eco-compósito da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA, onde passou por um moinho de facas até chegar em forma de flocos.

#### **3.1.2 Polietileno de alta densidade**

Polietileno de alta densidade pós-consumo na forma de garrafa de embalagem proveniente de álcool na cor branca, oriundas de doações e coleta seletiva no Laboratório de Eco-compósito da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA, onde passou por dois moinhos de facas até chegar em forma de pó.

### **3.2 Métodos**

#### **3.2.1 Revalorização de matéria prima**

##### **3.2.1.1 Revalorização do PP**

A revalorização das poliolefinas de PP, será feita através de garrafas de polipropileno pós-consumo que foram coletados pelo grupo de pesquisa Eco-Compósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Realizou-se uma limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos. Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas serão submetidas a um Moinho de facas Modelo NFA-1533 da RONE ilustrado na Figura 11, para finalizar o processo de revalorização dos polímeros.

Figura 11 - Moinho de facas modelo NFA-1533 da RONE.



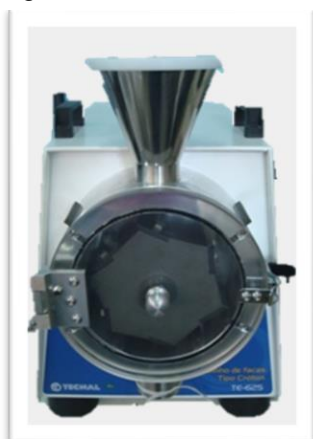
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 3.2.1.2 Revalorização do PEAD

A revalorização das poliolefinas de PEAD, será feita através de recipientes de álcool de polietileno pós-consumo que foram coletados pelo grupo de pesquisa Eco-Compósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA. Onde realizou-se uma limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos.

Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas serão submetidas a um moinho de facas Modelo NFA-1533 da RONE ilustrado na Figura 11, em seguida vão ser submetido a outro moinho de facas Moinho de facas tipo Cróton TE-625 da TECNAL ilustrado na Figura 12, para finalizar o processo de revalorização.

Figura 12 - Moinho de facas Tipo Cróton TE-625 da TECNAL



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 3.2.2 Modelagem tridimensional

Esta etapa contempla o desenvolvimento da modelagem tridimensional através do uso de recursos computacionais no programa *SketchUp Free*, para facilitar a confecção dos modelos das peças e moldes. Assim, ocasiona uma confiabilidade, visualização, movimentação em 360° e antecipação de possíveis erros, acarretando economia de tempo e material.

#### 3.2.2.1 Modelagem tridimensional do bloco

Com auxílio do programa *SketchUp*, foi possível fazer a modelagem dos blocos, com suas respectivas formas, cavidades e devidas medida.

#### 3.2.2.2 Modelagem tridimensional do molde

Com auxílio do programa *SketchUp*, foi possível fazer a modelagem dos moldes, com suas respectivas formas, com ou sem cavidades e devidas medida.

#### 3.2.2.3 Modelagem tridimensional de uma parede com os blocos

Com auxílio do programa *SketchUp*, foi possível fazer a modelagem das paredes possibilitando conter informações sobre número de blocos em determinada área e visualização de encaixes conectados.

### 3.2.3 Confecção dos moldes

#### 3.2.3.1 Confecção do molde de aço inox

Foi usada uma chapa de aço inox de 3 mm pós-consumo para confecção do molde, após a modelagem em 3D para confirmação de mediadas foi possível confecciona-lo com duas cavidades macho e duas fêmeas para ocorre o acoplamento das peças rotomoldadas, para vedação dos blocos foi utilizado parafusos de aço inox

para facilitar abertura em respectivo ciclo de processamento de moldagem rotacional (carregamento, aquecimento, resfriamento e desmoldagem).

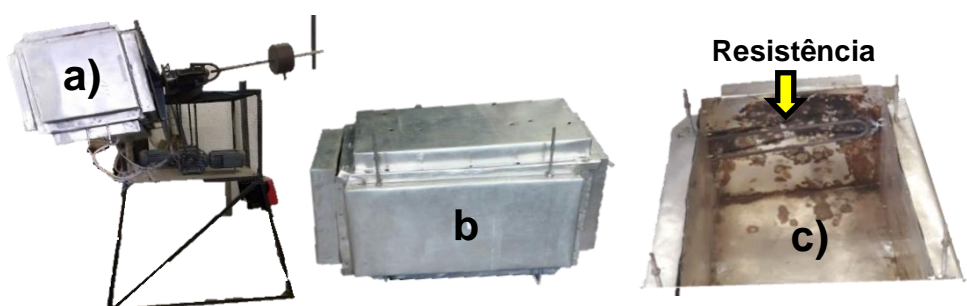
### 3.2.3.2 Confeção do molde de alumínio

Foi usada uma chapa de alumínio de 1,5 mm para confecção do molde, após a modelagem em 3D para confirmação de mediadas foi possível confecciona-lo sem as cavidades macho e fêmea, para vedação dos blocos foi utilizado os mesmos parafusos usados no molde de aço inox para facilitar abertura em respectivo ciclo de processamento de moldagem rotacional (carregamento, aquecimento, resfriamento e desmoldagem).

### 3.2.4 Rotomoldagem

Uma máquina de moldagem rotacional em escala de laboratório foi utilizada para o processamento dos blocos, equipado para adaptação de moldes conforme a necessidade do tamanho da peça ilustrada na Figura 13 a). As velocidades de rotação biaxial podem variar independentemente de 1 a 20 rpm nos dois eixos e foi utilizada em ambas poliolefinas 6 rpm para rotação e 9 rpm translação. O forno listrado na Figura 13 b) é aquecido por resistências elétricas listrado na Figura 13 c), o molde é colocado no forno com aquecimento de acordo com a temperatura de fusão do polímero inserido. O tempo total de processamento foi de 50 minutos de aquecimentos e 30 minutos de resfriamento. Após o ciclo de aquecimento, o resfriamento é iniciado com a rotação biaxial ainda em funcionamento até a cair para 60 °C e a peça ser desmoldada.

Figura 13 - Máquina de rotomoldagem a) máquina de rotomoldagem b) forno c) resistência elétrica do forno



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 3.2.5 Microscopia óptica

Foi usado um microscópio óptico Axiocam 105 color do fabricante ZEISS ilustrado na Figura 14 para colher as imagens dos polímeros pós consumo revalorizados de PP e PEAD usados na rotomoldagem dos blocos, onde foi utilizado o software ImagJ para calcular o tamanho médio do polímero após a revalorização, devido conter formatos e tamanhos diferentes. Podendo apreciar este método para observação de superfície de camada que contém grãos de formato irregular, proporcionando calcular o tamanho médio usando o ImagJ (RAFIEIPOUR; GHASEMPOUR; PARSANASAB, 2019).

Figura 14 - Microscópio óptico Axiocam 105 color do fabricante ZEISS.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 3.2.6 Densidade – Método do Picnômetro

As amostras foram obtidas de poliolefinas pós-consumo revalorizadas e suas análises foram conduzidas no Laboratório de Eco-compósito da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA. O ensaio foi utilizado para determinar a densidade do sólido: Para a medição da densidade foi utilizado um picnômetro de 25 ml, previamente limpo e seco ilustrado na Figura 15; pesar a amostra em uma balança ( $m_1$ ) referente a massa da amostra sólida; medir a temperatura da água; pesar o picnômetro cheio de água destilada e com a sua tampa ( $m_2$ ) referente a massa do

picnômetro + água destilada; retirar a tampa e colocar a amostra dentro do picnômetro, onde conseqüentemente a água vai transbordar e precisará completar o nível de água até a borda superior do picnômetro, tampar o picnômetro e pesá-lo assim carregado ( $m_3$ ) referente massa do picnômetro + amostra + água destilada; calcular a massa de água deslocada pela amostra ( $m$ ) é dada pela equação (1); calcular o volume ( $V$ ) da amostra é igual ao volume da água deslocada onde é dado na equação (2); calcular a densidade do sólido onde é dado na equação (3);

Figura 15 - Picnômetro de 25 ml



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

$$m = (m_1 + m_2) - m_3 \quad (01)$$

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{água}}} \quad (02)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (03)$$

### 3.2.7 Difração de raio – X

A análise de Difração de Raios – X (DRX) foi realizada nas amostras de PEAD e PP no Laboratório de Ecocompósito do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPA através de um difratômetro modelo D2 Phaser – Bruker em temperatura ambiente, utilizando radiação Cu ( $K\alpha=1,540598 \text{ \AA}$ ), a fonte de raio – x foi ajustada a uma tensão de 30 kV e uma corrente 10 mA, seu intervalo de varredura angular ( $^{\circ}2\theta$ ) =  $5-60^{\circ}$  com filtro  $K\beta$  de Ni. A coleta do difratogramas foi realizada com passo angular

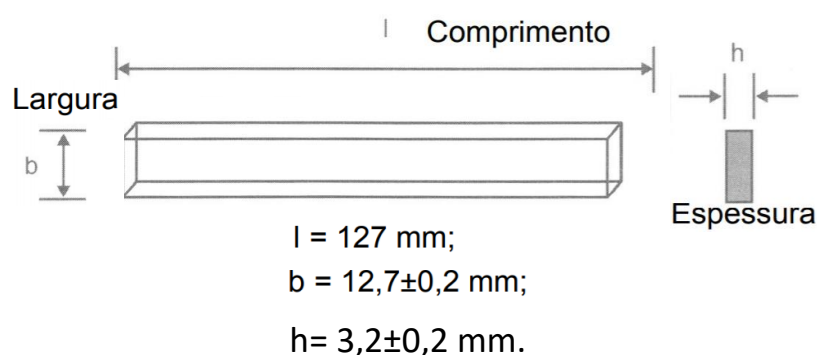
de 0,02° e tempo por passo 0,3s.

### 3.2.8 Ensaio mecânicos

#### 3.2.8.1 Ensaio de flexão

As propriedades de flexão deste material foram medidas seguindo adaptação da norma<sup>1</sup>, por causa do material ensaiado apresentando porosidade com espaços vazios funcionais, havendo espaços intersticiais entre sua estrutura. Foi usando as medidas dos corpos de provas e os procedimentos para o ensaio. Esta norma particular estipula o uso de flexão de três pontos, os corpos rotomoldados foram submetidos a testes de flexão à velocidades de 10 mm.mim<sup>-1</sup> (JIANG et al., 2017), 5 mm.mim<sup>-1</sup> (RAZAK; KALAM, 2012) e 2 mm.mim<sup>-1</sup> (SINGH et al., 2014), as amostras foram confeccionadas com 12,7 mm de largura, 3,2 mm de espessura e 127 mm de comprimento como podemos observar na Figura 16 (BEHAZIN et al., 2018), foram testadas os lados da superfície externas e com 21 amostras de cada tipo de polímero dividido de acordo com as velocidades totalizando 7 corpos de provas validos para cada velocidade. O teste foi realizado na máquina de ensaio universal modelo DL-500 da EMIC, pertencente ao Laboratório de Ecocompósito do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPA com suportes de diâmetro de 12,7 mm.

Figura 16 - Medidas do corpo de prova da norma ASTM D790-17.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

<sup>1</sup> ASTM D790-17 - Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International.

### 3.2.8.2 Ensaio de Impacto

O ensaio de resistência ao impacto foi realizado em um equipamento fabricado pela empresa Gunt Hamburg modelo WP 410 com capacidade de trabalho de 300Nm, martelo com peso de 19,8 kg, velocidade de impacto 5,5 m/s, comprimento do pêndulo de 840mm, ângulo de queda de 150° e suportes para amostras com abertura de 40mm, adaptado a norma <sup>2</sup>, por causa do material ensaiado apresentando porosidade com espaços vazios funcionais, havendo espaços intersticiais entre sua estrutura. Foi usado as medidas dos corpos de provas e os procedimentos para execução do ensaio tipo impacto Charpy (SASIDHARAN et al., 2019) e (SHOKRIEH; JONEIDI, 2015), a parte externa do bloco que recebeu o impacto do martelo e como o material usado é frágil não houve a necessidade de fazer o entalhe no corpo de prova. Foram ensaiados 14 corpos de prova 7 polietilenos e 7 polipropilenos. O objetivo é avaliar e compara com outras pesquisas, os efeitos de resistência dos blocos com as respectivas poliolefinas.

### 3.2.9 Ensaio para certificação do material conforme adaptação da norma ABNT NBR<sup>3</sup> e ABNT NBR<sup>4</sup>.

Com o desenvolvimento do bloco ecológico, houve a necessidade de adequação as normas brasileiras para uma possível certificação relacionadas a blocos com material polimérico, devido não dispor de uma norma específica ao material em nosso estudo, houve a necessidade de uma adaptação de norma para material de componentes cerâmicos relacionados a blocos e tijolos para alvenaria usando os requisitos e métodos para os ensaios.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) age com incumbência de ser o Fórum Nacional de Normalização. No entanto, a ABNT NBR 15270 foi formulada no Comitê Brasileiro de Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudo de Componentes Cerâmicos - Blocos (CE-02:101.01). Com propósito arquitetar métodos

---

<sup>2</sup> ASTM D6110-18 - Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics

<sup>3</sup> NBR 15270-1:2017 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos.

<sup>4</sup> NBR 15270-2:2017 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios.



para aplicação dos ensaios dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação.

Os métodos ajudam a identificar através dos ensaios dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação, a verificação das conformidades dos blocos, com o propósito de caracterização, aceitação ou rejeição, de acordo com às NBR 15270-1:2017 e ABNT NBR 15270-2:2017.

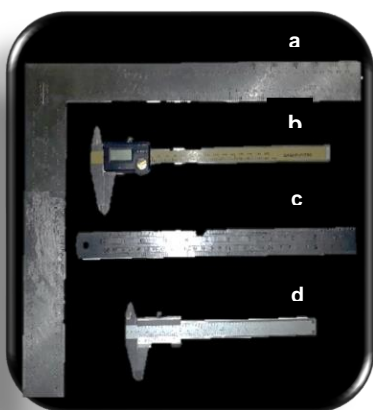
Para poder avaliar os blocos cerâmicos necessita fazer os seguintes ensaios:

- Determinação das características geométricas, onde será analisado os valores das dimensões das faces, espessura dos septos e paredes externas dos blocos, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces;
- Determinação das características mecânicas, será avaliado a resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação.

### 3.2.9.1 Determinação das características geométricas

A norma ABNT NBR 15270-2 estabelece os métodos para a execução dos ensaios dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação. O objetivo é prescrever o método de ensaio para determinação das características geométricas. Para execução dos ensaios necessita de alguns instrumentos como: paquímetro com sensibilidade mínima de 0,05 mm, régua metálica com sensibilidade mínima de 0,05 mm, esquadro metálico de  $90 \pm 0,5^\circ$  ilustrado na Figura 17 e balança com resolução de até 10 kg.

Figura 17 – Instrumento de medições para os ensaios: a) esquadro metálico de  $90 \pm 0,5^\circ$ , b) paquímetro, c) régua metálica com sensibilidade mínima de 0,05 mm e d) paquímetro.



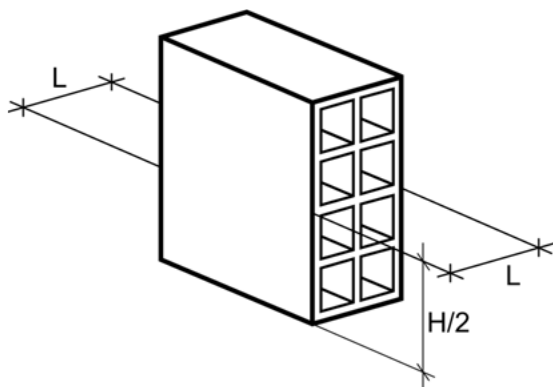
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Todos os corpos-de-prova devem ser recebidos, identificados, limpos, ter as rebarbas retiradas e colocados em ambiente protegido que preserve suas características originais. Cada corpo-de-prova é constituído por um bloco principal, íntegro e isento de defeitos.

### 3.2.9.1.1 Determinação das medidas das faces – Dimensões efetivas

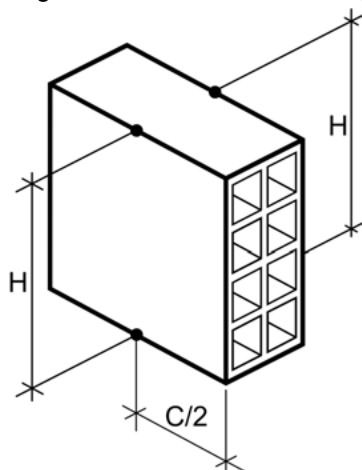
Para execução do ensaio os blocos devem ser colocados sobre uma superfície plana e indeformável. Os valores da largura (L), altura (H) e comprimento (C) são obtidos fazendo-se as medições nos pontos indicados nas figuras 18, 19 e 20.

Figura 18 - Pontos indicados para efetuar as medições da largura (L) nos blocos.



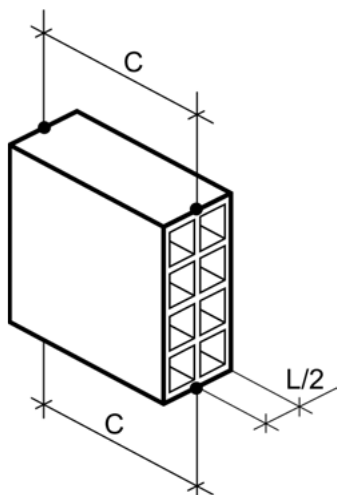
Fonte: ABNT NBR 15270-2:2017.

Figura 19 - Pontos indicados para efetuar as medições da altura (H) nos blocos.



Fonte: ABNT NBR 15270-2:2017.

Figura 20 - Pontos indicados para efetuar as medições do comprimento (C) nos blocos.



Fonte: ABNT NBR 15270-2:2017.

No Quadro 1, são especificadas as tolerâncias quanto as medidas das análises geométricas conforme a NBR 15270.1 (2017).

Quadro 1 - Tolerância das amostras exigido pela NBR 15270-1,2017.

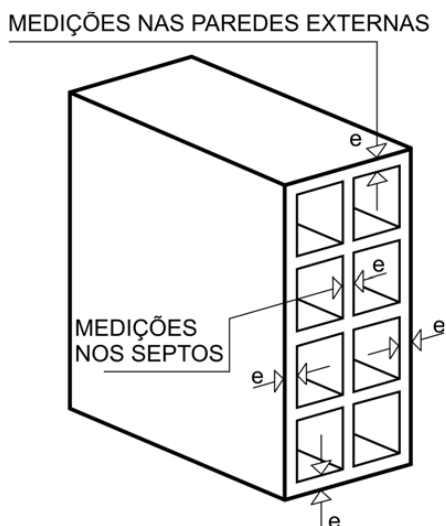
<b>DETERMINAÇÃO DAS MEDIDA DE FASES</b>			
Tolerância (mm)	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)
Individual	±5 mm	±5 mm	±5 mm
Média	±3 mm	±3 mm	±3 mm

Fonte: ABNT NBR 15270-1:2017.

### 3.2.9.1.2 Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos

As medições das espessuras dos septos devem ser obtidas na região central destes, utilizando no mínimo quatro medições, buscando os septos de menor espessura como mostra a Figura 21 e o valor mínimo para os septos externo e 7mm como mostra o Quadro 2.

Figura 21 – Posição para as medições nas paredes externas.



Fonte: ABNT NBR 15270-2:2017.

Quadro 2 - Tolerância de Septos externos e internos.

<b>TOLERÂNCIAS</b>	
Septos externos	Septos internos
7 mm (mínimo)	Não há

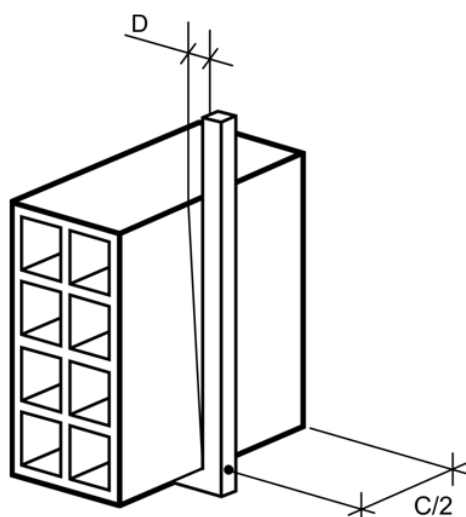
Fonte: ABNT NBR 15270-1:2017.

A soma mínima das paredes em um mesmo corte transversal (externas e internas) é de 20 mm (NBR 15.270-1:2017).

### 3.2.9.1.3 Determinação do desvio em relação ao esquadro (D)

Para execução do ensaio os corpos-de-prova devem ser colocados sobre uma superfície plana e indeformável. Deve-se medir o desvio em relação ao esquadro entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco, conforme a Figura 22, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica. A tolerância da norma estabelece no máximo 3mm de diferença para o esquadro como mostra o Quadro 3.

Figura 22 – Posição das medições do desvio em relação ao esquadro.



Fonte: ABNT NBR 15270-2:2017.

Quadro 3 - Tolerância de esquadro

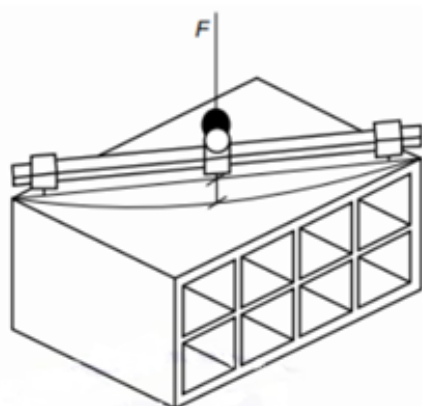
TOLERÂNCIAS	
Esquadro	3 mm (máximo)

Fonte: ABNT NBR 15270-1:2017.

#### 3.2.9.1.4 Determinação da planeza das faces (F)

Para execução do ensaio os corpos-de-prova devem ser colocados sobre uma superfície plana e indeformável. Deve-se determinar a planeza de uma das faces destinadas ao revestimento através da flecha formada na diagonal, conforme a Figura 23, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica. A tolerância de acordo com a norma é 3mm como mostra o Quadro 4.

Figura 23 - Medição de planeza das faces (F)



Fonte: ABNT NBR 15270-2:2017.

Quadro 4 - Tolerância de medidas de planeza das faces.

<b>TOLERÂNCIAS</b>	
Flechas	3 mm (máximo)

Fonte: ABNT NBR 15270-1:2017.

3.2.9.2 Determinação da resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação.

Os corpos-de-prova devem ser preparados e seguir a mesma recomendação de determinação das características geométricas. Assim, acompanhando as recomendações do anexo C da NBR 15270-2, seguindo especificações para aprovação dos blocos para execução do ensaio de compressão.

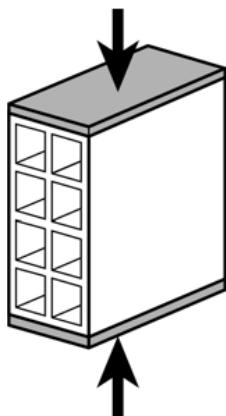
Para esse ensaio de compressão, a aparelhagem necessária é composta de uma prensa hidráulica, onde a norma NBR 15270.2, recomenda algumas rotinas para carga seja uniformemente distribuída em toda a área de ruptura é o ensaio processa com êxito:

- Cobrir com pasta de cimento (ou argamassa) uma placa plana indeformável recoberta com uma folha de papel umedecida ou com uma leve camada de óleo mineral;
- Aplicar à face destinada ao assentamento sobre essa pasta de cimento ou argamassa (relação a/c de 1:3) exercendo sobre o bloco uma pressão manual suficiente para fazer refluir a pasta (ou argamassa) interposta, de modo a reduzir a espessura no máximo a 3 mm;
- Espessura máxima do capeamento não deve exceder 3 mm;
- Depois foi colocado a face a ser capeada do bloco por cima da pasta de cimento;
- Os acabamentos da pasta ao redor do bloco foram feitos com espátulas;
- Com o nível bolha, posicionado por cima do bloco, foi realizado o nivelamento da pasta;
- Depois da pasta endurecida, repetia o mesmo procedimento na outra face a ser capeada.

O capeamento foi realizado no laboratório de Ecocompósito do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPa, onde na Figura 24 ilustra o corpo de prova

finalizado recebendo a compressão axial no bloco capeado como a norma define.

Figura 24 - Compressão axial de bloco de vedação



Fonte: ABNT 15270-2:2017.

### 3.2.10 Ensaio de flamabilidade UL 94 vertical

Para analisar eficácia dos blocos de poliolefinas recicladas a resistência à chama, foram submetidos a ensaio de flamabilidade obedecendo a norma da UL94 Vertical (XIA et al., 2018). Foram preparadas 7 amostras de polipropileno, 7 amostras de polietileno, 7 amostras de polipropileno com %5 de carga de alumina e 7 amostras de polietileno com %5 de carga de alumina, consistindo em expor as amostras a chama. Onde as amostras devem ser fixadas no prendedor, dispendo a mesma na posição vertical. Na outra extremidade serão marcados 10 mm que ficarão em contato com a chama quando o ensaio for iniciado de acordo com a Figura 25 ilustrada.

O procedimento do ensaio consiste na exposição do corpo de prova a chama por 10 segundos na extremidade livre da amostra. Após esse tempo, a chama deve ser removida e observa-se que a chama extingue-se. Se ela se apagar, a chama é recolocada por mais 10 segundos. Se houver autossustentação da chama na amostra não será possível classificá-la segundo a medição da queima vertical UL 94 (YANG et al., 2019a). Caso não ocorra a autossustentação da chama, o material é caracterizado através do grau de inflamabilidade realizado no teste de queima vertical ilustrada no Quadro 5 com respectivas classificações (ELSABBAGH et al., 2018).

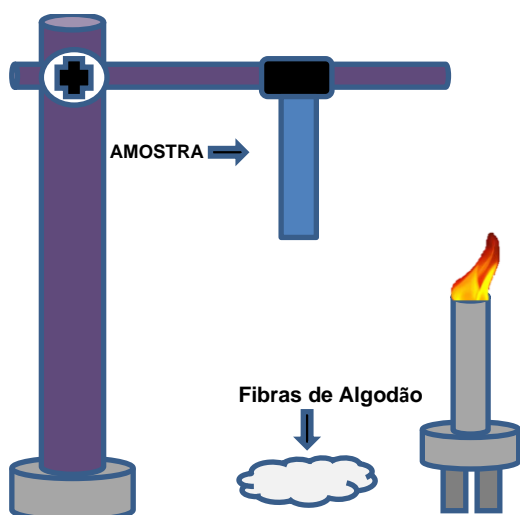
Quadro 5 - Classificação dos matérias.

Classificação	Requisitos
---------------	------------

V-0	A queima é interrompida em 10 segundos, NÃO são permitidos gotejamentos em chamas;
V-1	A queima é interrompida em 60 segundos, NÃO são permitidos gotejamentos em chamas;
V-2	A queima é interrompida em 60 segundos, são permitidos gotejamentos em chamas.

Fonte: UL94V, 2020.

Figura 25 - Esquema para o ensaio de flamabilidade vertical.



Fonte: UL 94, 2018.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Revalorização de matéria prima

#### 4.1.1 Revalorização do PP

A revalorização das poliolefinas de PP, foi feita através de garrafas de polipropileno pós-consumo que foram coletados pelo grupo de pesquisa Eco-Compósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA ilustrada na Figura 26. Onde realizou-se limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos. Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas foram submetidas ao moinho de facas Modelo NFA-1533 da RONE para finalizar o processo de revalorização dos polímeros. Na Figura 27, foi possível observar o polímero PP revalorizado, voltando ao ciclo de vida e pronto para ser rotomoldado.

Figura 26 - Garrafa pós-consumo de água mineral



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 27 - Polipropileno triturado



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.1.2 Revalorização do PEAD

A revalorização das poliolefinas de PEAD foi feita através de recipientes de álcool de polietileno pós-consumo e foram coletados pelo grupo de pesquisa Eco-Compósito do Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA ilustrada na Figura 28. Realizou-se uma limpeza manual em água corrente e sabão neutro para a eliminação de impurezas e retirada de rótulos. Após a secagem em temperatura ambiente, as garrafas foram submetidas a um moinho de facas Modelo NFA-1533 da RONE, em seguida foi submetido a outro moinho de facas Moinho de facas tipo Cróton TE-625 da TECNAL, para finalizar o processo de revalorização. Na figura 29, podemos observar o polímero PEAD revalorizado, voltando ao seu ciclo de vida e pronto para ser rotomoldado.

Figura 28 - Garrafa de álcool pós-consumo de PEAD



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 29 - Polietileno micronizado.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

## 4.2 Modelagem tridimensional

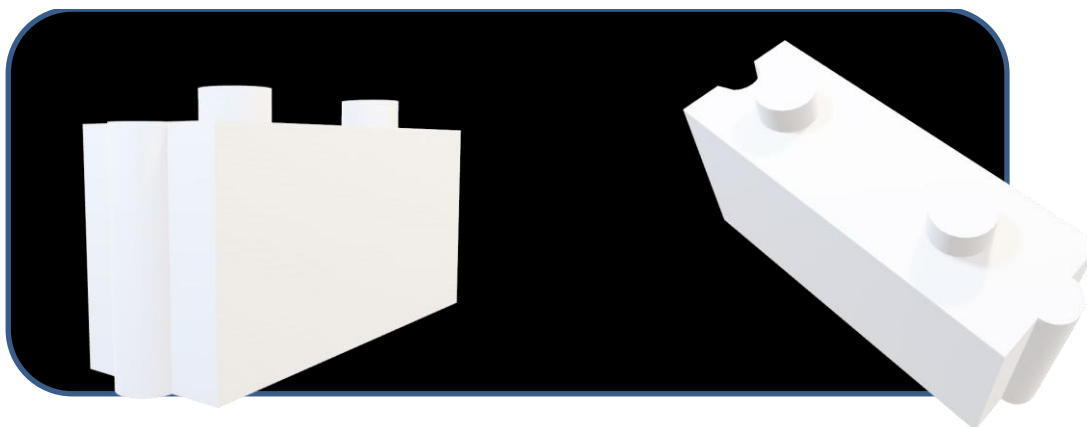
### 4.2.1 Modelagem tridimensional do bloco

As modelagens dos blocos ecológicos foram geradas através do *software skechup pro 2017* para ilustrar com clareza as peças, o que possibilitou a caracterização de cores e texturas adequadas para a melhor visualização possível dos blocos. Com auxílio da modelagem foi possível criar um esquema tridimensional, proporcionando melhor avaliação do projeto final ilustrado na Figura 30.

Tornou-se viável a reprodução das dimensões das peças em escala real. O software mostrou-se extremamente útil, para o dimensionamento dos blocos, proporcionando maior domínio e conhecimento, promovendo a familiaridade com suas proporções.

O uso da modelagem facilitou na resolução de problemas de produção e reduziu a possibilidade de erro e desperdícios de material polimérico revalorizado, decorrente das possibilidades de visualização, experimentação e avaliação do produto final.

Figura 30 - Modelagem tridimensional dos blocos



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 4.2.2 Modelagem tridimensional do molde

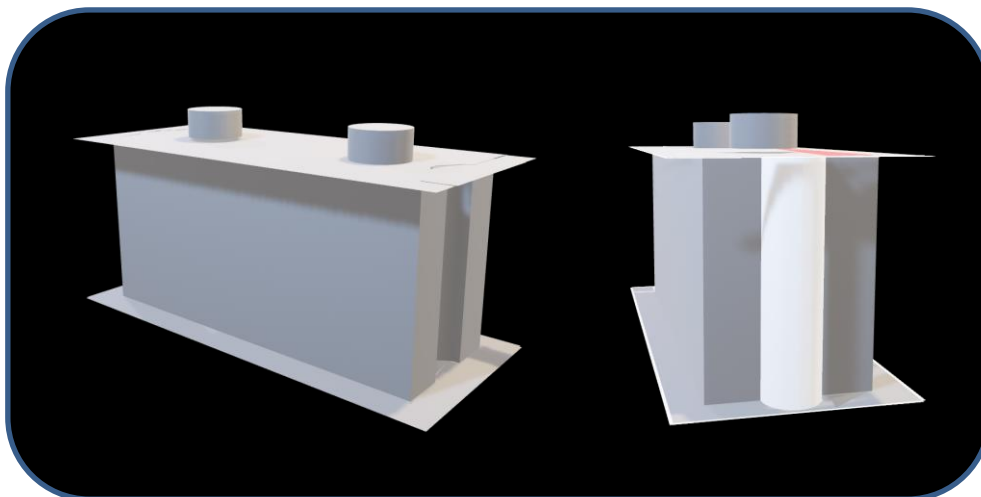
As modelagens do molde dos blocos ecológicos foram geradas através do *software skechup pro 2017* com o intuito de ilustrar as peças com clareza, tornando-se possível a elaboração do molde montado e demonstrando seu formato adequado

para a melhor visualização possível dos blocos dentro dos moldes. Com auxílio da modelagem foi possível criar um esquema tridimensional, proporcionando melhor avaliação do projeto final para o desenvolvimento de método eficaz de desmolde. Podemos observar o molde modelado tridimensional na Figura 31.

Foi possível simular e visualizar situações reais de uso do molde através da modelagem como podemos observar a Figura 32 o molde desmontado, contribuindo para o desenvolvimento da estrutura do molde, empregando volumes e espaços internos das do molde, gerando peças perfeitas.

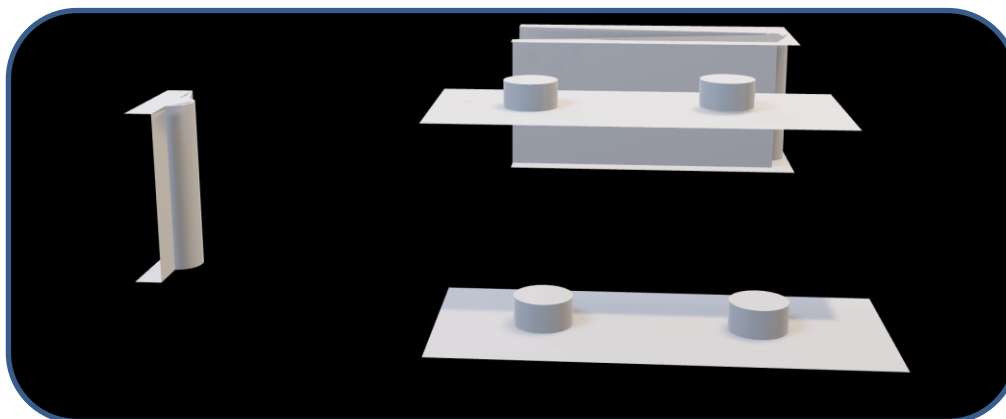
O uso da modelagem facilitou na resolução de problemas de produção e reduziu a possibilidade de erro e desperdícios de material. Onde contribuiu para confecção do molde de alumínio, que houve a necessidade de mudança de formato para adaptar a necessidades da máquina de rotomoldagem.

Figura 31 - Modelagem tridimensional do molde do bloco fechado



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 32 - Modelagem tridimensional do molde desmontado



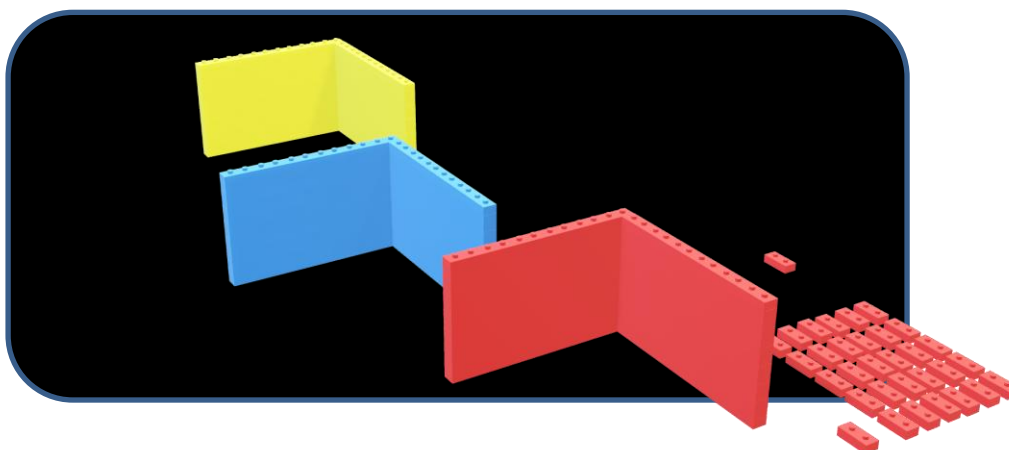
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

### 4.2.3 Modelagem tridimensional de uma parede de bloco

Na Figura 33, pode ser observado a modelagem de algumas das diversas possibilidades de cores que podem ser aplicadas ao bloco ecológico, proporcionando uma produção facilitada pela modelagem simultânea de vários blocos, proporcionando a visualização de paredes.

Mostrou-se eficaz, pela facilidade de simulação de dimensionamento das paredes dos blocos ecológicos na medida em que proporciona assimilação das escalas e o domínio sobre as proporções dos blocos e paredes.

Figura 33 - Modelagem tridimensional de uma parede de bloco



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

## 4.3 Confeção do molde

Após a modelagem tridimensional dos moldes, iniciando-se o processo de confecção, onde possa ser feito cortes, dobras, soldas e polimentos, proporcionando um molde apropriado para seu emprego. Os moldes seguiram alguns procedimentos lógicos no projeto para que suas peças fossem desenvolvidas com espessuras únicas, obterem uma vedação íntegra e garantir os ciclos de aquecimento e resfriamento imutáveis nas manufaturas de blocos simétricos.

### 4.3.1 Molde de aço inox

O molde de aço inox foi confeccionado com uma chapa com espessura única

de 3mm para garantir peças homogêneas, foi utilizado 2 barras de rosca 9,53mm de diâmetro e 350mm de comprimento, 2 barras de rosca 9,53mm de diâmetro e 400mm de comprimento, um rolo de fita de alumínio de alta temperatura para ajudar na vedação, porcas, ruelas para fixar as barras no molde e o molde no *spider* e parafusos. Podemos observar o molde de inox na Figura 34.

Conseguiu-se alcançar seu propósito que foi desenvolver as peças rotomoldadas, as barras projetadas foram eficazes na fixação do molde no *spider*, entretanto a vedação do molde com o auxílio da fita de alumínio de alta temperatura, não proporcionou nenhum escoamento de material.

Apesar do molde possuir uma inclinação de ângulo nas cavidades macho e fêmea, obteve-se uma pequena dificuldade no desmolde da cavidade fêmea. Com a rotomoldagem de algumas peças a máquina de rotomoldagem começou apresentar algumas folgas no *spider*, ocasionando o rompimento de alguns cabos responsáveis pelo aquecimento e ocasionando um reparo na máquina. Onde foi detectado a necessidade de confeccionar um outro molde com um material mais leve.

Figura 34 - Molde de aço inox



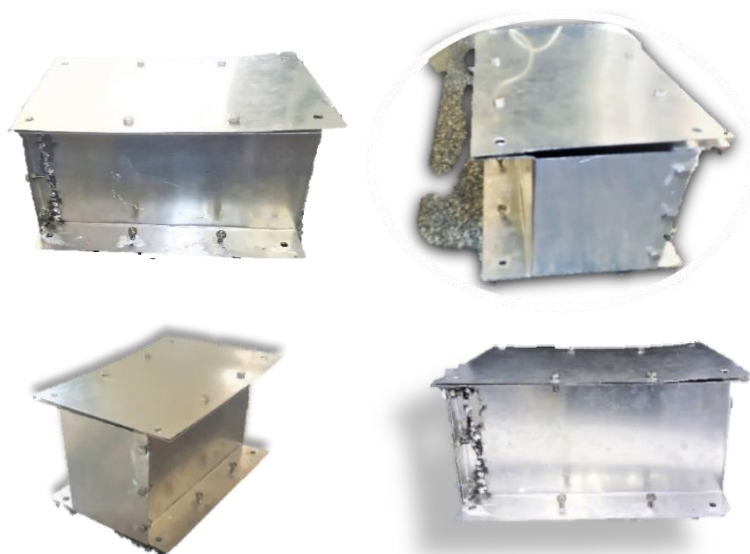
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.3.2 Molde de alumínio

Na confecção do molde de alumínio foi utilizado uma chapa com espessura única de 1mm para garantir peças homogêneas como mostras a Figura 35, foi utilizado algumas peças do molde de inox como: barras de rosca, parafusos, porcas, arruelas.

O molde não obteve escoamento de material, ou seja, sua vedação foi eficaz. Foi resolvido o problema de peso do molde, diminuindo 9 kg do peso total. O molde não ofereceu dificuldade no desmolde, não havendo a necessidade de desmontagem total do molde, apenas a parte superior ou inferior, fazendo com que a peça deslizesse sobre o molde facilitando o desmolde do bloco rotomoldado.

Figura 35 - Molde de Alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.4 Rotomoldagem dos blocos

A fabricação do bloco ecológico rotomoldado passa pelo método de reciclagem conhecido de rotomoldagem. Ele é dividido em quatro estágios correspondente a carregamento, aquecimento, resfriamento e desmoldagem. O carregamento consiste na alimentação do molde com quantidade de material 1,530 Kg listrado na Figura 36 a) o molde vazio e na Figura 36 b) o molde com PEAD. Em seguida, é fechado e conduzido até a Máquina de rotomoldagem desenvolvida na faculdade de engenharia mecânica no laboratório de eco-compósito da UFPA.

Figura 36 - Enchimento do molde com o Polímero a) molde vazio e b) molde com PEAD





Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

O molde é fixado no braço que possui movimentação bi-axial de 360° ilustrado na Figura 37 a) molde acoplado na máquina, Figura 37 b) forno aguardando ser acoplado e Figura 37 c) forno acoplado na máquina.

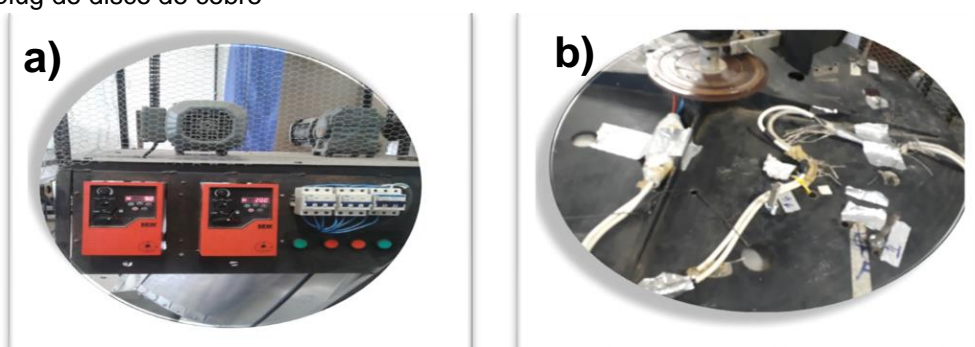
Figura 37 - Acoplamento do molde na máquina de rotomoldagem a) molde acoplado, b) forno aguardando ser acoplado na máquina e c) forno acoplado na máquina



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

A movimentação do braço é acionada através de dois inversores de frequências SEW EURODRIVE IP55 ilustrado na Figura 38 a) para controlar a velocidade dos motores SEW EURODRIVE DRE80M4, o da direita correspondente a translação e esquerda outro a rotação. Seu aquecimento ocorre através resistências elétricas fornecendo uma energia limpa comparada a outras máquinas com aquecimento a gás. Para acionar as resistências do forno necessita conectar o plug do disco de cobre que distribui energia as resistências ilustradas na Figura 38 b), o material polimérico adere à cavidade do molde e a parede da peça é formada por deposição de camadas de material. Após a formação da peça, com o molde ainda em rotação é desligada as resistências e se inicia o processo de resfriamento.

Figura 38 - Ajustes para o funcionamento da máquina de rotomoldagem a) inversores de frequência e disjuntores responsáveis para controlar a movimentação e aquecimento da máquina e b) encaixe do plug do disco de cobre

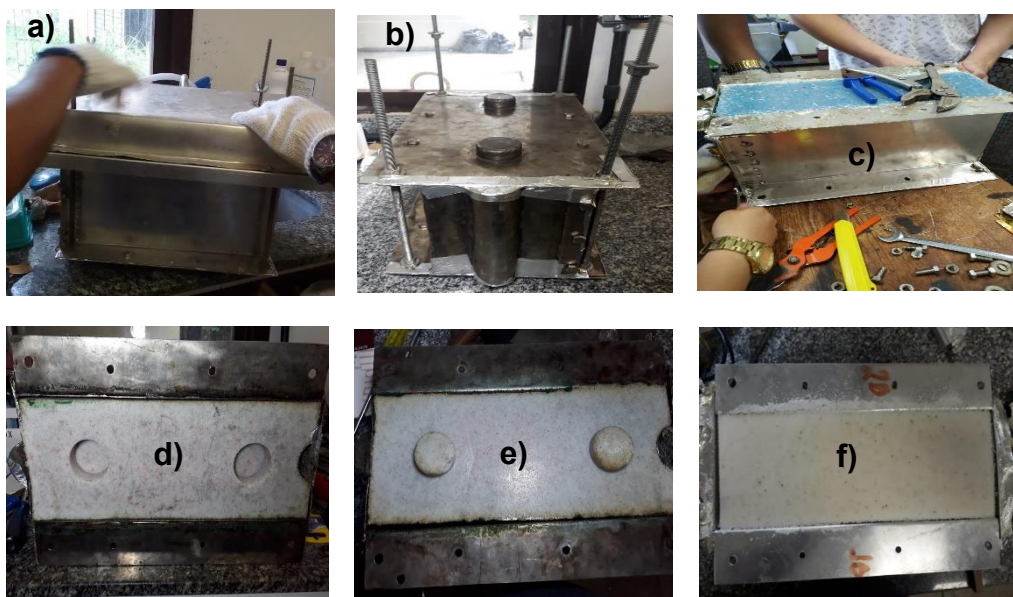




Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Após cerca de 30 minutos do resfriamento do molde, o movimento cessa e o mesmo é conduzido para estação de desmoldagem ilustrado na Figura 39 a) remoção da tampa do forno e Figura 39 b) molde sem a tampa do forno. A abertura e extração da peça são feitas manualmente listrado nas Figuras 39 c), d), e), e f). Então o molde é novamente carregado com material e o ciclo recomeça.

Figura 39 - Desmolde a) remoção da tampa do forno, b) molde sem a tampa, c) desmolde do bloco de PP, d) desmolde do bloco de PEAD com cavidade fêmea, e) desmolde do bloco de PEAD com cavidade macho e f) desmolde do bloco de PEAD sem cavidades

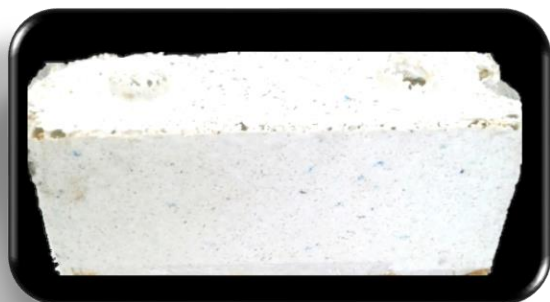


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.4.1 Rotomoldagem do bloco (PP)

Na Figura 40, podemos observar o primeiro bloco confeccionado no molde de inox com embalagens de iogurte natural pós-consumo revalorizadas e recicladas pelo processo de rotomoldagem, onde obteve-se análise do aspecto físico do bloco. Assim, apresentando brilho moderado e grande porosidade em sua superfície, principalmente na cavidade macho e nos cantos superiores com disposições de materiais, ocasionando em produção de peça baixa qualidade devido a sinterização incompleta e elevada fragilidade comprometendo de maneira significativa o desempenho da peça final.

Figura 40 - Bloco confeccionado com molde de aço inox e embalagem de iogurte natural pós-consumo



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Na Figura 41, podemos observar o bloco confeccionado no molde de inox com garrafas de água mineral pós-consumo revalorizadas e recicladas pelo processo de rotomoldagem, onde obteve-se análise do acabamento superficial, apresentando brilho discreto e número reduzido de vazios em suas superfícies, principalmente nas cavidades macho, em comparação com o bloco da Figura 40.

Em relação os cantos superiores, reduziram as disposições de materiais, ocasionando em produção de peça de melhor qualidade, devido material de menos espessura. Portanto, atingi melhor propagação de sinterização e não compromete o desempenho da peça final.

Figura 41 - Bloco confeccionado com molde de aço inox e garrafa de água mineral pós-consumo



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Na Figura 42, podemos observar o bloco confeccionado no molde de alumínio com garrafas de água mineral pós-consumo revalorizadas e recicladas pelo processo de rotomoldagem, onde obteve-se análise do acabamento superficial do bloco. Assim, apresenta brilho acentuado e número reduzido de vazios em suas superfícies, comparando com os blocos das Figuras 40 e 41. Sua porosidade foi semelhante ao

bloco da Figura 41, entretanto os cantos superiores, reduziram as disposições de materiais de forma aceitável, ocasionando em produção de peça de melhor qualidade, gerando uma superfície mais regular com qualidade superficial final.

Podemos destacar, que o bloco pode ser usado com material de acabamento (revestimento ou perfis), ocasionando em produção mais econômica devido não recorrer a segunda moagem na revalorização do polímero, reduzindo o custo final do bloco.

Figura 42 - Bloco confeccionado com molde de alumínio aço inox e garrafa de água mineral pós-consumo



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.4.2 Rotomoldagem do bloco (PEAD)

Na Figura 43, podemos observar o bloco confeccionado no molde de aço inox com embalagens de álcool pós-consumo revalorizadas e recicladas pelo processo de rotomoldagem, onde se obteve uma análise quanto ao seu acabamento superficial do bloco.

Apresentando brilho moderado e número reduzido de vazios em suas superfícies, em comparação com os blocos das Figuras 40, 41 e 42. Sua porosidade foi reduzida. Em relação os cantos superiores, não houve disposições de materiais, fechando todos os cantos dos blocos, ocasionando em produção de peça de melhor qualidade, gerando superfícies planas e regulares com qualidade superficial final.

Como foi utilizado um material de menor granulometria, obteve-se uma melhor propagação de sinterização. Podemos destacar, que o bloco pode ser usado com material de acabamento ou não devido sua porosidade baixa.

No apêndice C, podemos observar as imagens da aplicação da pastilha de vidro com auxílio de uma massa polimérica de poliacetato de vinila (PVA) com aditivos específica para assentamento de pastilhas dispensando o uso de argamassa de

revestimento ou perfis, ocasionando em produção mais econômica devido não utilizar uma segunda moagem na revalorização polímero, reduzindo o custo final do bloco.

Figura 43 - Bloco confeccionado com molde de aço inox e embalagem de álcool pós-consumo



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Na Figura 44 podemos observar, o bloco confeccionado no molde de alumínio com embalagens de álcool pós-consumo revalorizadas e recicladas pelo processo de rotomoldagem, obteve sua superfície lisa com alto brilho e porosidade reduzida em comparação com outros blocos desenvolvidos.

Os cantos apresentaram algumas rugosidades, apresentou vazios em menores em suas superfícies, resultando em uma peça sem defeitos, ocasionando em uma produção de peça de melhor qualidade, gerando superfícies planas e regulares com uma qualidade superficial final. Uma vez que, um material de menor granulometria, proporciona atingir uma melhor propagação de sinterização. Podemos destacar, que este bloco não tem a necessidade de material de acabamento devido sua porosidade baixa e superfície lisa.

Figura 44 - Bloco confeccionado com molde de alumínio aço inox embalagem de álcool pós-consumo

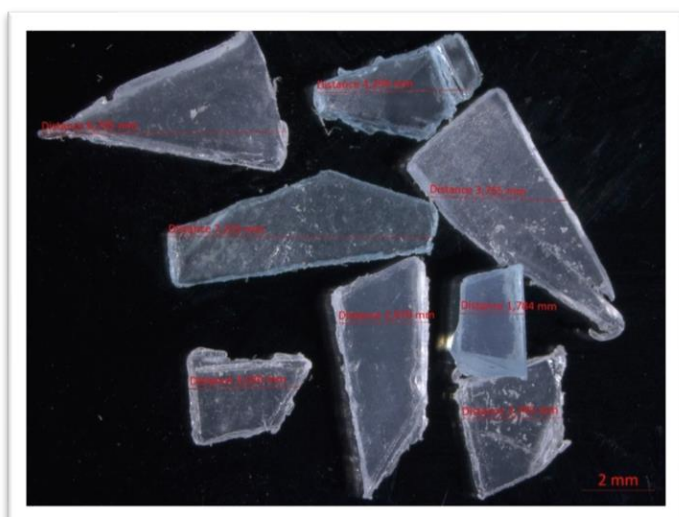


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.5 Microscopia óptica

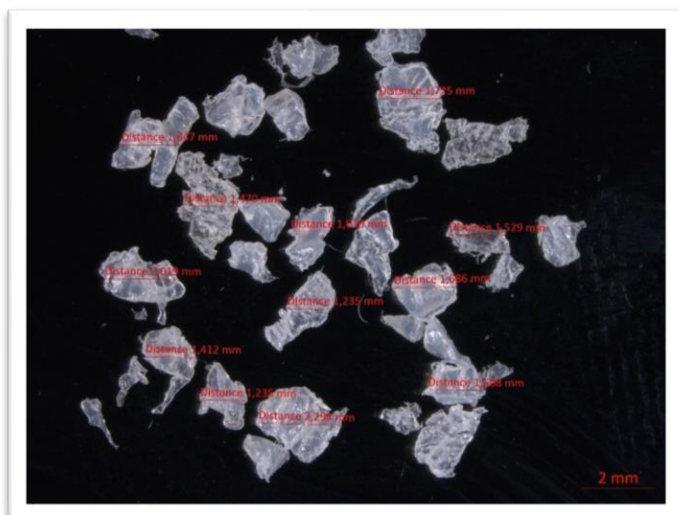
Devido os polímeros disporem de formatos diferentes após a revalorização, foi utilizado o microscópio óptico Axiocam 105 color do fabricante ZEISS para colher as imagens do tamanho de 2560x1920 pixels dos polímeros pós consumo revalorizados de PP e PEAD usados na rotomoldagem dos blocos. Com ajuda do software ImageJ foi calculado tamanho de cada partícula das imagens e foi medido a média do tamanho das partículas. Podemos observar na Figura 45, as partículas de PP onde foi calculado o valor médio da área do PP que é 10,15 mm e na Figura 46 observamos as partículas de PEAD onde foi calculado o valor médio da área do PEAD de 1,53 mm.

Figura 45 - Microscopia óptica de PP.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 46 - Microscopia óptica de PEAD.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.6 Densidade – Método do Picnômetro

Os resultados das análises de densidade pelo método do picnômetro, realizados a 27°C a temperatura da água destilada com sua densidade de 0,99652 g/l, mostram que as embalagem pós-consumo revalorizadas apresentaram variações entre os valores de densidade. A amostra de polietileno apresentou  $m_1 = 0,51$ ,  $m_2 = 40,11$ ,  $m_3 = 41,04$ ,  $m = 0,43$ ,  $V = 0,431$  e densidade de 0,9976 g/cm<sup>3</sup> e a amostra de polipropileno apresentou  $m_1 = 0,54$ ,  $m_2 = 40,07$ ,  $m_3 = 40,83$ ,  $m = 0,22$ ,  $V = 0,221$  e densidade de 0,9954 g/cm<sup>3</sup> como ilustra os Quadros 6 e 7. Onde podemos observar variação de 0,22% entre as densidades dos materiais analisados.

Quadro 6 – Resultados experimentais para chegar as densidades

Amostra	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	m (g)	V amostra mL
PP	0,54	40,07	40,83	0,22	0,221
PEAD	0,50	40,11	41,04	0,43	0,431
temperatura da água = 27°C			densidade da água = 0,99654 g/ml		

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Quadro 7 – Resultado final experimental para as densidades.

Amostras	P(g/l)
PP	0,9954
PEAD	0,9976

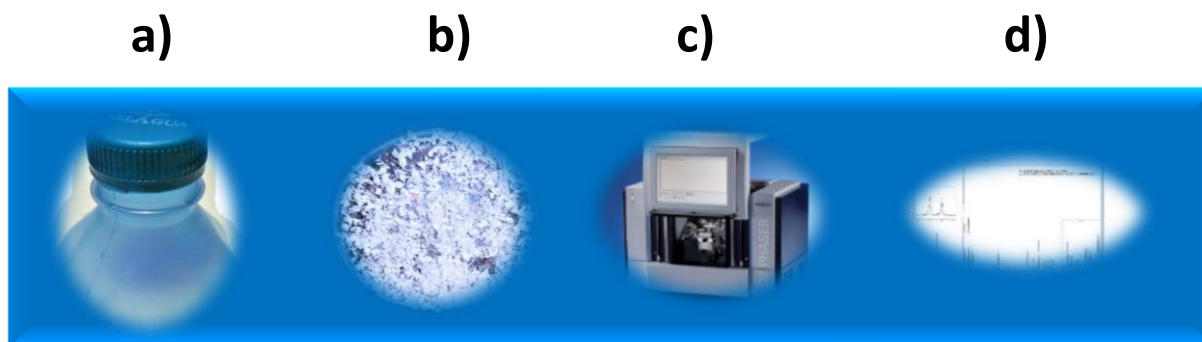
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.7 Difração de raio – x

As amostras obtidas para análise de difração foram extraídas antes da revalorização das embalagens pós-consumo como observamos na figura 47 a) e depois do processo de rotomoldagem. Através das embalagens e das peças rotomoldadas foram obtidas as amostras em forma de pó como ilustra a Figura 47 b), após a obtenção foi inserida no difratômetro modelo D2 Phaser ilustrado na Figura 47 c) e por último foi plotado a intensidades da difração dos planos cristalográficos correspondente aos polímeros PP e PEAD ilustrado na Figura 47 d).



Figura 47 - Processo de difração de raio - X



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.7.1 Difração de raio – X do PP antes e depois da rotomoldagem

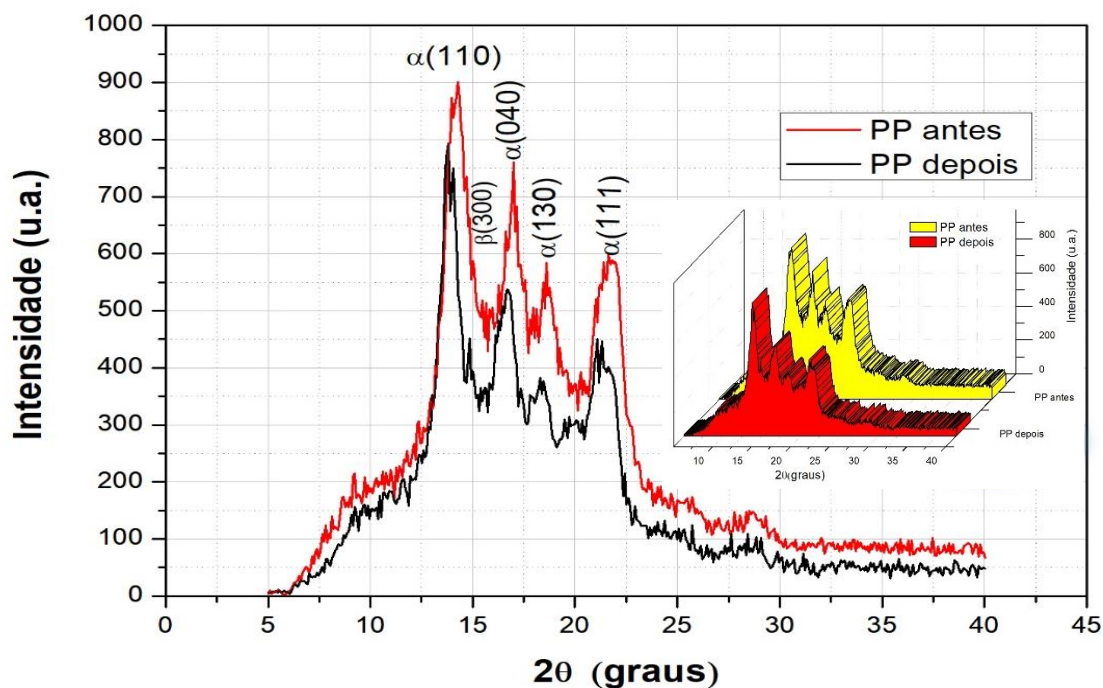
Podemos observar na Figura 48, os difratogramas das amostras obtidas de embalagens pós-consumo de PP antes de ser revalorizada e após passarem pelo processo de rotomoldagem, que exibiu picos de difração vicinais demonstrados através do conteúdo de  $\beta$ -cristais do PP que foi calculado de acordo com a Eq. (4) (ZHU et al., 2019):

$$K_{\beta} = H_{\beta(300)} / (H_{\alpha(110)} + H_{\alpha(040)} + H_{\alpha(130)} + H_{\beta(300)}) \quad (4)$$

Onde  $K_{\beta}$  é o conteúdo correspondente a  $\beta$ -cristal, do qual o plano  $\beta(300)$  é equivalente a intensidade de difração  $H_{\beta(300)}$ , os planos  $\alpha(110)$ ,  $\alpha(040)$  e  $\alpha(130)$  são a intensidades das difrações de  $H_{\alpha(110)}$ ,  $H_{\alpha(040)}$  e  $H_{\alpha(130)}$  (LIU et al., 2019). Portanto, os ângulos próximos em  $2\theta = 14,0^{\circ}$ ,  $17,0^{\circ}$  e  $18,8^{\circ}$  (ALBACH et al., 2019) correspondentes aos cristais monoclinicos peculiares da forma alfa do PP, de acordo com estudos de Wang e colaboradores (2012) e Hassan e colaboradores (2017) o ângulo a  $2\theta$  vicinal a  $16,0^{\circ}$  caracteriza o  $H_{\beta(300)}$  (KASHIMA et al., 2017) e de forma hexagonal (LEE et al., 2017). As posições dos picos de PP pós-consumo e rotomoldados permaneceram estáveis, revelando que sua forma cristalina não sofreu grande influência da rotomoldagem, o polímero rotomoldado obteve uma diferença de intensidade da difração dos picos menores em relação aos pós-consumo, indicando que essa dissimilitude não ocasionou em enorme mudança de cristalinidade do PP (WU et al., 2019). Podemos observar, também, o deslocamento para ângulos menores indicando o efeito da degradação termomecânica na morfologia do cristal (OLIVEIRA

et al., 2017b).

Figura 48 - Difratomogramas antes e depois da rotomoldagem do PP



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.7.2 Difração de raio – X do PEAD antes e depois da rotomoldagem

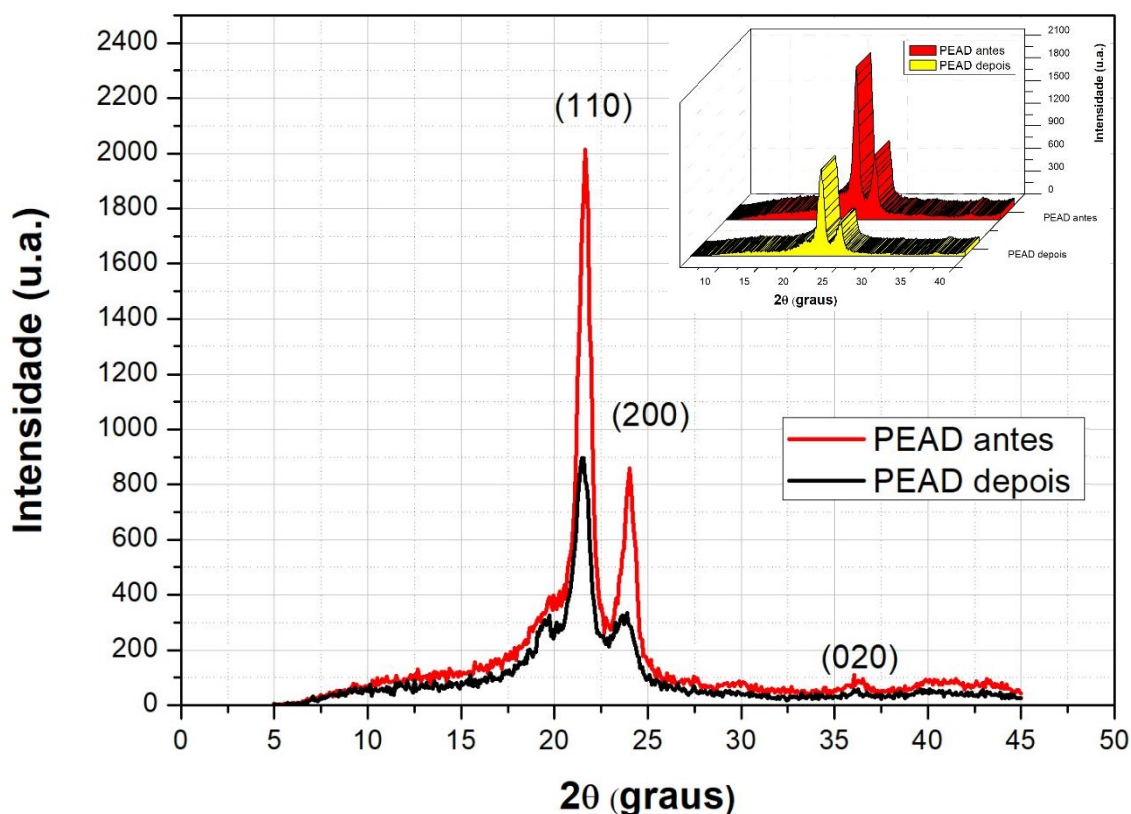
Podemos observar que na Figura 49 que ilustra os difratogramas das amostras obtidas de embalagens pós-consumo de PEAD antes de ser revalorizada e após passarem por um processo de rotomoldagem, que exibiu dois picos de refração vicinais a  $2\theta = 22,00^\circ$  (YANG et al., 2019b) e  $24,27^\circ$  (CHEN et al., 2019b), associado a configuração cristalina equivalentes ao PEAD. Sua estrutura foi equipolente à ortorrômbica, célula unitária de polietileno (HE et al., 2012) relacionada aos planos cristalográficos (110) (ZHANG et al., 2019) e (200) (AGUIAR; PITA; MARQUES, 2019). O pico menos intensivo próximo de  $36,2^\circ$ , corresponde ao plano (020), portanto os picos relacionados com os planos de treliça (110), (200) e (020), comprovam que se trata de um PEAD com estrutura ortorrômbica (Waddon et al., 2002 apud MAHMOUD et al., 2018, p3645 ).

As posições dos picos de PEAD pós-consumo e rotomoldados permaneceram fortes, nítidos e estáveis (FEI et al., 2014), revelando que sua forma cristalina não foi sofreu influência da rotomoldagem, mas o polímero rotomoldado obteve uma diferença de intensidade da difração dos picos menor em relação aos pós-consumo,



indicando que essa dissimilitude não ocasionou em mudança de cristalinidade do PEAD (WU et al., 2019). Podemos observar, também, que ocorreu o mesmo fenômeno que aconteceu no PP onde acontece um deslocamento para ângulos menores, indicando o efeito da degradação termomecânica na morfologia do cristal (OLIVEIRA et al., 2017b).

Figura 49 - Difratomogramas antes e depois da rotomoldagem do PEAD



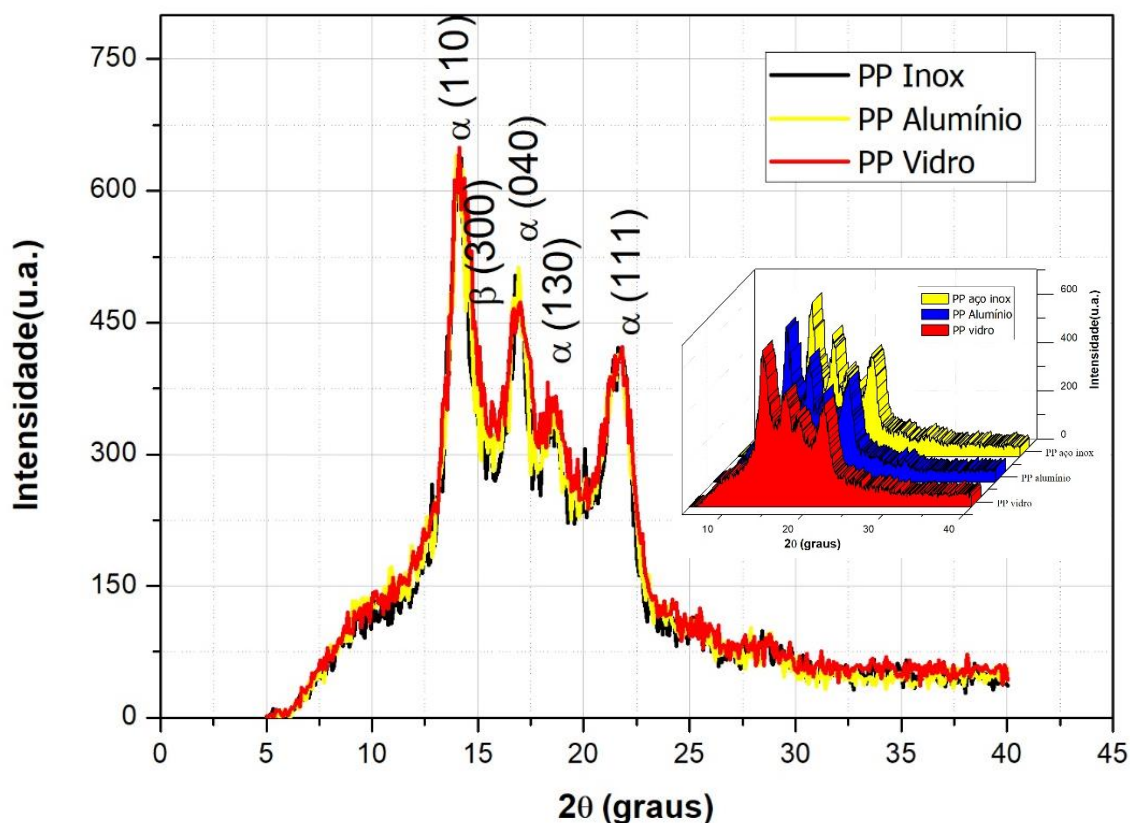
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.7.3 Difração de raio – X das peças de PP (aço inox, alumínio e Vidro)

Podemos observar que a Figura 50 ilustra os difratogramas das amostras obtidas de peças rotomoldadas de PP com moldes de alumínio, aço inox e vidro, exibindo em todas as amostras picos de refração viciniais a  $2\theta = 14,0^\circ$ ,  $17,0^\circ$ ,  $18,8^\circ$  e  $16,0^\circ$  correspondentes aos planos  $\alpha(110)$ ,  $\alpha(040)$ ,  $\alpha(130)$  e  $\beta(300)$  (ALBACH et al., 2019), associado a configuração cristalina equivalentes ao PP. As posições dos picos de todas as amostras permaneceram estáveis, revelando que sua forma cristalina não sofreu influência na mudança dos moldes, na qual as amostras de vidro, aço inox e alumínio permaneceram próximas, demonstrando uniformidade e análogo na

intensidade da difração dos picos.

Figura 50 - Difratoogramas das peças de PP (aço inox, alumínio e Vidro)

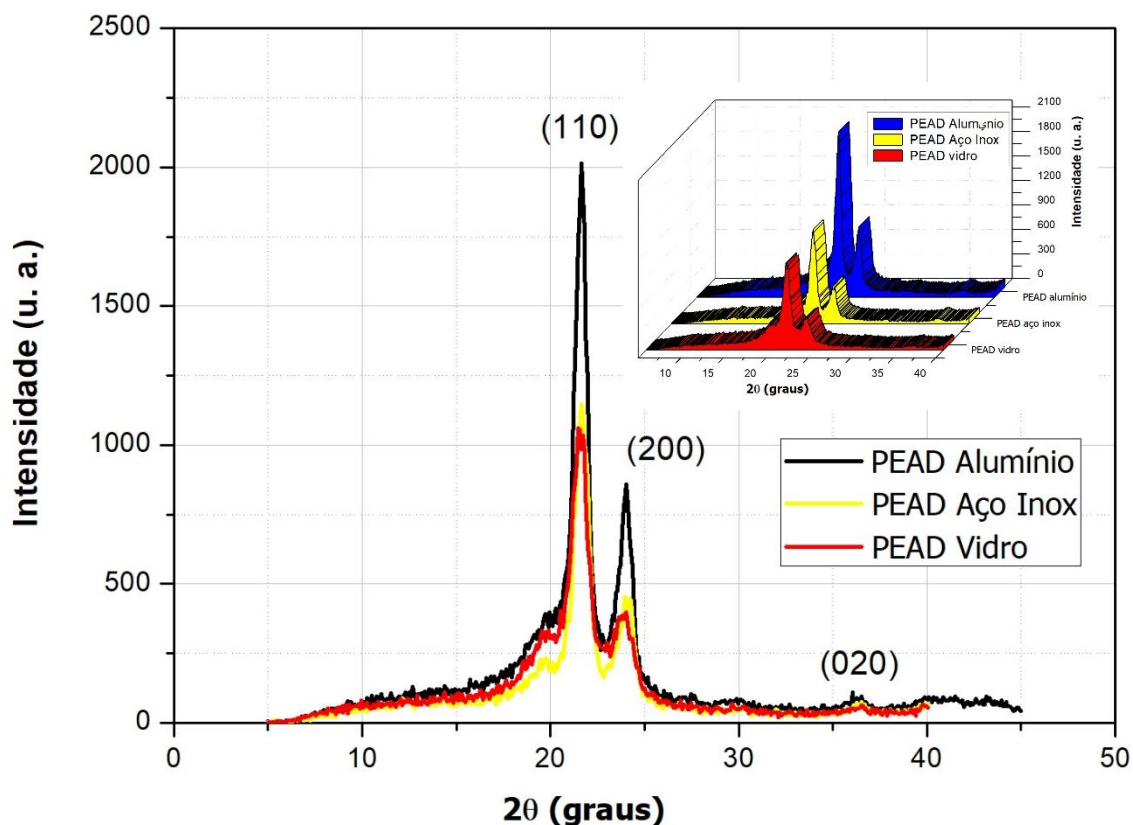


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.7.4 Difração de raio – X das peças de PEAD (aço inox, alumínio e Vidro)

Podemos observar que a Figura 51 ilustra os difratogramas das amostras obtidas de peças rotomoldadas de PEAD com moldes de alumínio, aço inox e vidro, exibindo em todas as amostras dois picos de difração vicinais a  $2\theta = 22,00^\circ$  (YANG et al., 2019b) e  $24,27^\circ$  (CHEN et al., 2019b), associado a configuração cristalina equivalente ao PEAD. Sua estrutura foi equipolente à ortorrômbica célula unitária de polietileno relacionada aos planos cristalográficos (110) e (200) (AGUIAR; PITA; MARQUES, 2019). As posições dos picos de todas as amostras permaneceram estáveis, revelando que sua forma cristalina não sofreu influência na mudança dos moldes, as amostras de vidro e aço inox demonstraram semelhança na intensidade da difração dos picos, mas a amostra do molde alumínio obteve uma amplitude superior na intensidade da difração dos picos em relação as amostras de vidro e aço inox.

Figura 51 - Difratogramas das peças de PEAD (aço inox, alumínio e Vidro)



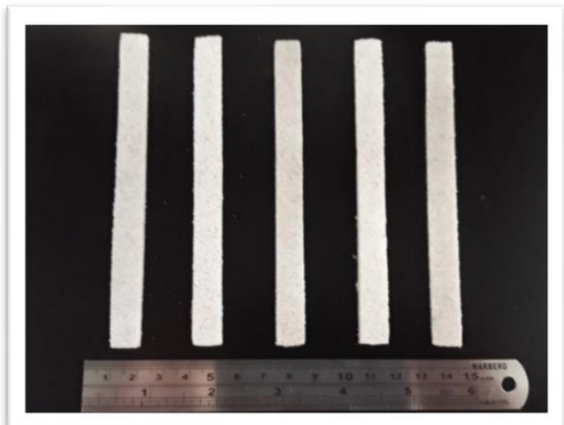
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

## 4.8 Ensaios Mecânicos

### 4.8.1 Ensaio de flexão

As amostras foram desenvolvidas de peças rotomoldadas de poliolefinas pós-consumo e submetidas a velocidade de deformação mediante ao polímero PP com 2 mm/min (PP2), PP com 5 mm/min (PP5), 10 mm/min (PP10), PEAD 2 mm/min (PEAD2), PEAD com 5 mm/min (PEAD5) e PEAD 10 mm/min (PEAD10) como podemos visualizar na Figuras 52 os corpos de provas de PEAD com seu respectivos acabamentos e prontos para ser testados. Foi calculado o modo de elasticidade e a deformação máxima de acordo com os gráficos e dados obtidos pelo ensaio de flexão, portanto obteve-se 302,03 Mpa para PP2, 266,54 Mpa para PP5, 82,64 Mpa para PP10, 90,84 Mpa para PEAD2, 76,10 Mpa para PEAD5 e 26,03 Mpa para PEAD10 para o módulo de elasticidade. A deformação máxima foi 21,58 mm para PP2, 19,13 mm para PP5, 18,86 mm para PP10, 25,95 para PEAD2, 22,20 mm para PEAD5 e 19,00 mm para PEAD10.

Figura 52 - Corpos de provas de PEAD



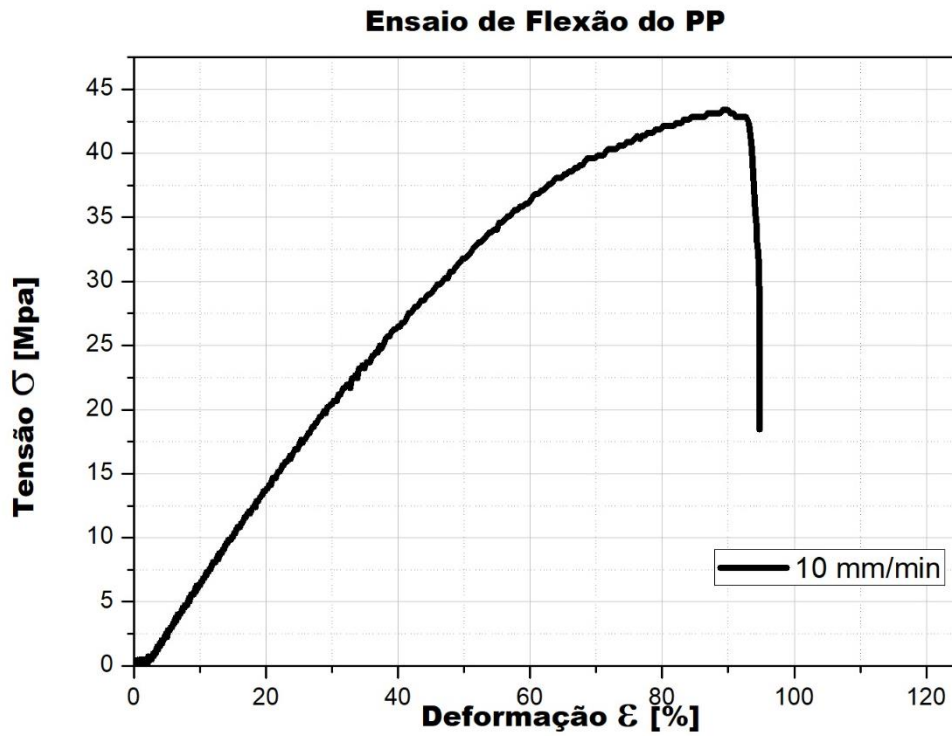
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Notou-se que a amostra de PP2 obteve o módulo de elasticidade 265,46% maior que PP10, 13,31% maior que PP5, 232,46% que PEAD2 e 1060,06% maior que PEAD10 e o PEAD2 obteve uma deformação máxima de 36,62% maior que PEAD10, 16,90% maior que PEAD5, 20,24% maior que PP2 e 37,62% maior que PP10. Sendo assim, observou-se uma variação sob a influência de velocidade de deformação aplicados nos ensaios ilustrado nas Figuras 56 e 60.

Em relação a resistência a flexão, os blocos de PP resistiram 36,34 Mpa para PP2, 27,02 Mpa para PP5 e 9,21 Mpa para PP10 e PEAD resistiram 6,6854 Mpa para PEAD2 9,551 Mpa para PEAD5 1,6 Mpa para PEAD10. Com dados obtidos de resistência a flexão foi observado que as amostras de PP2 apresentaram maior resistência em comparação com as outras amostras de PP e PEAD.

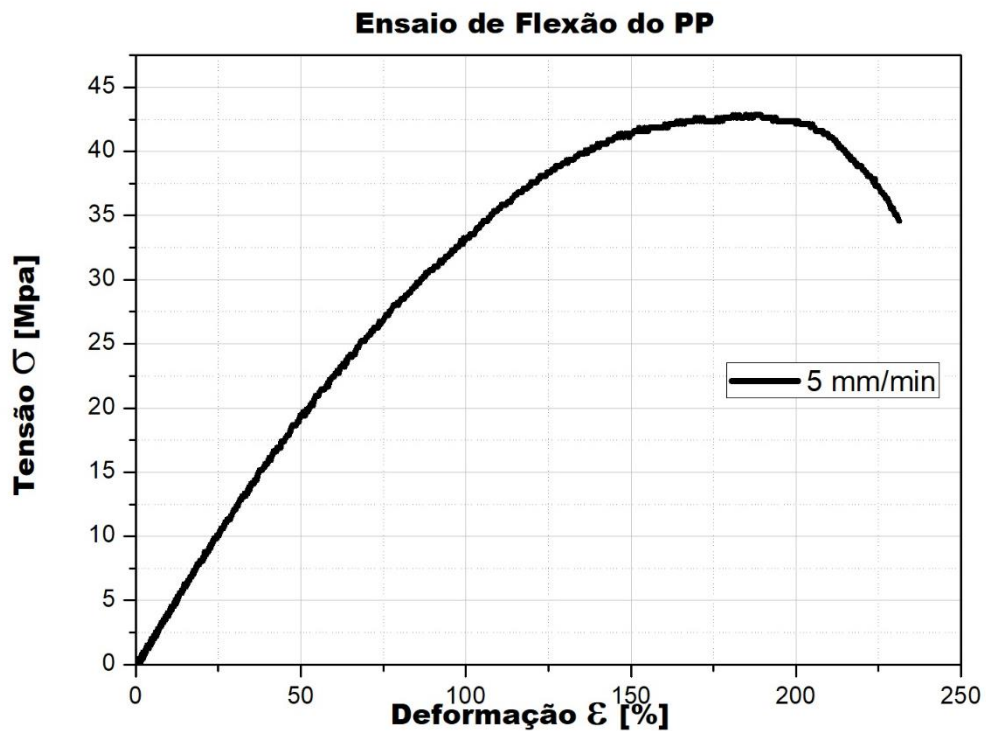
No ensaio de flexão as amostras de PP2 resistência flexão apresentam melhores resultados com materiais reciclado por rotomoldagem, agora de acordo com trabalho realizado por rotomoldagem com polietileno virgem e foi realizado o ensaio de flexão da superfície externa, apresentou valor próximo a 17,5 Mpa (LÓPEZ-BAÑUELOS et al., 2012). Apesar de ser tratar do mesmo processo as amostras dos blocos rotomoldados apresentam porosidade e espaços intersticiais entre as estruturas facilitando a aglutinação de outros matérias nas superfícies externa dos blocos como cimento e matérias de acabamento externo e interno em paredes.

Figura 53 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidade 10 mm/min do PP



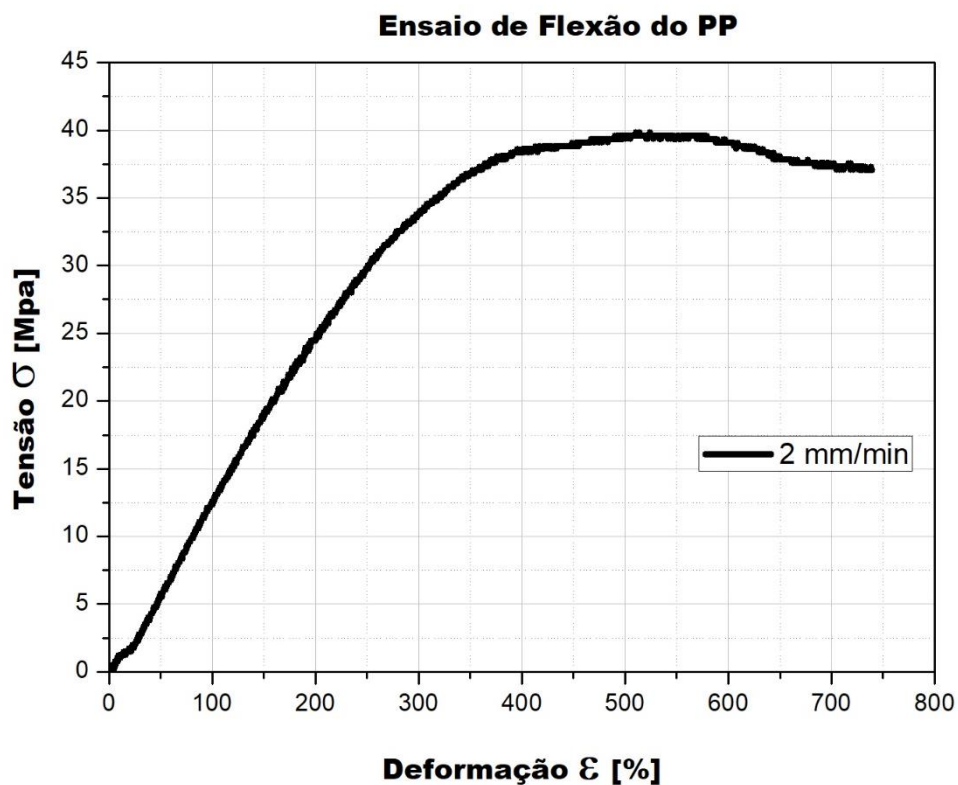
Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Figura 54 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidade 5 mm/min do PP



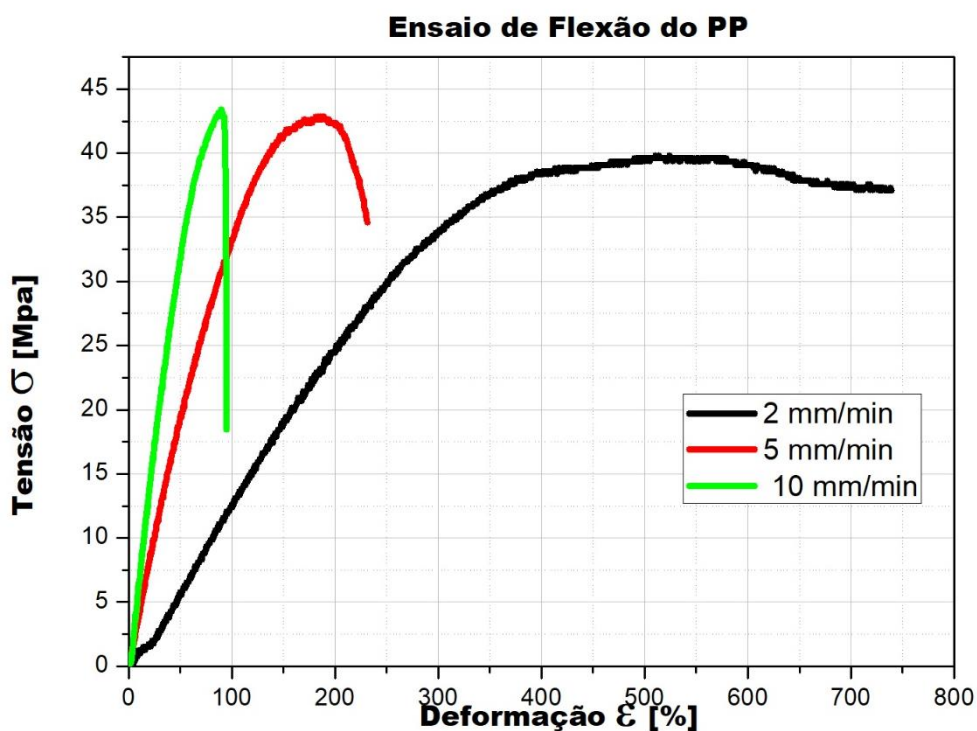
Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Figura 55 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidade 2 mm/min do PP



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Figura 56 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidades 10,5 e 2 mm/min do PP

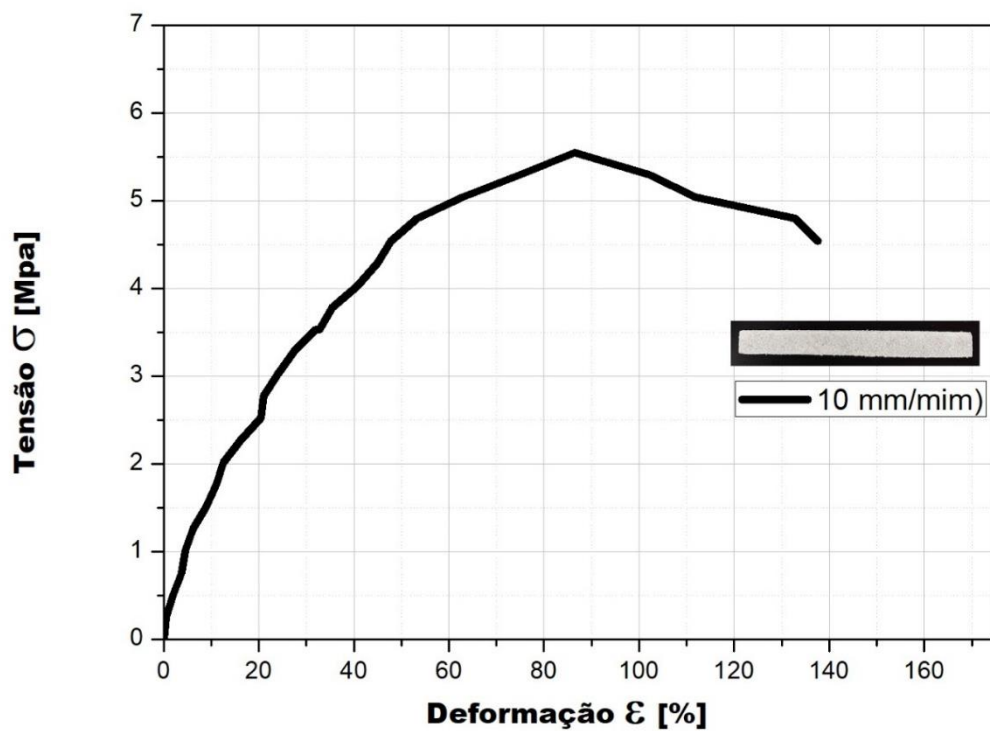


Fonte: Acervo do autor do trabalho.

Figura 57 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidade 10 mm/min.



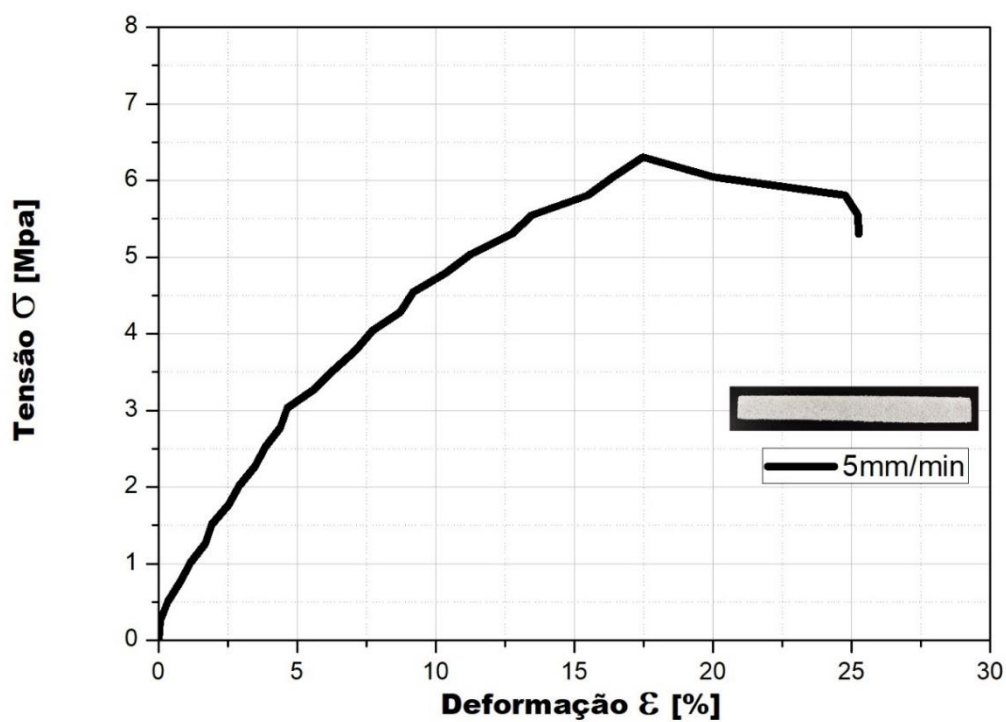
### Ensaio de Flexão



Fonte: Acervo do autor do trabalho.

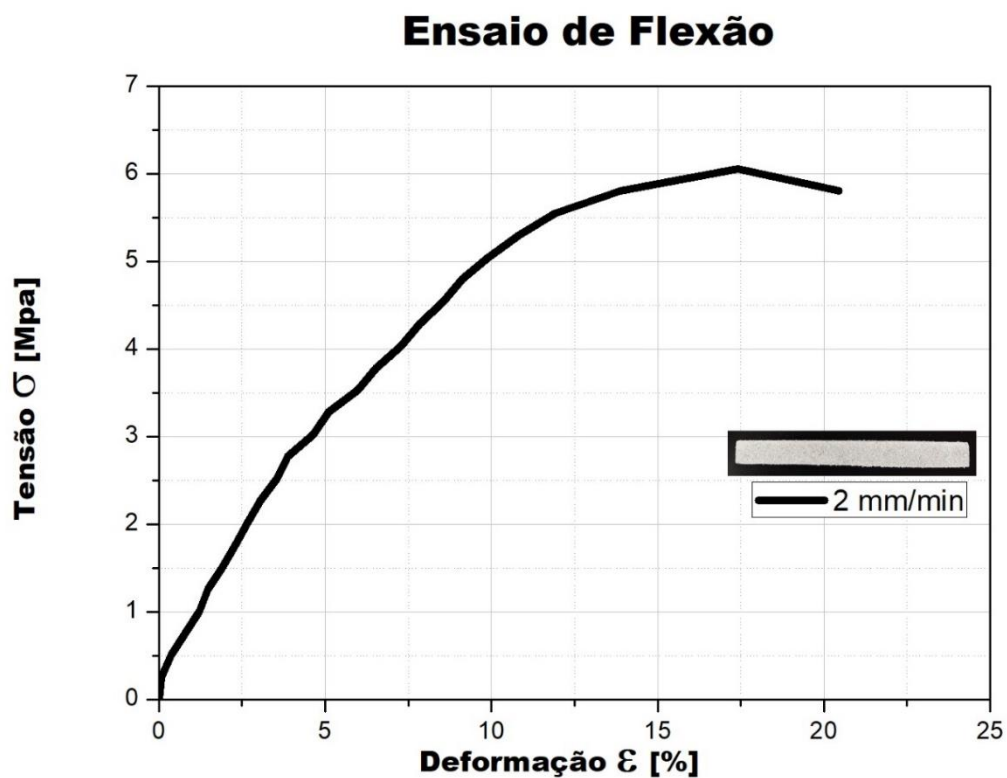
Figura 58 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidade 5 mm/min.

### Ensaio de Flexão



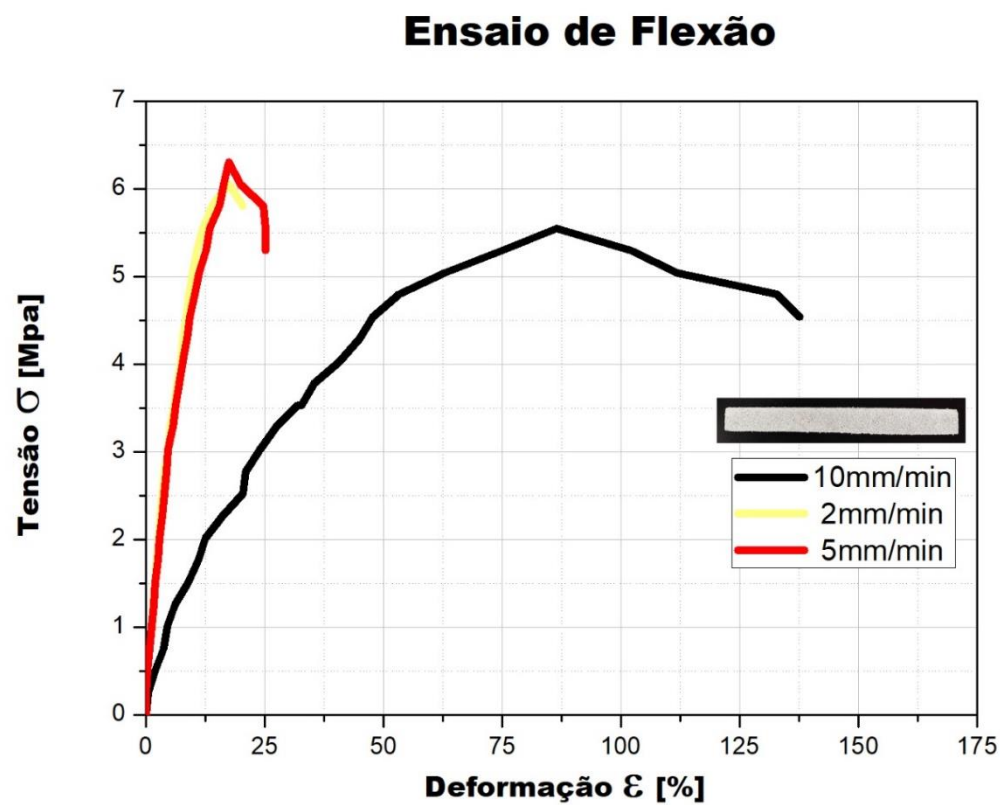
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 59 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidade 2 mm/min



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 60 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de flexão com velocidades 10, 5 e 2 mm/min.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

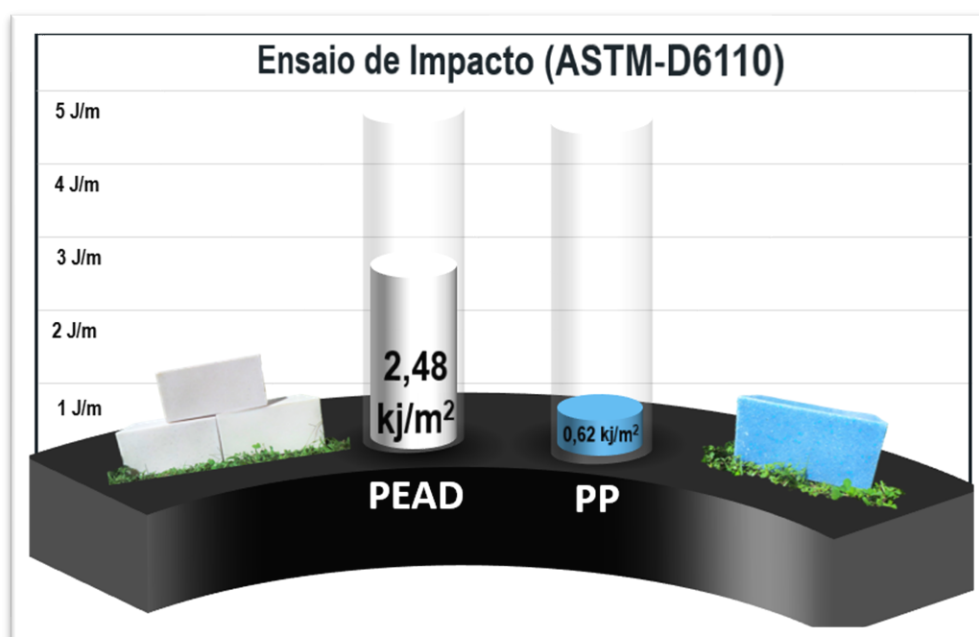


#### 4.8.2 Ensaio de Impacto

A figura 61 mostra que os resultados do ensaio de impacto referentes a adaptação da norma ASTM D6110-18, para PEAD e PP pós-consumo revalorizados e processados por rotomoldagem obtidos dos corpos de provas ilustrados na Figura 62. A resistência ao impacto, obtido pelo polímero PEAD apresentou melhor resultado em comparação com ao PP, apresentando  $2,48 \text{ kJ/m}^2$  para PEAD e  $0,62 \text{ kJ/m}^2$  para PP.

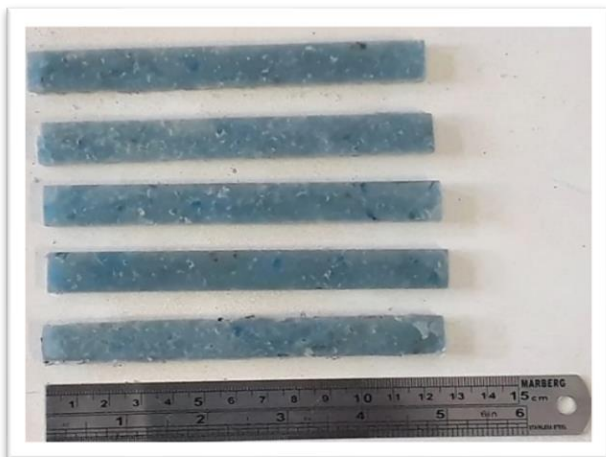
A resistência ao impacto do PEAD puro rotomoldado foi  $6 \text{ kJ/m}^2$  (SASIDHARAN et al., 2019) e  $3 \text{ kJ/m}^2$  para o PP puro (SHOKRIEH; JONEIDI, 2015), então pode-se considerar que em ambos polímeros, houve uma diminuição da resistência ao impacto de pêndulo (charpy) em relação ao PEAD e PP puro. Esperava-se uma diminuição da resistência ao impacto, devido a porosidade nas peças recicladas de PP e PEAD e diminuição de intensidade nos planos cristalográficos de ambos polímeros reciclados, por causa do reprocessando que impacta diretamente nas resistências mecânicas (OLIVEIRA et al., 2017b).

Figura 61 - Ensaio de Impacto do PEAD e PP dos blocos rotomoldados.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 62 - Corpo de prova de impacto Charpy



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

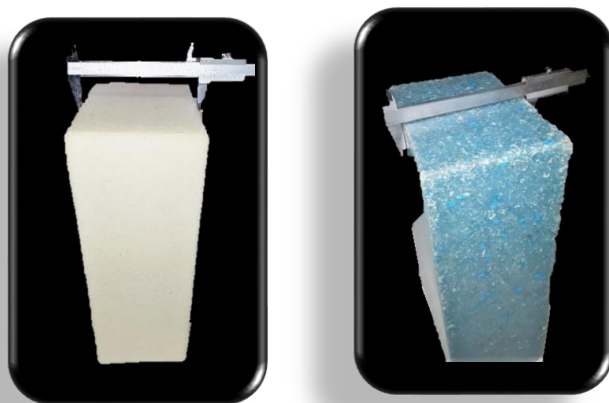
#### **4.9 Ensaio para certificação do material conforme a adaptação da norma ABNT NBR 15270-1:2017 e ABNT NBR 15270-2:2017.**

##### 4.9.1 Determinação das características geométricas

##### 4.9.1.1 Determinação das medidas das faces – Dimensões efetivas

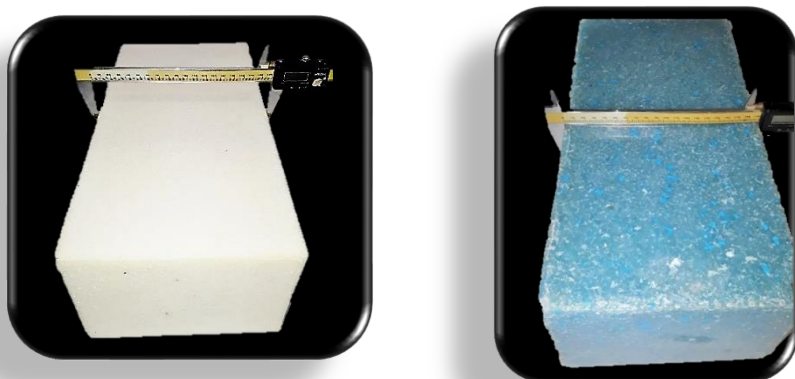
No ensaio de determinação das medidas das faces, podemos observar as medições adaptada pela norma NBR 15270-2 na figura 63 e as medições de largura e na figura 64 as medições de altura dos blocos para análise.

Figura 63 - Medição da largura (L) dos blocos de PEAD e PP



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 64 - Medição da altura (H) dos blocos de PEAD e PP



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.9.1.2 Determinação da espessura das paredes externas e septos dos blocos

No ensaio de determinação de espessura das paredes externas, podemos observar as medições adaptadas pela norma NBR 15270-2 nas figuras 65 as medições do bloco de PEAD e PP com auxílio de paquímetro para análise. Os valores dos septos externos, foram demonstrados no Quadro 8 e analisados. Todos os blocos atenderam aos requisitos mínimos, conforme Quadro 2 corresponde a tolerância de septos externos. Sendo assim, aceitos quanto as medidas de seus septos.

Figura 65 - Medição nas paredes externas dos blocos de PEAD e PP



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Quadro 8 - Medição dos septos

Nº de amostras	SEPTOS (MM)				
	Tolerância: A soma não > 20				
	E1	E2	E3	E4	<b>SOMA DOS</b>

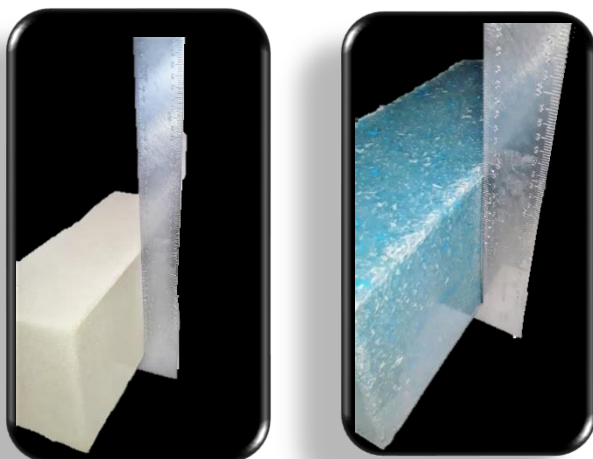
dos blocos	(externo)		(externo)		(externo)		(externo)		SEPTOS	
	PEAD	PP	PEAD	PP	PEAD	PP	PEAD	PP	PEAD	PP
1	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
2	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
3	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
4	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
5	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
6	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
7	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
8	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
9	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
10	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
11	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
12	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
13	10	11	10	11	10	11	10	11	<b>40</b>	<b>44</b>
<b>Aceitos</b>									Todas as amostras (PEAD e PP)	

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.9.1.3 Determinação do desvio em relação ao esquadro (D)

No ensaio de determinação de desvios em relação ao esquadro, podemos observar as medições adaptadas pela a norma NBR 15270-2, nas figuras 66 as medições do bloco de PEAD e PP para análise.

Figura 66 - Medição do desvio em relação ao esquadro dos blocos de PEAD e PP

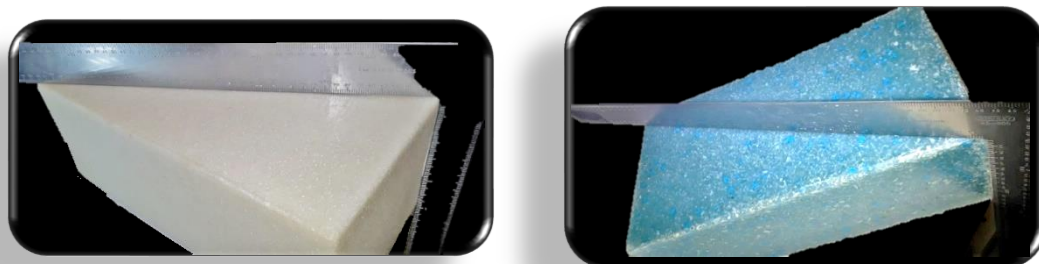


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.9.1.4 Determinação da planeza das faces (F)

No ensaio de determinação da planeza das faces, podemos observar as medições adaptadas pela norma NBR 15270-2, na figura 67 as medições dos blocos de PEAD e PP para análise. De acordo com os valores obtidos pelo Quadro 9 foram analisados que todos os blocos atenderam aos requisitos mínimos, conforme Quadro 1, 3 e 4 corresponde as respectivas tolerâncias da norma NBR 15270-2. Sendo assim, foram aceitos os blocos rotomoldados quanto a análise das características geométrica não apresentando deformidades fora das exigências, diferente dos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação certificados e não certificados comercializados na região de Chapecó no estado de Santa Catarina, cerca de 30% não atingiram as exigências quanto as características geométricas (PILZ et al., 2015).

Figura 67 - Medição de planeza das faces (F) dos blocos de PEAD e PP



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Quadro 9 - Resultados das características geométricas dos blocos de PEAD e PP.

Nº de amostras dos blocos	<b>Análises Geométricas (mm)</b>									
	<i>Limites (mm)</i>									
	135 – 145		185 – 195		385 – 395		3		3	
	L (mm)		H (mm)		C (mm)		D (mm)		F (mm)	
	PEAD	PP	PEAD	PP	PEAD	PP	PEAD	PP	PEAD	PP
1	135	137	190	191	385	385	1,5	1	1	2
2	136	137	191	191	385	385	1,5	1	2	2
3	136	137	191	191	385	385	1,5	1	1	2

4	136	137	191	191	385	385	1,5	1	1	2
5	135	137	190	191	385	385	1,5	1	1	2
6	136	137	191	191	385	385	1,5	1	2	2
7	136	137	191	191	385	385	1,5	1	1	2
8	135	137	190	191	385	385	1,5	1	1	2
9	136	137	191	191	385	385	1,5	1	2	2
10	136	137	191	191	385	385	1,5	1	1	2
11	135	137	190	191	385	385	1,5	1	1	2
12	136	137	191	191	385	385	1,5	1	2	2
13	136	137	191	191	385	385	1,5	1	1	2
Rejeições	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aceitos (AP)</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>	<b>AP</b>

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.9.2 Determinação da resistência à compressão dos blocos estruturais e de vedação.

Os blocos rotomoldados foram submetidos a ensaio de compressão e foi percebido que a resistência dos blocos de PP é maior que a resistência à compressão dos blocos de PEAD como podemos observar no Quadro 10, as amostras de PP apresentaram uma resistência a compressão de 50% acima das amostras de PEAD. Foi constatado que as amostras dos blocos de PP após o teste, sofreram rupturas como podemos observar na Figura 68 a) lado esquerdo e a Figura 68 b) lado direito com as rupturas similar a materiais cerâmicos após o ensaio de compressão observado no estudo de (JNR et al., 2018) e (SAFINIA; ALKALBANI, 2016).

Os blocos de PEAD sofreram deformação local elástica, formando uma deformação lateral apreciável não ocorrendo ruptura do bloco, após a retirada da carga aplicada, as amostras tendem a retornar a sua forma inicial, indicando que os blocos de PEAD possui uma fase elástica maior que os de PP. Podemos observar na Figura 69 a) o bloco antes do ensaio, na Figura 69 b) o bloco recendo uma carga e sofrendo uma deformação local elástica nas laterais do bloco, Figura 69 c) o bloco retornando a sua forma inicial após a remoção da carga aplicada sobre ele e Figura 69 d) recuperação de 100% após os testes, não ocasionando uma deformação residual

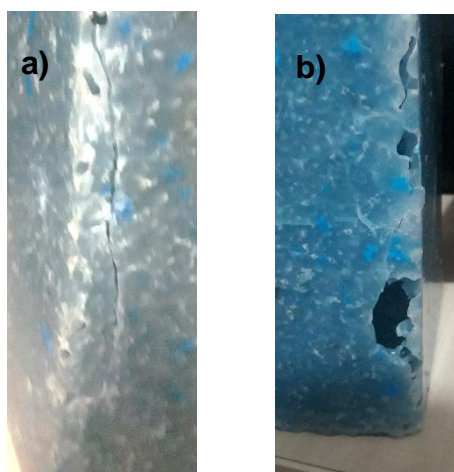
permanente como no estudo de (TORRES; ARAGON, 2006), indicando uma região com deformação elástica mais longa que o bloco de PP.

Quadro 10 - Resistência compressão

Nº de Amostras dos Blocos	Resistencia a Compressão (Mpa)	
	PEAD	PP
1	0,6 MPa	0,9 Mpa
2	0,6 MPa	0,9 Mpa
3	0,6 MPa	0,9 Mpa
4	0,6 MPa	0,9 Mpa
5	0,6 MPa	0,9 Mpa
6	0,6 MPa	0,9 Mpa
7	0,6 MPa	0,9 Mpa
8	0,6 MPa	0,9 Mpa
9	0,6 MPa	0,9 Mpa
10	0,6 MPa	0,9 Mpa
11	0,6 MPa	0,9 Mpa
12	0,6 MPa	0,9 Mpa
13	0,6 MPa	0,9 Mpa

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

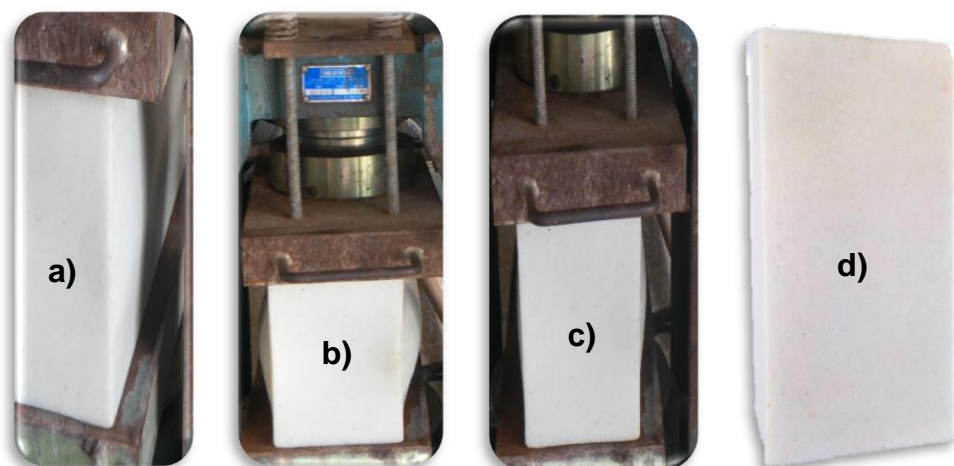
Figura 68 – Fratura do bloco de PP a) lado esquerdo b) lado direito



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 69 - Bloco de PEAD sofrendo deformação elástica a) início do teste b) deformação lateral c) após a remoção da carga d) bloco com recuperação de 100%.





Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Foi adicionado nos blocos uma malha de aço com diâmetro de 3,4 milímetros como reforço para aumentar a resistência a compressão, na Figura 70 a) podemos observar a estrutura desenvolvida para o reforço dos blocos, na Figura 70 b) temos o molde com a armação no seu interior aguardando o material ser despejado, na Figura 70 c) os blocos sendo ensaiados na máquina Emic DL10000MF no laboratório de materiais de construções na Universidade da Amazônia (UNAMA) e na Figura 70 d) a imagem do monitor do computador acoplado a máquina Emic no momento do ensaio.

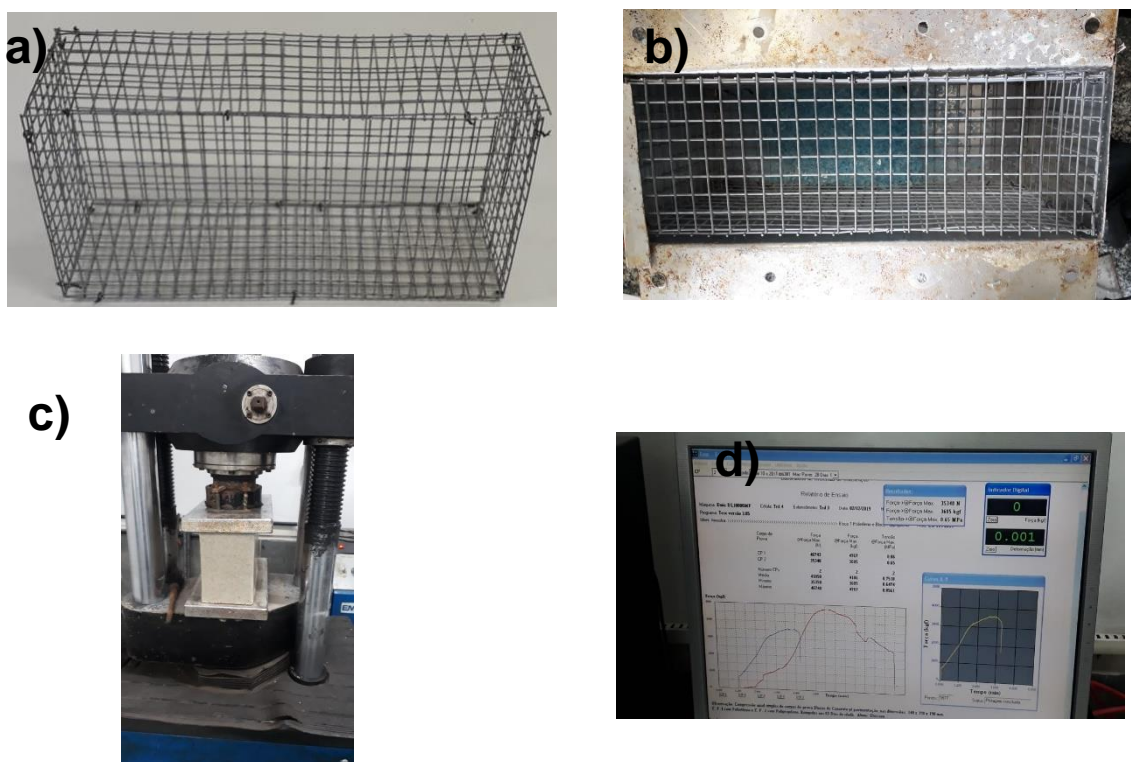
Os blocos de PEAD reforçados com a malha de metal apresentaram melhor resistência a compressão nos blocos de PEAD sem reforço, indicando aumento de 0,26 Mpa, com tensão de força máxima de 0,86 Mpa e os blocos de PP apresentaram redução de 0,25 Mpa exibindo tensão de força máxima de 0,65 Mpa como ilustra a Figura 71.

Os blocos a base de garrafa PET recheados ilustrado na Figura A nos anexos B, pode ser uma boa alternativa para solucionar o aumento de resistência a de compressão, adicionando concreto dentro dos blocos rotomoldados. Outra solução seria a adicionar fibra de sisal ou cabuya alterando as propriedades elásticas do polímero matriz resultando em menor deformação plástica e maior elasticidade, acompanhadas por tempos de recuperação mais curtos (TORRES; ARAGON, 2006). Apesar dos blocos rotomoldados não atingirem as exigências correspondente a resistência mecânica conforme norma adaptada de blocos cerâmicos. Cerca de 60% dos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação certificados e não certificados comercializados na região de Chapecó no estado de Santa Catarina não atingiram as



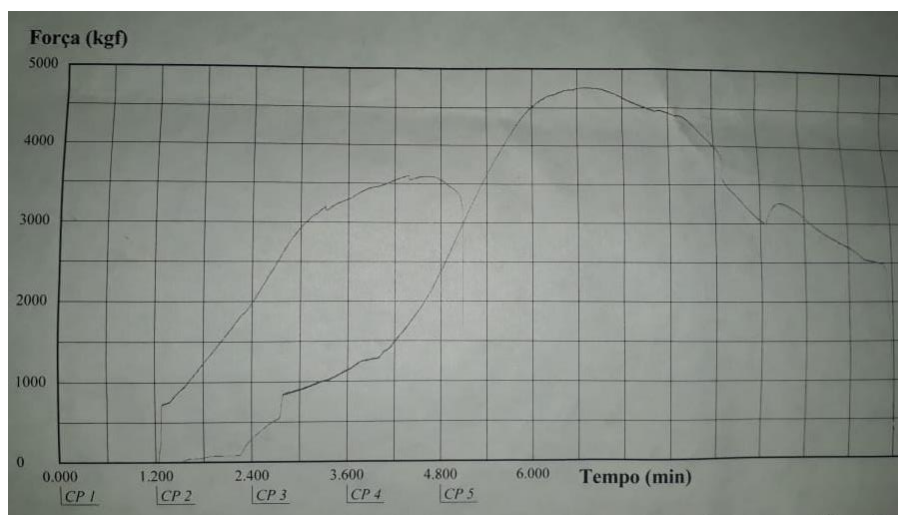
exigências de resistência mecânica e 90% das marcas avaliadas apresentaram algum tipo de não conformidade técnica (PILZ et al., 2015).

Figura 70 - Bloco com malha de reforço



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 71 - Resultado dos blocos com reforço



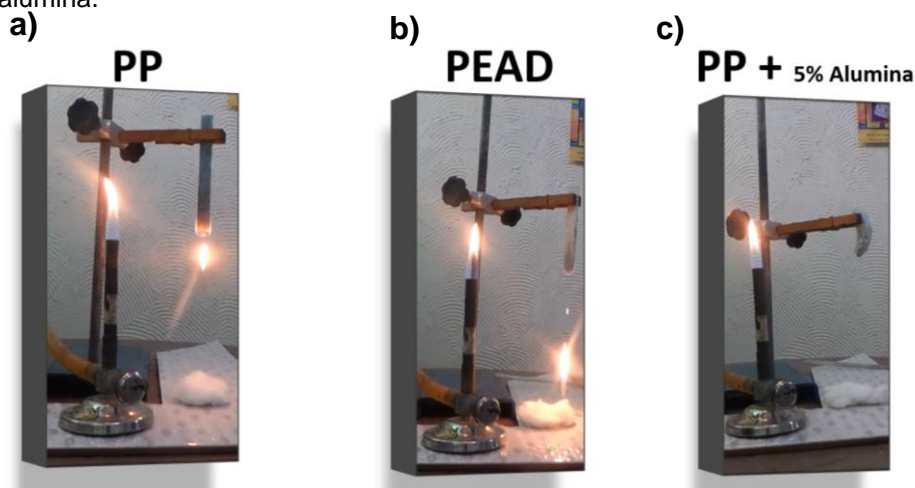
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

#### 4.10 Ensaio de flamabilidade UL 94 vertical

No ensaio de vertical de flamabilidade realizado segundo a norma UL94 vertical nos blocos rotomoldados, as amostras de polietileno e polipropileno sem a incorporação de retardante de chama de alumina, observou-se que as amostras, sofrem ignição seguida de um gotejamento flamejante no algodão na segunda aplicação da chama ao corpo de prova, o caracteriza como os materiais com a classificação segundo a norma UL 94 Vertical de V-2, como podemos observar na Figura 72 a) o gotejamento do PP e Figura 72 b) o gotejamento do PEAD. Na Figura 73 a) a amostra de PP sem chamas e a fibra de algodão com chamas após o cotejamento e na Figura 73 b) o mesmo ocorreu com o PEAD, caracterizando os dois materiais PP e PEAD como V-2.

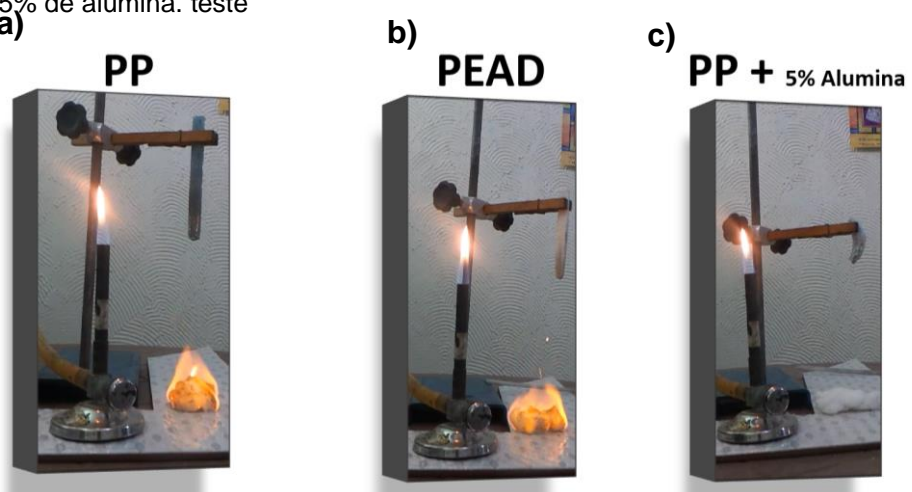
Porém, as amostras com 5% de incorporação de retardante de chama de alumina nos blocos de PEAD e PP, na primeira aplicação da chama por 10 segundos, o conjunto de corpos de prova sustenta a chama por apenas 5 segundos e se apaga, na segunda aplicação da chama por 10 segundos a chama se sustenta por apenas 5 segundos e se apaga, não ocorrendo gotejamento do material no algodão. Assim, atingindo a classificação UL-94 vertical como V-0 demonstrada no Quadro 5 referentes aos de requisitos de classificação e na Figuras 72 c) a amostra de PP com 5% de alumina sem gotejamento e a Figura 73 c) ilustra a fibra de algodão sem chama devido o material ser classificado como V-0.

Figura 72 - Ensaio de flamabilidade após a retirada de 10s da chama a) PP, b) PEAD e c) PP + 5% de alumina.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Figura 73 – Resultado da fibra de algodão depois do ensaio de flamabilidade a) PP, b) PEAD e c) PP + 5% de alumina. teste



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

Foi concretizável o desenvolvimento de blocos ecológicos de poliolefinas recicladas, aumentando o ciclo de vida das embalagens, evitando que sejam despejadas em aterros sanitários e locais inadequados, aplicando os métodos de revalorização de recipientes pós-consumo e reprocessamento por rotomoldagem.

A aplicação de modelagem tridimensional usada com auxílio do *software sketchup* facilitou na visualização com clareza das peças. Assim, possibilitando a caracterização de cores, texturas adequadas para a idealização dos blocos, elaboração do molde montado, demonstrando seu formato adequados para observação dos blocos dentro dos moldes, melhor avaliação do projeto final para o desenvolvimento de método eficaz e reprodução das dimensões das paredes em escala real. Portanto, o *sketchup* é adequado para modelagem para geração de escalas reais.

Foram confeccionados dois modelos de moldes com matérias diferentes, o primeiro molde com placa de aço inox com encaixes de cavidades e segundo molde com placa de alumínio sem encaixes de cavidade. O alumínio mostrou-se ser o melhor material utilizado para confecção dos moldes neste estudo. Prevenindo um desgaste prematuro dos motores, solucionando o problema de peso do molde em relação a máquina desenvolvida no laboratório e chegando à redução de 9kg do peso total do molde e não oferecendo dificuldades no desmolde.

Os blocos submetidos a determinações de características geométricas, obteve as dimensões de medidas de faces apresentando padronização nos blocos de PEAD e PP com largura, altura e comprimento dentro dos limites (135 mm – 145 mm, 185 mm – 195 mm e 385 mm – 395 mm). As determinações das paredes externas apresentaram espessura com 10 mm para PEAD e 11mm para PP e ambas poliolefinas tiveram rugosidades internas. Todos os blocos apresentaram medidas inferiores a 3 mm relacionados a determinações a desvio de esquadro e planeza das faces. A resposta elástica de blocos de PEAD rotomoldados com partículas de diâmetro aparente de 1,53 mm foi de 100% sob a compressão de 0,6 Mpa e os blocos de PP com partículas de diâmetro aparente de 10,15 mm sofreram fratura catastróficas sob 0,9 MP no ensaio de compressão.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para próximas pesquisas, sugere-se o estudo da utilização de materiais reciclados, como o polietileno e polipropileno reciclado agregados a particulado insolúvel do mesocarpo descartados no meio ambiente, onde na região norte ocorre grande produção e consumo do fruto do açaí, acumulando grande quantidade de caroços de açaí despejado em aterros sanitários. Sendo assim, proporcionado blocos ecológicos de compósitos de matérias descartados.

Em comparação aos blocos ilustrados nos anexos B referente a bloco poliméricos, podemos considerar como alternativa, recheiar com concreto para alterar a resistência mecânicas a compressão, similar ao bloco a base de PET recheado de concreto. Como o material utilizado no processo do bloco rotomoldado é 100% reciclado, obterá grande apelo ambiental em comparação com o bloco *Everblock* que não utiliza material reciclado. A coleta seletiva pode gerar empregos e movimentar a economia da cidade, fazendo com que investidores reavalie projetos que gerem custos elevados como o *ByBlock* que utiliza apenas plásticos removidos dos oceanos.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270-1:2017 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, Nov. 2017a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270-2:2017 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, Nov. 2017b.

ACCORSI, R. et al. Int . J . Production Economics Economic and environmental assessment of reusable plastic containers : A food catering supply chain case study. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 152, p. 88–101, 2014.

AGUIAR, V. O.; PITA, V. J. R. R.; MARQUES, M. DE F. V. Nanocomposites of ultrahigh molar mass polyethylene and modified carbon nanotubes. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 19, p. 1–12, 2019.

AL-SALEM, S. . Influential parameters on natural weathering under harsh climatic conditions of mechanically recycled plastic film specimens. **Journal of Environmental Management**, v. 230, n. 44, p. 355–365, 2019.

ALBACH, B. et al. An evaluation of modified Kaolinite surface on the crystalline and mechanical behavior of polypropylene. **Polymer Testing**, v. 75, n. November 2018, p. 237–245, 2019.

AMBRIÈRES, W. PLASTICS RECYCLING WORLDWIDE : CURRENT OVERVIEW AND DESIRABLE. **Field Actions Science Reports The**, n. 19, p. 12–21, 2019.

ARULRAJAH, A. et al. Recycled plastic granules and demolition wastes as construction materials: Resilient moduli and strength characteristics. **Construction and Building Materials**, v. 147, p. 639–647, 2017.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM D790 - 17 - Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

AYADI, O.; AL-DAHIDI, S. Comparison of solar thermal and solar electric space heating and cooling systems for buildings in different climatic regions. **Solar Energy**, v. 188, n. January, p. 545–560, 2019.

BEHAZIN, E. et al. Composites : Part A Long-term performance of b -nucleated

toughened polypropylene- biocarbon composites. **Composites Part A**, v. 105, p. 274–280, 2018.

BELTRÁN, F.; INFANTE, C.; URREAGA, J. Mechanical recycling of poly ( lactic acid ): Evaluation of a chain extender and a peroxide as additives for upgrading the recycled. **Journal of Cleaner Production journal**, v. 219, p. 46–56, 2019.

BENTO, N.; GIANFRATE, G.; HORST, M. Crowdfunding for sustainability ventures. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117751, 2019.

CANO-RUIZ, I. et al. Diseño de una máquina de rotomoldeo basada en el principio de giróscopo Rotomolding machine design based on gyroscope principle. **Revista UIS Ingenierías**, v. 18, n. 3, p. 105–116, 2019.

CANOPOLI, L.; COULON, F.; WAGLAND, S. T. Science of the Total Environment Degradation of excavated polyethylene and polypropylene waste from land fi ll. **Science of the Total Environment**, v. 698, p. 134125, 2020.

CHARMEAU, J.-Y. et al. Modelling of an innovative liquid rotational moulding process. **International Journal of Material Forming**, v. 11, n. 2, p. 257–267, 2017.

CHEN, L. et al. Effects of thermo-oxidative aging on structure and low temperature impact performance of rotationally molded products. **Polymer Degradation and Stability**, v. 161, p. 150–156, 2019a.

CHEN, Y. et al. Ethylene-Propylene Terpolymer-Modified Polyethylene-Based Phase Change Material with Enhanced Mechanical and Thermal Properties for Building Application. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 58, n. 1, p. 179–186, 2019b.

CICLOVIVO. **Arquiteto colombiano constrói casas com plástico e borracha reciclados**. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/arquiteto-colombiano-constroi-casas-com-plastico-e-borracha-reciclados/>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

COLETTI, C. et al. Applied Clay Science How to face the new industrial challenge of compatible , sustainable brick production : Study of various types of commercially available bricks. **Applied Clay Science**, v. 124–125, p. 219–226, 2016.

CRAWFORD, R. J.; GIBSON, S. Rotational Molding: The Basics for Designers. **Rotoworld**, n. May-June, p. 60–66, 2006.

DANSO, A. et al. Stakeholder integration , environmental sustainability orientation and financial performance. **Journal of Business Research**, n. July 2018, p. 0–1, 2019.

DEMICHELIS, F. et al. Improving plastic management by means of people awareness. **CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation**, v. 3, n. 1, p. 33–39, 2019.

DJEKIC, I.; MILORADOVIC, Z.; TOMASEVIC, I. Household food waste in Serbia e Attitudes , quantities and global warming potential. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 44–52, 2019.

DUN, M. et al. Sisal fiber reinforced high density polyethylene pre-preg for potential application in filament winding. **Composites Part B**, v. 159, n. July 2018, p. 369–377, 2019.

DYLLICK, T.; ROST, Z. Towards true product sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 346–360, 2017.

ELSABBAGH, A. et al. Towards selection chart of flame retardants for natural fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Part B**, v. 141, n. June 2017, p. 1–8, 2018.

ESTOKOVA, A.; VILCEKOVA, S.; PORHINCAK, M. Analyzing Embodied Energy, Global Warming and Acidification Potentials of Materials in Residential Buildings. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 1675–1683, 2017.

FARACA, G.; ASTRUP, T. Plastic waste from recycling centres : Characterisation and evaluation of plastic recyclability. **Waste Management**, v. 95, p. 388–398, 2019.

FAUST, J. L. et al. Polypropylene crystallization at an alumina interface using single walled carbon nanotubes. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 543, p. 9–16, 2019.

FEI, P. et al. Thermal Properties and Crystallization Behavior of Bamboo Fiber / High-Density Polyethylene Composites : Nano-TiO<sub>2</sub> Effects. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 39846, p. 1–10, 2014.

FUENTE, A. DE; ROJAS, M.; LEAN, C. MAC. A human-scale perspective on global warming : Zero emission year and personal quotas. **PLOS ONE**, p. 1–17, 2017.

GALLEGO-SCHMID, A.; MENDOZA, J. M. F.; AZAPAGIC, A. Science of the Total Environment Improving the environmental sustainability of reusable food containers in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 628–629, n. 2018, p. 979–989, 2020.

GALLI, B. et al. Uso de garrafas de poli-tereftalato de etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais. **Revista de Arquitetura da IMED**, v. 1, p. 174–181, 2012.

GARG, A. et al. Model predictive control of uni-axial rotational molding process. **Computers and Chemical Engineering**, v. 121, p. 306–316, 2019.

GLÜGE, R. et al. On the effective elastic properties of isotactic polypropylene. **Polymer**, v. 160, n. August 2018, p. 291–302, 2019.



GONZÁLEZ-NÚÑEZ, R. et al. Effect of fiber content and surface treatment on the mechanical properties of natural fiber composites produced by rotomolding. **Composite Interfaces**, v. 24, n. 1, p. 35–53, 2016.

GONZÁLEZ, M. E. et al. Effect of Maleated PLA on the Properties of Rotomolded PLA-Agave Fiber Biocomposites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 1, p. 61–73, 2019.

GRECO, A. et al. Thermal and Mechanical Analysis of Polyethylene Homo-Composites Processed by Rotational Molding. **Polymers**, 2019.

GRECO, A.; FERRARI, F.; MAFFEZZOLI, A. Processing of Super Tough Plasticized PLA by Rotational Molding. **Advances in Polymer Technology**, 2019.

HAGITA, K.; FUJIWARA, S.; IWAOKA, N. An accelerated united-atom molecular dynamics simulation on the fast crystallization of ring polyethylene melts. **Journal of Chemical Physics**, v. 150, n. 7, 2019.

HAMIDI, A. et al. Modelling of sintering during rotational moulding of the thermoplastic polymers. **International Journal of Material Forming**, v. 9, n. 4, p. 519–530, 2016.

HASSAN, M. I. UL; TAIMUR, S.; YASIN, T. Upcycling of polypropylene waste by surface modification using radiation-induced grafting. **Applied Surface Science**, v. 422, p. 720–730, 2017.

HE, Q. et al. Magnetic high density polyethylene nanocomposites reinforced with in-situ synthesized Fe @ FeO core-shell nanoparticles. **Polymer**, v. 53, n. 16, p. 3642–3652, 2012.

HUI, Z. et al. Global warming and rainfall : Lessons from an analysis of Mid-Miocene climate data. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 512, n. January, p. 106–117, 2018.

HUMMEL, K.; SCHLICK, C.; FIFKA, M. The Role of Sustainability Performance and Accounting Assurors in Sustainability Assurance Engagements. **Journal of Business Ethics**, v. 154, n. 3, p. 733–757, 2019.

HUYSVELD, S. et al. Advancing circular economy benefit indicators and application on open-loop recycling of mixed and contaminated plastic waste fractions. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 1–13, 2019.

IDLE, T. **ByFusion : Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste**. Disponível em: <<https://sustainablebrands.com/read/product-service-design-innovation/byfusion-creating-the-building-blocks-for-tackling-ocean-waste>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

JIANG, G. et al. Ultra-large sized graphene nano-platelets (GnPs) incorporated

polypropylene (PP)/GnPs composites engineered by melt compounding and its thermal, mechanical, and electrical properties. **Composites Part B: Engineering**, v. 133, p. 218–225, 2017.

JNR, A. K. et al. Recycling waste plastics in developing countries : Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks. **Waste Management**, v. 80, p. 112–118, 2018.

KASHIMA, D. P. et al. Effects of analcime zeolite synthesized from local pottery stone as nucleating agent on crystallization behaviors and mechanical properties of isotactic polypropylene. **Journal of Vinyl and Additive Technology**, v. 24, p. E85–E95, 2017.

KRISTOUFEK, L. Has global warming modified the relationship between sunspot numbers and global temperatures? **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 468, p. 351–358, 2017.

KURAD, R. et al. Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 485–502, 2017.

KVITEK, O. et al. Immobilization of Fe@Au superparamagnetic nanoparticles on polyethylene. **European Polymer Journal**, v. 110, n. October 2018, p. 56–62, 2019.

LEE, D. et al. Monitour: Tracking global routes of electronic waste. **Waste Management**, v. 72, p. 362–370, 2018.

LEE, I. G. et al. Effect of the cooling rate on the mechanical properties of glass fiber reinforced thermoplastic composites. **Composite Structures**, v. 177, p. 28–37, 2017.

LENG, G. Science of the Total Environment Keeping global warming within 1 . 5 ° C reduces future risk of yield loss in the United States: A probabilistic modeling approach. **Science of the Total Environment**, v. 644, p. 52–59, 2018.

LI, J. et al. Environmentally-friendly technology for rapid on-line recycling of acrylonitrile-butadiene-styrene , polystyrene and polypropylene using near-infrared spectroscopy. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 838–844, 2019.

LISBOA, R. S. Guia elaboração de trabalhos academicos. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ BIBLIOTECA CENTRAL**, p. 1–99, 2019.

LIU, S. et al. Polydopamine particles as a B-nucleating agent and antioxidant for isotactic polypropylene. **Chemical Engineering Journal**, v. 363, n. October 2018, p. 1–12, 2019.

LÖHNER, M.; DRUMMER, D. Experimental Studies on the Bonding Strength and Fracture Behavior of Incompatible Materials Bonded by Mechanical Adhesion in Multilayer Rotational Molding. **Journal of Polymers**, v. 2016, n. step 1, 2016.

LÓPEZ-BAÑUELOS, R. H. et al. Rotational Molding of Polyethylene Composites Based on Agave Fibers. **POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE**, 2012.

LUCAS, A. et al. Conventional rotational molding process and aerodynamic characteristics of an axial-flow hollow blades rotor. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1183–1194, 2019.

MAHMOUD, M. E. et al. Recycled high-density polyethylene plastics added with lead oxide nanoparticles as sustainable radiation shielding materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 276–287, 2018.

MDYUNUS, A. S.; HOCK, T. T. Geometric Thinking of Malaysian Elementary School Students. **International Journal of Instruction**, v. 12, n. 1, p. 1095–1112, 2019.

MILLER, L. et al. Challenges and Alternatives to Plastics Recycling in the Automotive Sector. **materials**, p. 5883–5902, 2014.

MONDAL, M. K.; BOSE, B. P.; BANSAL, P. Recycling waste thermoplastic for energy efficient construction materials: An experimental investigation. **Journal of Environmental Management**, v. 240, n. May 2018, p. 119–125, 2019.

MORAES, G. D. V. et al. Sustainability and innovation in the Brazilian supply chain of green plastic. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 12–18, 2018.

NATARAJAN, O. A. V; DING, Z. C. M.; BENTSMAN, J. Modeling and control of resonance effects in steel casting. **Acta Mechanica**, v. 230, n. 6, p. 2087–2104, 2019.

NOBREGA, J.; JAYARAMAN, R. Recycling of crosslinked high-density polyethylene through compression molding. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 48145, p. 1–16, 2019.

NUGENT, P. all the world in a spin. **rotational moulding product showcase**, p. 48–52, 2019.

OGILA, K. O. et al. Rotational molding: A review of the models and materials. **Express Polymer Letters**, v. 11, n. 10, p. 778–798, 2017.

OLIVEIRA, S. R. C. DE et al. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS MODULARES. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, 2017a.

OLIVEIRA, T. A. et al. Effect of reprocessing cycles on the degradation of PP/PBAT-thermoplastic starch blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 168, p. 52–60, 2017b.

PAOLI, R. rotational moulding and design: the perfect match for amazing products. **rotational moulding product showcase**, p. 53–55, 2019.

PAULA, A. et al. A pixel counting technique for sun patch assessment within building enclosures. **Solar Energy**, v. 184, n. April, p. 173–186, 2019.

PEIXOTO, L. et al. Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State , Brazil. **Waste Management**, v. 85, p. 477–489, 2019.

PÉREZ-VILLAREJO, L. et al. Comparative study of the use of different biomass from olive grove in the manufacture of sustainable ceramic lightweight bricks. **Construction and Building Materials**, v. 231, 2020.

PHILLIS, Y. A.; KOUIKOGLU, V. S.; VERDUGO, C. Urban sustainability assessment and ranking of cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 64, p. 254–265, 2017.

PILZ, S. E. et al. Verificação da qualidade dos blocos cerâmicos conforme NBR 15270 comercializados em Santa Catarina. v. 2, n. 2, p. 19–26, 2015.

PROVIDAKIS, S.; ROGERS, C. D. F.; CHAPMAN, D. N. Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 92, n. January, p. 103049, 2019.

PRUNIER, J. et al. Trace metals in polyethylene debris from the North Atlantic subtropical gyre. **Environmental Pollution**, v. 245, p. 371–379, 2019.

PUTTI, F. F. et al. A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, p. 124–129, 2017.

QUARATINO, A. Pushing the boundary of the rotomoulding process by introducing a new roto polyamide-6 material for higher temperatures and lighter weight applications. **rotational moulding product showcase**, p. 64–65, 2019.

RAFIEIPOUR, P.; GHASEMPOUR, A.; PARSANASAB, G. Random lasing emission from FTO and glass substrates coated with dye doped SU-8 epoxy based polymer. **Optics and Laser Technology**, v. 119, n. March, p. 105602, 2019.

RAGAERT, K.; DELVA, L.; VAN GEEM, K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. **Waste Management**, v. 69, p. 24–58, 2017.

RAMKUMAR, P. L. et al. Prediction of heating cycle time in Rotational Moulding. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, n. 4–5, p. 3212–3219, 2015.

RAUT, S. P.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste : A review of waste-create bricks. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 10, p. 4037–4042, 2011.

RAZAK, N. W. A.; KALAM, A. Effect of OPEFB Size on the Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of OPEFB / PPnanoclay / PP Hybrid Composites. **Procedia Engineering**, v. 41, n. Iris, p. 1593–1599, 2012.

SAFINIA, S.; ALKALBANI, A. Use of recycled plastic water bottles in concrete blocks. **Procedia Engineering**, v. 164, n. June, p. 214–221, 2016.

SAGO, T. Local chemical environment in hexane-methylethylketone solutions as a model of polyethylene degradation investigated by fluorescence spectroscopy. **Chemical Physics Letters**, v. 716, n. March 2018, p. 17–21, 2019.

SARTINI, G. G. P. O. et al. Resíduos Sólidos Urbanos. **PANORAMA DOS RESIDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2017**, p. 1–74, 2018.

SASIDHARAN, P. et al. Effect of plasma modification of polyethylene on natural fibre composites prepared via rotational moulding. **Composites Part B**, v. 177, n. August, p. 107344, 2019.

SCHNEIDER, A.; MACK, C.; RAPP, F. Poliolefinas expandidas produzidas a partir de matérias-primas secundárias. **Plástico Industrial**, v. 221, p. 34–39, 2017.

SHI, Q. et al. Reprint of: Challenges of developing sustainable neighborhoods in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. S42–S53, 2017.

SHOKRIEH, M.; JONEIDI, V. Characterization and simulation of impact behavior of graphene / polypropylene nanocomposites using a novel strain rate – dependent micromechanics model. **Journal of Composite Materials**, 2015.

SILVA, T. D.; PAULA, H. M. DE; SILVA, D. Uso de granulado de borracha em substituição parcial ao agregado miúdo na produção de tijolos ecológicos Use of crumb rubber to partially replace fine aggregate in the production of green bricks. **revista Matéria**, v. 22, 2017.

SILVEIRA, E. DA. Casa de plástico Polímeros substituem tijolos de argila e dormentes de ferrovias. **Pesquisa fapesp**, 2011.

SINGH, N. et al. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. **Composites Part B: Engineering**, v. 115, p. 409–422, 2016.

SINGH, S. et al. Tensile and flexural behavior of hemp fiber reinforced virgin- recycled HDPE matrix composites. **MSPRO**, v. 6, n. Icmpc, p. 1696–1702, 2014.

SONG, R. A semi-automatic method for 3D modeling and visualizing complex geological bodies. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, p. 1371–1383, 2019.

STARR, J.; NICOLSON, C. Patterns in trash: Factors driving municipal recycling in Massachusetts. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 99, p. 7–18, 2015.

STEWART, A.; NEVILL, A.; JOHNSON, C. The Ability of Adults of Different Size to Egress Through Confined Space Apertures. **Human Factors**, v. 61, p. 895–905, 2019.

SUN, J.; WU, S.; YANG, K. An ecosystemic framework for business sustainability. **Business Horizons**, v. 61, n. 1, p. 59–72, 2017.

TORRES, F. G. Ã.; ARAGON, C. L. Final product testing of rotational moulded natural fibre-reinforced polyethylene. **Polymer Testing**, v. 25, p. 568–577, 2006.

TSOU, C. H. et al. Rendering polypropylene biocomposites antibacterial through modification with oyster shell powder. **Polymer**, v. 160, n. September 2018, p. 265–271, 2019.

UEKI, M.; PISANU, L. **Fundamentos do processo de rotomoldagem**. Novatec Ed ed. São Paulo: 2017, 2007.

VANDENBERG, L. N.; LUTHI, D.; QUINERLY, D. A. Plastic bodies in a plastic world : multi-disciplinary approaches to study endocrine disrupting chemicals. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 373–385, 2017.

VETTER, L. et al. In fl uence of Vacuum on the Porosity and Mechanical Properties in Rotational Molding. **POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE**, 2019.

VIGNALI, A. et al. Surface Modified Hollow Glass Microspheres for Use Mechanical Properties. **polymers**, p. 1–15, 2019.

WANG, K. et al. Analysis of thermomechanical reprocessing effects on polypropylene / ethylene octene copolymer blends. **Polymer Degradation and Stability journal**, v. 97, p. 1475–1484, 2012.

WANG, L. **Amazing building made from 1 . 5 million plastic bottles withstands fires and earthquakes**. Disponível em: <<https://inhabitat.com/amazing-plastic-bottle-architecture-withstands-earthquakes-in-taipei/>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

WANG, Y. et al. Optimization on Reducing Slag Entrapment in 150 × 1270 mm Slab Continuous Casting Mold. **materials**, 2019a.

WANG, Z. et al. Understanding structure-mechanics relationship of high density polyethylene based on stress induced lattice distortion. **Polymer**, v. 160, n. September 2018, p. 170–180, 2019b.

WEI, B. et al. In-situ grafting of carboxylic acid terminated poly(methyl methacrylate) onto ethylene-glycidyl methacrylate copolymers:One-pot strategy to compatibilize

immiscible poly(vinylidene fluoride)/ low density polyethylene blends. **Polymer**, v. 160, n. August 2018, p. 162–169, 2019.

WU, P. et al. Realizing simultaneous toughening and reinforcement in polypropylene blends via solid die-drawing. **Polymer**, v. 161, n. October 2018, p. 109–121, 2019.

XIA, Y. et al. Epoxy resin / phosphorus-based microcapsules : Their synergistic effect on flame retardation properties of high-density polyethylene / graphene nanoplatelets composites. **Journal of Applied Polymer Science APPL. POLYM. SCI.**, v. 46662, p. 1–10, 2018.

YAMASHITA, T. et al. Metal-coated plastics recycling by pulsed electric discharge. **Waste Management**, v. 89, p. 57–63, 2019.

YANG, B. et al. Synergistic and compatibilizing effect of octavinyl polyhedral oligomeric silsesquioxane nanoparticles in polypropylene / intumescent flame retardant composite system. **Composites Part A**, v. 123, n. December 2018, p. 46–58, 2019a.

YANG, B.; WANG, S.; TANG, Q. Modeling and 3D Simulation of the Mould Compression and Resin Flow for Force-Controlled Compression Resin Transfer Moulding. v. 25, n. 1, p. 71–78, 2019.

YANG, X. et al. Polyethylene/silica nanorod composites with reduced dielectric constant and enhanced mechanical strength. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 9, p. 24–28, 2019b.

YLMÉN, P. et al. The influence of secondary effects on global warming and cost optimization of insulation in the building envelope. **Building and Environment**, v. 118, p. 174–183, 2017.

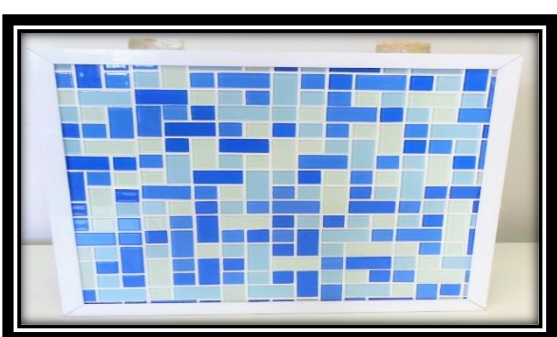
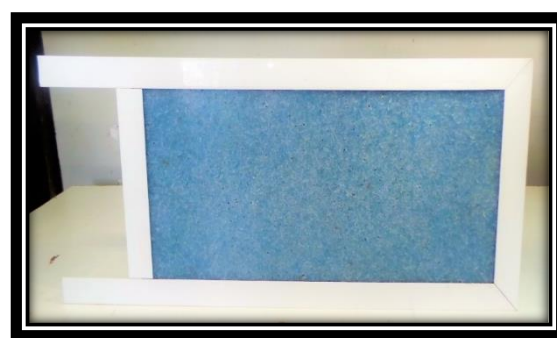
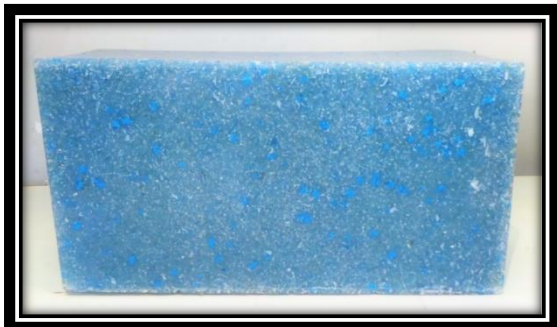
ZHANG, Q. et al. Temperature varied biochar as a reinforcing filler for high-density polyethylene composites. **Composites Part B**, v. 175, n. June, p. 107151, 2019.

ZHOU, Y. et al. A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment. **Waste Management**, v. 99, p. 42–48, 2019.

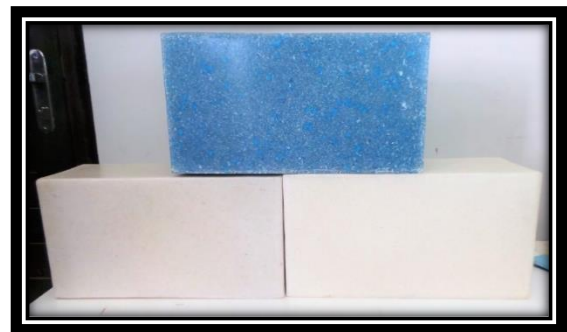
ZHU, K. et al. Effect of  $\beta$ -nucleating agent on crystallization of post-consumer polypropylene. **Thermochimica Acta**, v. 675, n. January, p. 63–68, 2019.

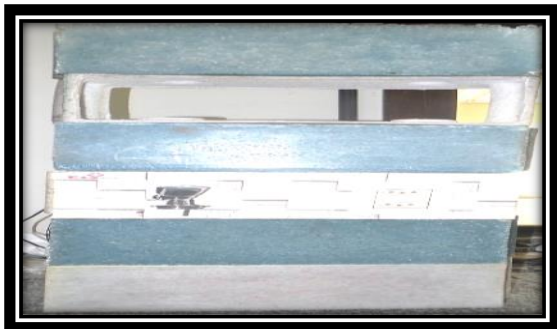
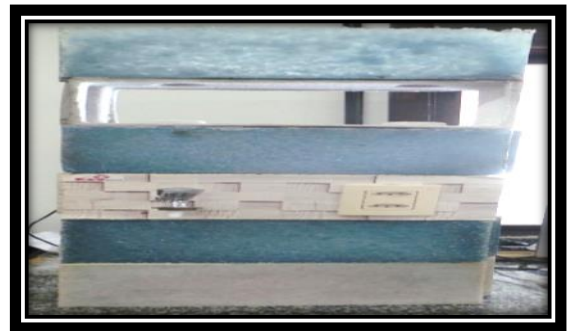
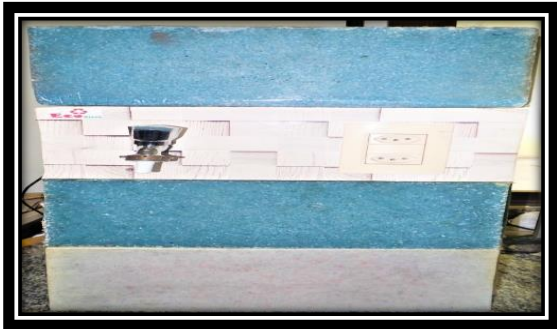
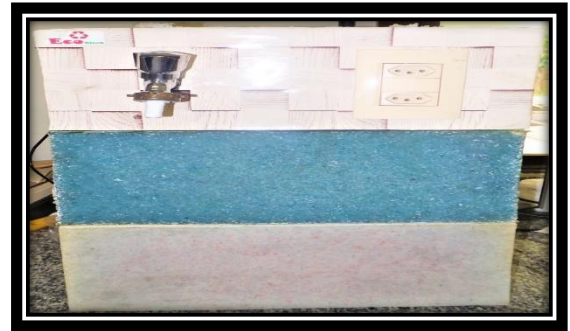
ZYCH, A. et al. Strain-reporting pyrene-grafted polyethylene. **European Polymer Journal**, v. 111, n. August 2018, p. 69–73, 2019.

### APÊNDICE A – MODELOS DOS BLOCOS ROTOMOLDADOS

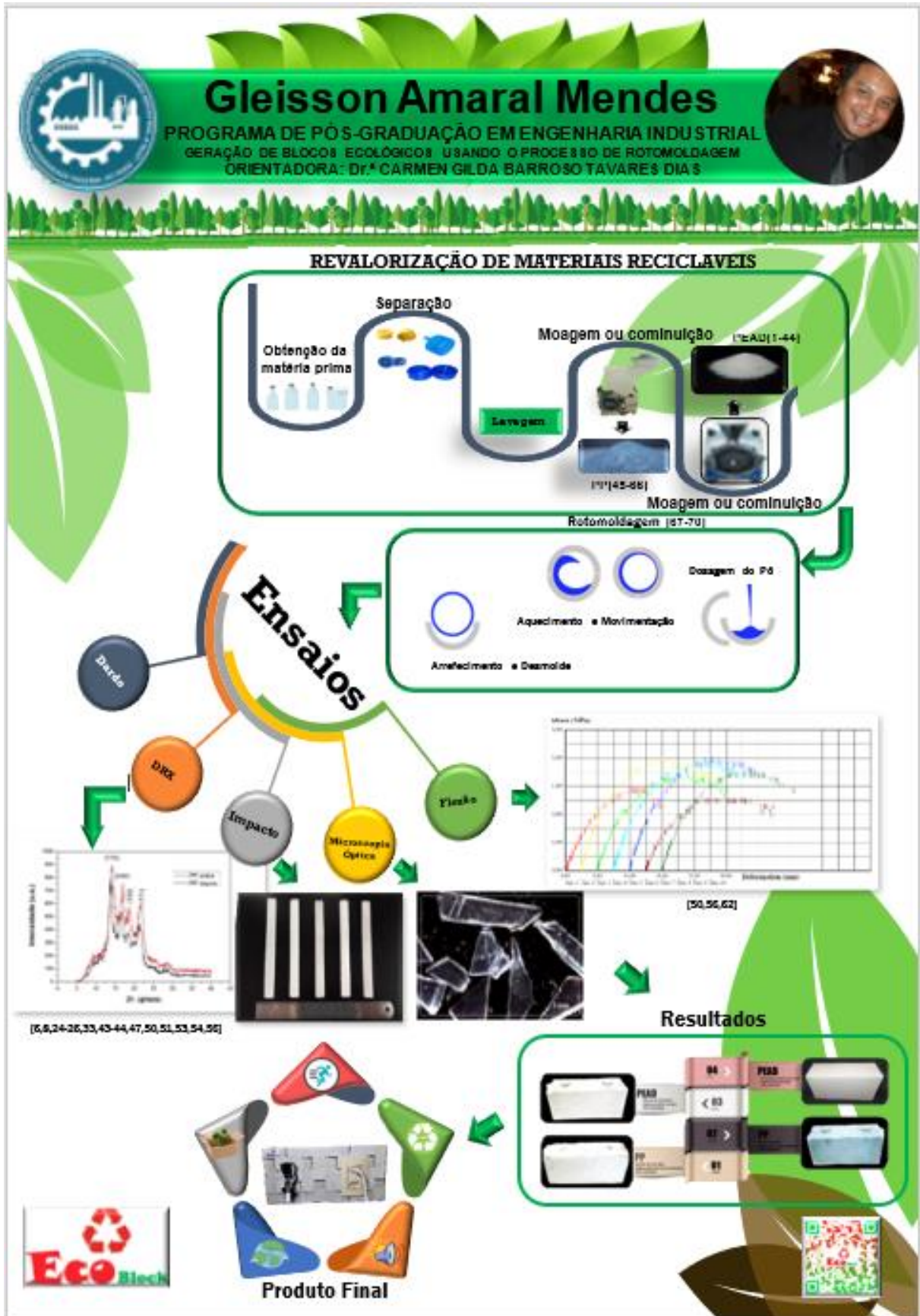






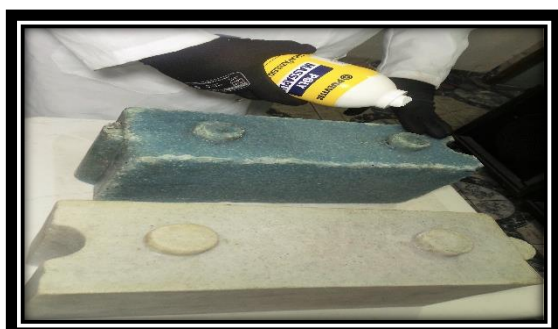
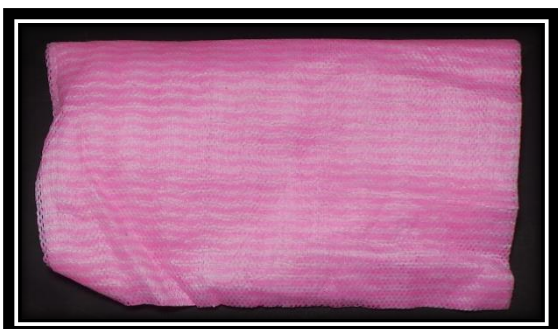


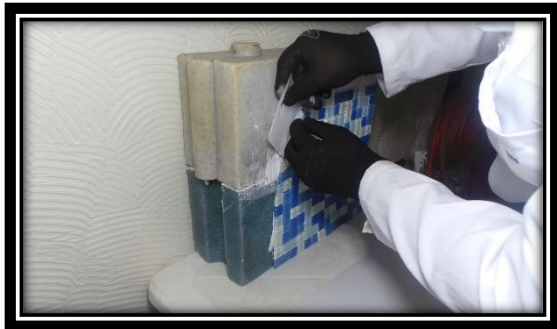
APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DOS BLOCOS ROTOMOLDADOS



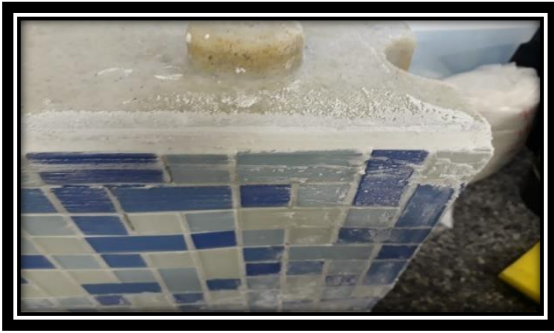


## APÊNDICE C – PROCEDIMENTO DE APLICABILIDADE DO BLOCO

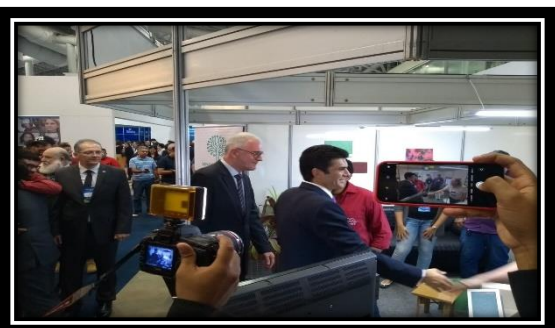






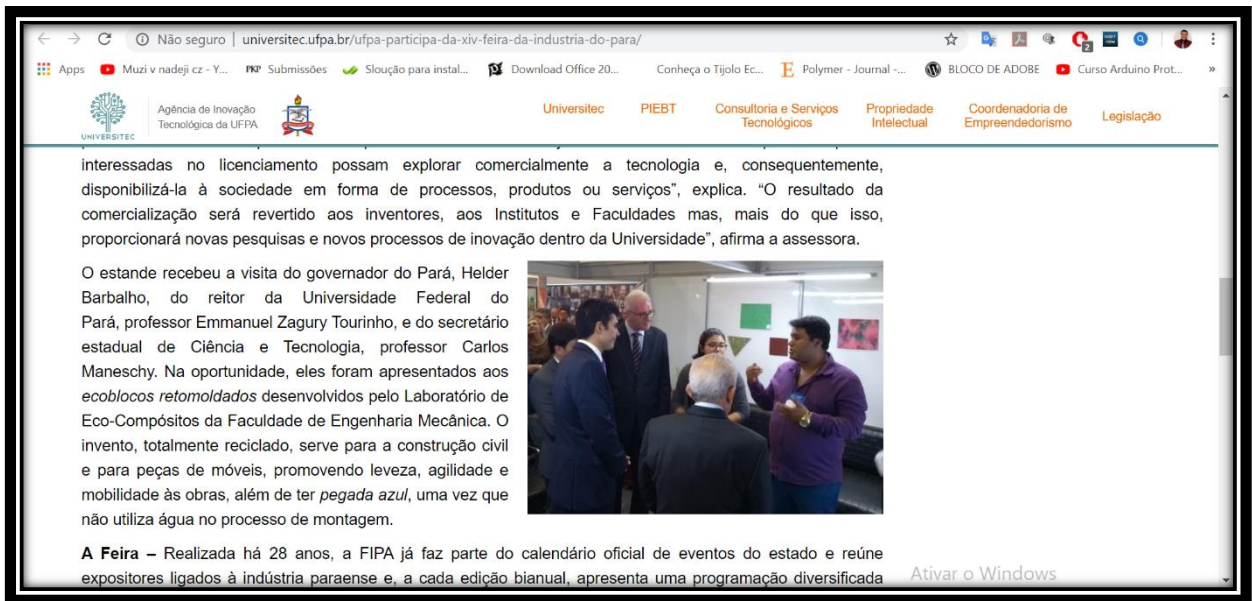
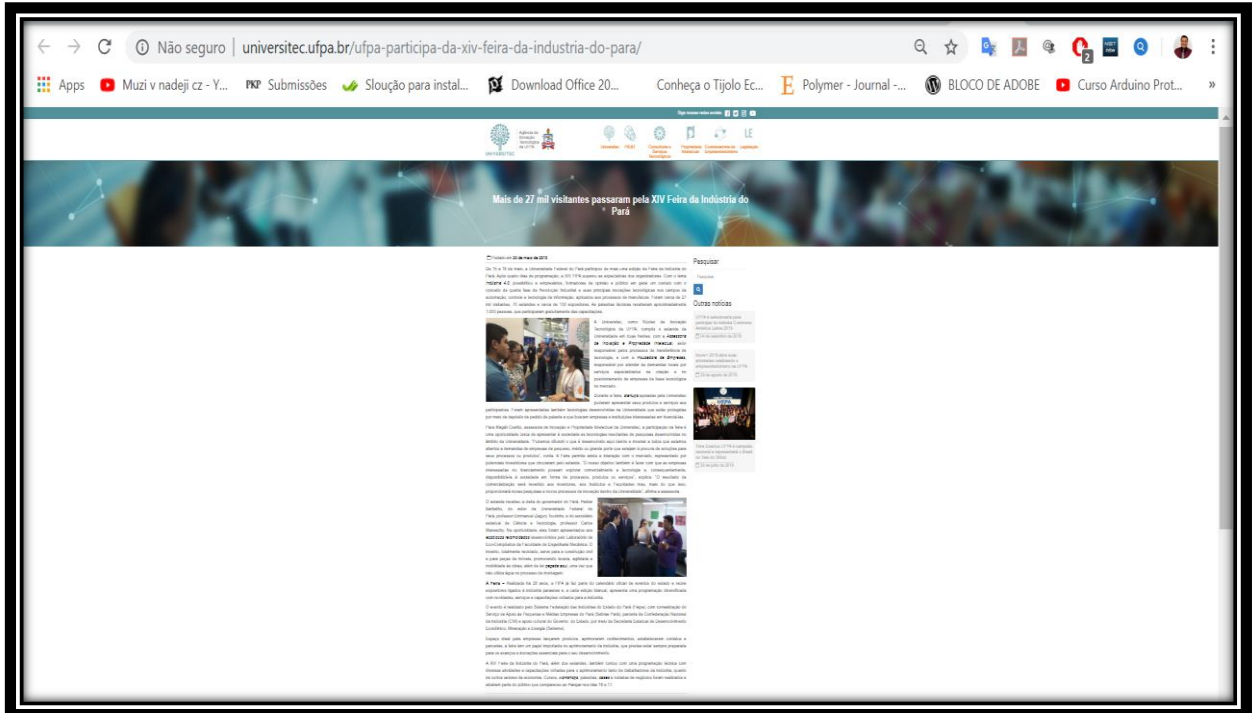


**APÊNDICE D – APRESENTAÇÃO DO ESTUDO NA XIV FEIRA DA INDÚSTRIA DO PARÁ (FIPA)**





# ANEXOS A – MATÉRIA SOBRE O BLOCO ROTOMOLDADO





## ANEXOS B – BLOCOS POLIMERICOS

Figura A – Bloco à base de garrafas PET recheados



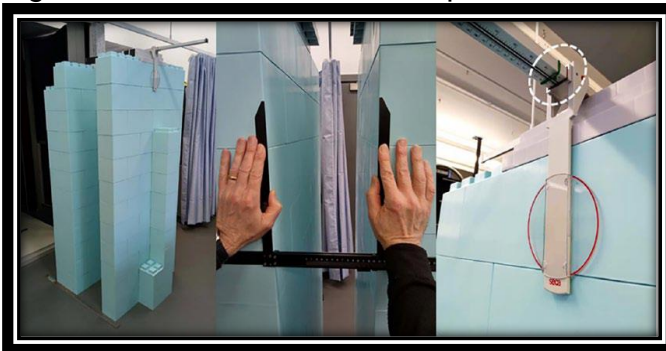
Fonte: GALLI et al., 2012<sup>5</sup>.

Figura B - *ByBlock* utilizando processo de compactação



Fonte: IDLE, 2016<sup>6</sup>.

Figura C - *Everblock* blocos de particionamento de plásticos



Fonte: STEWART; NEVILL; JOHNSON, 2019.<sup>7</sup>

<sup>5</sup> GALLI, B. et al. Uso de garrafas de poli-tereftalato de etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais. Revista de Arquitetura da IMED, v. 1, p. 174–181, 2012.

<sup>6</sup> IDLE, T. **ByFusion: Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste**. Disponível em: <<https://sustainablebrands.com/read/product-service-design-innovation/byfusion-creating-the-building-blocks-for-tackling-ocean-waste>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

<sup>7</sup> STEWART, A.; NEVILL, A.; JOHNSON, C. The Ability of Adults of Different Size to Egress Through Confined Space Apertures. **Human Factors**, v. 61, p. 895 –905, 2019

Figura D - Edifício *EcoARK*



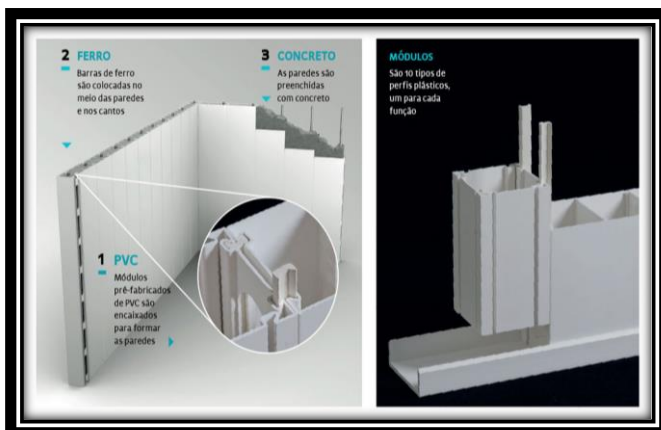
Fonte: WANG, 2017<sup>8</sup>.

Figura E - blocos ocos de PET reciclado chamados de *Polli-Bricks*



Fonte: Fonte: WANG, 2017<sup>4</sup>.

Figura F - Bloco plástico Concreto PVC

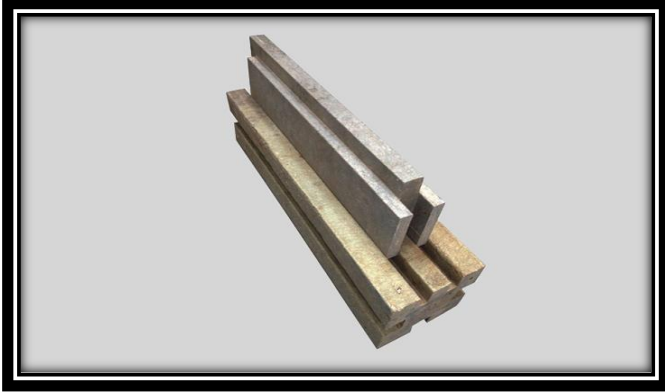


Fonte: SILVEIRA, 2011<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> WANG, L. **Amazing building made from 1 . 5 million plastic bottles withstands fires and earthquakes.** Disponível em: <<https://inhabitat.com/amazing-plastic-bottle-architecture-withstands-earthquakes-in-taipei/>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

<sup>9</sup> SILVEIRA, E. DA. Casa de plástico Polímeros substituem tijolos de argila e dormentes de ferrovias. **Pesquisa fapesp**, 2011.

Figura G – BloquePas projetado pela empresa Conceptos Plásticos



Fonte: CICLOVIVO, 2016<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> CICLOVIVO. **Arquiteto colombiano constrói casas com plástico e borracha reciclados.** Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/arquiteto-colombiano-constroi-casas-com-plastico-e-borracha-reciclados/>>. Acesso em: 21 fev. 2020.