

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**Elaine Ferreira de Souza**

**ROCHAS ARTIFICIAIS DE REVESTIMENTO A PARTIR DO  
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE VÍTREO**

Campina Grande – PB

2019

**Elaine Ferreira de Souza**

**ROCHAS ARTIFICIAIS DE REVESTIMENTO A PARTIR DO  
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE VÍTREO**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais**.

**Orientador:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Crislene Rodrigues da Silva Morais

Agência Financiadora: CAPES

Campina Grande – PB

2019

S729r Souza, Elaine Ferreira de.  
Rochas artificiais de revestimento a partir do reaproveitamento de resíduo vítreo / Elaine Ferreira de Souza. – Campina Grande, 2019.  
73 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.  
"Orientação: Prof. Dr. Crislene Rodrigues da Silva Moraes".  
Referências.

1. Rocha artificial. 2. Reaproveitamento. 3. Vidro sódico-cálcico. 4. Compósito Polimérico. 5. Resina poliéster. I. Moraes, Crislene Rodrigues da Silva. II. Título.

CDU 552.1(043)

## **VITAE DO CANDIDATO**

Nesta parte o autor deve inserir a Titulação, Instituição e ano, conforme exemplo abaixo.

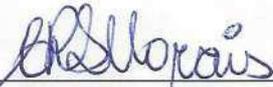
- Arquiteta e Urbanista pela FACISA (2014).
- Especialização em Gerenciamento de Projetos pela Anglo Americano (2015).

ELAINE FERREIRA DE SOUZA

ROCHAS ARTIFICIAIS DE REVESTIMENTO A PARTIR DO  
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO VÍTREO

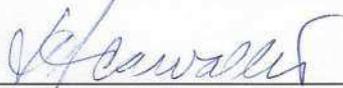
Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Ciência e  
Engenharia de Materiais como requisito  
parcial à obtenção do título de **Mestre  
em Ciência e Engenharia de  
Materiais**.

Aprovado em: 28/02/2019



---

Dr.<sup>a</sup> Crislene Rodrigues da Silva Morais  
Orientadora  
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



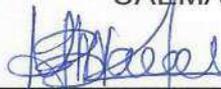
---

Dr.<sup>a</sup> Laura Hecker de Carvalho  
Examinadora Interna  
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



---

Dr. Carlos Thiago Candido Cunha  
Examinador Externo  
UAEMa/UFCG



---

Dr.<sup>a</sup> Isis Tatiane de Barros Macêdo Veloso  
Examinadora Externa  
UFCG

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”.

Leonardo Da Vinci

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS, por me permitir estar aprendendo a cada dia, aos meus pais, Cleone e Adjane Souza que me acompanharam e me apoiaram nesse desafio, ao meu querido noivo, Breno Antonino, que me trouxe ânimo quando mais me faltava e principalmente por me auxiliar na realização dos experimentos. A meus avós que me trazem grande alegria e as velas que minha avó Lindinalva sempre acende por mim.

Gratidão a todos que me trouxeram a esses caminhos, Eduardo Tavares que passou todo o nosso MBA falando sobre a professora Laura Hecker, ao escritório de arquitetura Benício Melo, nas pessoas da Mônica Melo, Daniela e Juliana Benício, lugar que foi minha casa por três anos, e que me apoiaram na decisão de buscar esse novo desafio.

Ao professor Dr. Marcos Vinicius Lia fook que me incentivou a entrar como aluna especial no programa (PPG-CEMat), onde dei os primeiros passos, e conheci a professora Dra. Crislene Rodrigues da Silva Moraes, que propôs o trabalho com reaproveitamento de vidro e me orientou a pesquisa.

Aos meus amigos do Mestrado, Glauber Moraes, Otto Cumberbatch, Eudes Leonnan e Mykaell Yan, que me auxiliaram em todo esse processo de aprendizagem. E a Dra Isis Tatiane de Barros Macêdo Veloso que me deixou seu antigo armário do doutorado com os equipamentos de beneficiamento do vidro, o qual como agradecimento estou encaminhando agora para Suzane, que com certeza também fará bom uso de tudo, e para quem também desejo que traga tanta sorte quando me trouxe.

## RESUMO

Rochas artificiais são materiais compósitos particulados com alto teor de agregados naturais e uma matriz polimérica, sendo amplamente utilizados na construção civil. Essa classe de rochas tem tido uma demanda crescente em todo o mundo. No caso do Brasil, dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, ABIROCHAS, indicam um crescimento considerável na demanda nacional ao longo dos anos. A pesquisa tem como objetivo a produção e caracterização físico-mecânica, de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos de vidro sódico-cálcicos de descarte doméstico para aplicação como revestimento de ambientes internos na construção civil. A metodologia compreende o beneficiamento dos resíduos vítreos, a sua caracterização química, a preparação dos compósitos, a confecção das placas, preparação dos corpos de prova e caracterização físico-mecânica das placas segundo as Normas da ASTM e ABNT. Os compósitos no estudo de compressão, alcançaram uma tensão de ruptura média de 14,0 MPa. No estudo do comportamento à flexão os compósitos alcançaram uma tensão de ruptura média de 6,1 MPa. Os compósitos resultantes deste trabalho são economicamente e ambientalmente justificados pelo baixo custo e pela reutilização dos resíduos. Resultando em um novo material a custos mais competitivos como revestimentos impermeáveis para mercado da construção civil.

**Palavras-chave:** Rocha artificial; Reaproveitamento; Vidro sódico-cálcico; Compósito polimérico; Resina poliéster.

## **ABSTRACT**

Artificial stones are particulate composite materials with high content of natural aggregates and a polymeric matrix, being widely used in civil construction. This class of stone has been in increasing demand all over the world. Data from the Brazilian Association of the Ornamental Stones Industry, ABIROCHAS, indicate a considerable growth in national demand over the years. The objective of this research is the production and physical-mechanical characterization of a polymer matrix composite with sodium-calcium glass residue from domestic waste to be used in internal environments in civil construction. The methodology comprises the processing of the vitreous residues, their chemical characterization, composite manufacture, plate and test specimens preparation and determination of the physico-mechanical properties of the plates according to the ASTM and ABNT standards. The composites reached an average stress at break of 14.0 MPa in compression and of 6.1 MPa in flexural mode. The composites resulting from this work are economically and environmentally justified by the low cost and reuse of waste. Resulting in a new material at more competitive costs like waterproof coatings for the construction market.

**Keywords:** Artificial stone; Reuse; Sodium-calcium glass; Polymeric composite; Polyester resin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais ingredientes na preparação da matriz de poliéster e estrutura molecular da resina poliéster insaturada. Fonte: Esquema do autor. ....	20
Figura 2 - Fluxograma das principais etapas do processo de fabricação de uma garrafa de vidro. Fonte: Esquema do Autor.....	23
Figura 3 - Etapas do processo de fabricação da pedra artificial. Fonte: COMPAC MARMOL DE QUARTZ, 2010.....	25
Figura 4 - Garrafas utilizadas na pesquisa. Fonte: Arquivo do autor. ....	38
Figura 5 - Imagem do Matriz produzida durante e utilizada na pesquisa. Fonte: Arquivo do autor. ....	39
Figura 6 - Fluxograma dos Procedimentos Experimentais.....	40
Figura 7 - Vidro triturado. Fonte: Arquivo do autor. ....	41
Figura 8 - Execução do método de peneiramento fino Fonte: Arquivo do autor.....	42
Figura 9 - Granulometrias de a) 9mesh, b) 28mesh e c) 35mesh.....	42
Figura 10 - Aspecto visual das peças até ajuste final da massa de carga, de A) a C): RA1, RA2 e RA3, de D) a F): RA12 e RA23 RA123.....	43
Figura 11 - Corpos de prova contados em serra circular em marmoraria parceira. Fonte: Arquivo do autor.....	44
Figura 12 - Corpos de prova durante o ensaio de absorção de água. Fonte: Arquivo do autor. ....	46
Figura 13 - Equipamento de ensaio universal Pulser SFL-100kN da Shimadzu durante a realização do ensaio de Flexão em três pontos. Fonte: Arquivo do autor.....	47
Figura 14 - Equipamento de ensaio universal Servo Pulser SFL-100kN da Shimadzu durante a realização do ensaio de Compressão. Fonte: Arquivo do autor. ....	47
Figura 15 - Curva de DRX dos resíduos de vidro utilizados.....	50
Figura 16 - Aparência visual dos compósitos de resina poliéster com pó de vidro. Fonte: Arquivo do autor.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de resina poliéster.....	19
Tabela 2 - Composição das principais famílias de vidros a base de sílica. ....	22
Tabela 3: Parâmetro tecnológicos de referência para rochas ornamentais (CHIODE e RODRIGUES,2009). ....	35
Tabela 4 - Comparativo entre os autores de pesquisas anteriores desde o ano de 2012.....	36
Tabela 5 - Tabela de especificações resina poliéster insaturada. ....	38
Tabela 6 - Percentuais dos resíduos e as nomenclaturas dos compósitos. ....	43
Tabela 7 - Composição química dos óxidos presentes nos vidros utilizados. ....	49
Tabela 8 - Tabela de distribuição granulométrica do resíduo beneficiado e peneirado. ....	51
Tabela 9 - Valores dos ensaios físicos para a placa produzida com 75% de resíduos e 25% de resina poliéster.....	53
Tabela 10 - Resultados encontrados no ensaio de resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida. ....	55
Tabela 11 - Análise comparativa de tensão de ruptura em flexão com as Rochas Artificiais desenvolvidas em trabalhos anteriores.....	55
Tabela 12 - Resultados encontrados no ensaio de resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida. ....	57
Tabela 13 - Resultados encontrados no ensaio de resistência a compressão da rocha artificial desenvolvida com as desenvolvidas em pesquisas anteriores.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA - Absorção de água

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

CPV5 - Compósito Polimérico Vítreo

CPV12 - Compósito Polimérico Vítreo

CPV13 - Compósito Polimérico Vítreo

CPV14 - Compósito Polimérico Vítreo

DRX - Difração de raios X

EPI - Equipamento de Proteção Individual

LEP - Laboratório de Engenharia e Pavimentação

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

MEA - Massa específica aparente

Mi - Massa do corpo de prova imerso

MO - Microscopia Ótica

Mq - Massa do corpo de prova seco

Mu - Massa do corpo de prova saturado

NBR - Norma Brasileira de Regulamentação

PA - Porosidade Aparente

PNRS - Plano Nacional de Resíduos Sólidos

TRF - Tensão de ruptura a flexão em três pontos

UAEMa - Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais

UAD - Unidade Acadêmica de Design

UAEC - Unidade Acadêmica de Engenharia Civil

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	COMPÓSITO POLIMÉRICO PARTICULADO.....	17
2.2	RESINA POLIÉSTER INSATURADA.....	18
2.3	VIDRO .....	21
2.4	ROCHAS ARTIFICIAIS OU PEDRAS INDUSTRIALIZADAS.....	24
2.5	OS RESÍDUOS SÓLIDOS E A SUSTENTABILIDADE .....	28
2.6	A INTERAÇÃO ENTRE MATERIAIS POLIMÉRICOS E INORGÂNICOS NO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS.....	32
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1	MATERIAIS.....	38
3.2	MÉTODOS.....	40
<b>3.2.1</b>	<b>Beneficiamento dos resíduos vítreos</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Preparação dos compósitos</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Confecção dos compósitos</b> .....	<b>44</b>
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS MATERIAS-PRIMAS E DOS COMPÓSITOS.....	45
3.4	ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS DOS COMPÓSITOS .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA .....	49
<b>4.1.1</b>	<b>Composição química por fluorescência de raios- x</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Difratograma de raios- x</b> .....	<b>50</b>

<b>4.1.3</b>	<b>Ensaio de distribuição granulométrica.....</b>	<b>51</b>
4.2	COMPÓSITOS DE RESINA POLIÉSTER COM PÓ DE VIDRO .....	51
<b>4.2.1</b>	<b>Processamento por compressão e aparência visual dos compósitos ..</b>	<b>51</b>
4.3	PROPRIEDADES DAS PLACAS DE ROCHA ARTIFICIAL.....	53
<b>4.3.1</b>	<b>Propriedades físicas .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Resistência à flexão .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Resistência à compressão .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE I – Molde opção 01 .....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE II – Molde opção 2.....</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE III – Molde final .....</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO I - Boletim Técnico Resina.....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO II - Boletim Técnico Catalisador.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais. Fonte: Alicante, Marmotec, Marmore composto, Silestone.....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de oferecer sempre novos produtos ao mercado e buscando o desenvolvimento da indústria e processos voltados para bens de consumo, bem como visando alavancar o avanço tecnológico, materiais frequentemente são desenvolvidos. Almejando o mercado de novos produtos que exigem propriedades cada vez melhores, o que tem estimulado a investigação focada na aplicação de materiais com propriedades melhores e maior viabilidade econômico-financeira e eco eficiente.

Com a conscientização do ser humano sobre a importância da preservação da natureza, surgiram novas técnicas construtivas que garantem menos impacto ambiental utilizando rejeitos e resíduos. Segundo a ABIVIDROS (2011), mundialmente tem-se registrado um aumento significativo do uso de resíduos vidro em substituição à matéria-prima mineral virgem para produção de outros vidros. A incorporação de vidro reciclado às matérias-primas naturais adquiriu grande importância no processo de fabricação devido a questões ambientais e econômicas. Segundo a CEMPRE (2010) o Brasil produz em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos.

O reaproveitamento dos resíduos de vidro de envase traz vantagens como a redução do impacto ambiental, preservação do meio ambiente, diminuição da extração dos recursos naturais; aumenta a percepção do público sobre a problemática dos resíduos e alerta para a importância de reciclagem. Além disso, abre caminho para a reutilização de outros tipos de vidros bem como para a combinação de resíduos vítreos diferentes, ou até com outros resíduos.

O Brasil importa uma quantidade considerável de materiais conhecidos como rochas artificiais, pois segundo a ABIROCHA (2014) possui uma produção ainda pequena. Rochas artificiais consistem em materiais compósitos que apresentam propriedades mecânicas similares às das rochas naturais, possuindo sempre uma menor absorção de água. Apesar destes materiais apresentarem preço ainda elevado, as vantagens apresentadas pelos mesmos, especialmente através de

suas propriedades mecânicas e estéticas (como resistência à flexão e brilho superficial), geralmente superiores às das cerâmicas ditas de “primeira linha”, fazem deste material uma excelente alternativa à rocha natural. Apresentam, ainda uma grande vantagem que consiste na possibilidade de serem facilmente fabricados utilizando resíduos particulados, como os resíduos de vidro citados anteriormente.

Os compósitos correspondem à classe mais versátil de materiais na moderna tecnologia. Sua importância não está ligada somente à possibilidade de inovar com a obtenção de novos materiais, mas pela possibilidade de se ter uma maior flexibilização de novos projetos, não só a partir do material, mas também da orientação, da distribuição e da seleção apropriada do reforço (CALLISTER, 2007).

Os materiais compósitos são feitos pela combinação de um ou mais materiais de naturezas diferentes. Esta combinação de materiais e, conseqüentemente, de características, os permitiu alcançar propriedades que seus componentes jamais alcançariam separadamente, através da combinação de mecanismos físicos, químicos e mecânicos (estruturais).

Existem diversos estudos acerca do uso de resina poliéster insaturada como matriz em compósitos, principalmente com fibra de vidro ou manta de vidro. Porém, quando se trata do pó de vidro, especificamente oriundo do reaproveitamento de vidros ocos para envase, o material de pesquisa é escasso, apesar de existirem estudos abundantes do uso desse material em massa cimentícia e massa cerâmica (LINTZ, 2003; MATOS, 2010; COSTA, 2016).

Justifica-se o presente projeto de pesquisa pela constante necessidade de um estudo de novos materiais que não estejam sendo explorados na totalidade de suas potencialidades ou devidamente reciclados, como é o caso do resíduo de vidro, tendo em vista futuras aplicações deste resíduo como reforço de compósitos poliméricos a um baixo custo.

Assim, se propõe a produção e caracterização físico-química e físico-mecânica de compósito de matriz polimérica com carga mineral de reaproveitamento de vidro particulado para aplicação como revestimento de ambientes na construção civil.

Este trabalho está estruturado em cinco etapas: beneficiamento dos resíduos vítreos para uso como matéria-prima; formulação dos compósito de matriz polimérica com diferentes composições resina/vidro; confecção dos corpos de prova; caracterização das matérias-primas e do compósito pelo uso de técnicas microestruturais, morfológicas, e comparação as propriedades físico-mecânicas das placas industrializadas e de estudos anteriores com o compósito obtido, segundo as Normas da ASTM (American Society for Testing and Materials) e ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 COMPÓSITO POLIMÉRICO PARTICULADO

Nas últimas décadas os materiais compósitos têm tido uma grande importância especialmente em áreas que envolvem tecnologia de ponta. Processos cada vez mais inovadores permitem o aumento de produtividade, redução de custos e aumento da competitividade (MARINUCCI, 2011).

Segundo a ASTM, materiais compósitos são uma mistura física de dois ou mais materiais, combinados para formar um novo material de engenharia útil, com propriedades diferentes aos componentes puros, podendo ser obtidos por combinação de metais, cerâmicas ou polímeros. Assim um revestimento compósito é composto por um material que combina propriedades de dois ou mais materiais, buscando sempre um melhor desempenho.

As tecnologias modernas exigem materiais com combinações de propriedades específicas (materiais com baixa densidade, rígidos, fortes, com resistências a abrasão, ao impacto e a corrosão) que não podem ser encontradas nas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais. As combinações e faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo ampliadas através do desenvolvimento de materiais compósitos (CALLISTER, 2007).

As propriedades dos materiais compósitos estão diretamente relacionadas às dos seus elementos constituintes, como da carga e da matriz, concentração e fração volumétricas, interface e adesão carga/matriz, disposição das camadas e orientação, bem como pela geometria, forma e tamanho da carga. Os compósitos particulados são formados por partículas de um ou mais materiais dispersos numa matriz de outro material, nas suas várias possibilidades de combinação (BORSELLINO *et al.*, 2009; MARINUCCI, 2011).

A escolha da matriz a ser empregada depende da aplicação final do compósito. Para utilização do material em baixas temperaturas, até 200°C, são geralmente usadas as resinas poliméricas, enquanto que as matrizes metálicas são recomendadas em aplicações em que se requer temperaturas de até 800°C. Compósitos de matriz cerâmica podem ser utilizados em temperaturas superiores a 1000°C (MARINUCCI, 2011).

A resistência nos materiais compósitos é bastante influenciada pelo teor, identidade, geometria e orientação do reforço. Os compósitos particulados podem ser esféricos, cúbicos, tetragonais ou de qualquer forma regular ou irregular. Se o reforço particulado possui todas as dimensões aproximadamente iguais, o compósito comporta-se como um material isotrópico, e as propriedades serão independentes da direção de teste. O uso de carga particulada em compósitos apresenta vantagens como maior facilidade de processamento e mudança no aspecto visual, além de alterar as propriedades da matriz gerando melhora das propriedades elétricas, aumento da resistência à abrasão e, seguidamente, melhor desempenho do material em altas temperaturas (MENDONÇA *et al.*, 2002; COSTA, 2016).

## 2.2 RESINA POLIÉSTER INSATURADA

Os primeiros poliésteres termofixos surgiram após a segunda guerra mundial. Eram endurecidos através de calor, mas logo foram desenvolvidos sistemas contendo substâncias que promoviam sua reticulação à temperatura ambiente. Os produtos que promovem a reticulação foram denominados catalisadores e, na grande maioria, pertencem à uma classe de substâncias químicas chamadas peróxidos (PEREIRA, 2009).

Resina é um composto orgânico derivado do petróleo, que passa de seu estado líquido para o estado sólido, através de um processo químico chamado “Polimerização”. As resinas poliéster insaturadas foram as mais utilizadas por aliarem desempenho e custo, além de apresentar boas propriedades mecânicas e

físicas, e possuem uma ampla variedade de formulações, para requisitos específicos (CANEVAROLO, 2006; MARTINS, 2016).

Poliéster é uma categoria de polímeros obtida por meio de uma reação de condensação entre poliol e um ácido dicarboxílico. O tipo de ácido influencia as propriedades finais das resinas poliéster ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas (GOMES, 2015). A Tabela 1 apresenta alguns dos tipos mais comuns de resina poliéster.

Tabela 1 - Tipos de resina poliéster

<b>TIPO</b>	<b>COMENTÁRIOS</b>
<b>Ortoftálica</b>	Amais comum e de menor custo
<b>Tereftálica</b>	Baixa resistência UV, resistência física um pouco superior à anterior
<b>Isoftálica</b>	Melhores características físicas, mecânicas e térmicas
<b>Isoftálica com NPG</b>	NPG (neopentilglicol) melhora resistência a hidrólise
<b>Bisfenólica</b>	Melhores características químicas e térmicas

Fonte: Gomes (2015) adaptada pelo autor.

Matriz polimérica é todo o material polimérico capaz de aglutinar cargas em proporções adequadas. Matrizes termofixas, quando convenientemente curadas, formam um material sólido que apresenta boas propriedades mecânicas, estabilidade térmica e elevada resistência química (MARINUCCI, 2011).

A forma geométrica, proteção contra agentes externos, resistência a produtos químicos, manutenção da orientação do reforço na estrutura e permitir a transferência do carregamento imposto ao compósito para os elementos de reforço, são características conferidas ao compósito pela matriz polimérica. As resinas mais utilizadas na produção de compósitos poliméricos são as poliéster, epóxi e vinil éster (LEE et al, 2008; PALHARES et al, 2016; MARTINS, 2016).

O ácido insaturado fornece os pontos reativos para as ligações cruzadas; o ácido saturado determina o grau de espaçamento ou concentração das moléculas do ácido insaturado ao longo da cadeia do poliéster e o glicol, naturalmente, proporciona os meios para a esterificação e a ponte entre os ácidos para formar o polímero. E o monômero de estireno tem afinidade de dissolver o polímero formado durante a reação de esterificação e servir de copolímero de reação com os pontos de insaturação presentes na cadeia do poliéster (SANCHEZ, 1996). A Figura 1 mostra o esquema da reação de produção da molécula de poliéster insaturado.

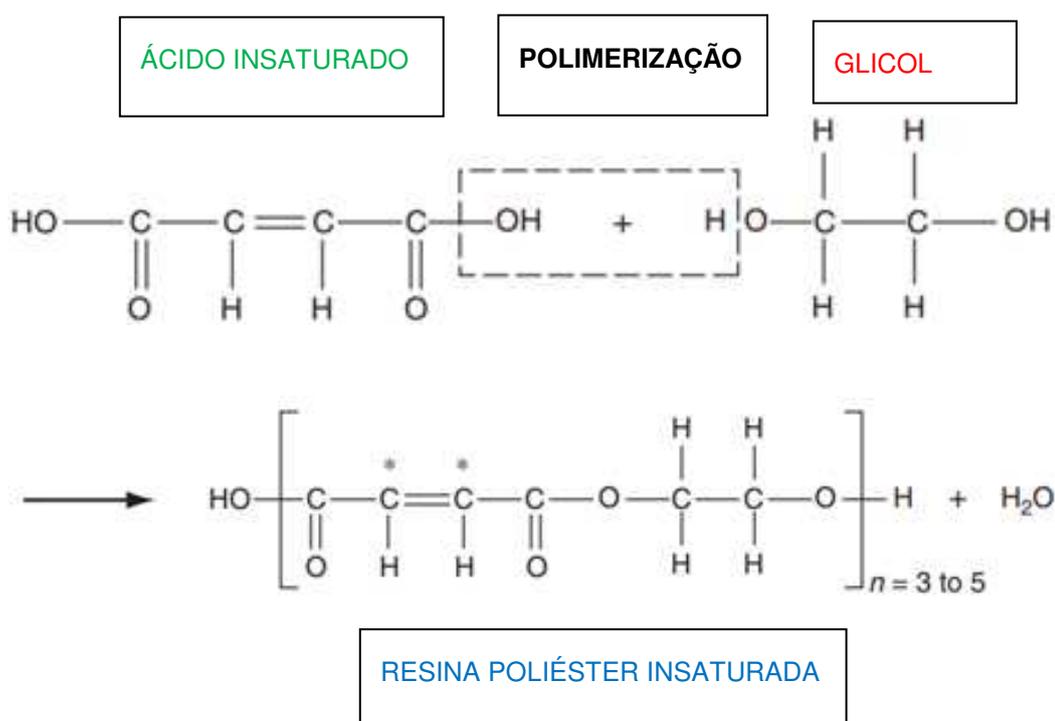


Figura 1 - Principais ingredientes na preparação da matriz de poliéster e estrutura molecular da resina poliéster insaturada. Fonte: Esquema do autor.

É importante ressaltar que, nas reações químicas para cura da matriz, há uma grande liberação de calor. Esse fenômeno pode provocar elevada contração na matriz polimérica e resultar na deformação da geometria da peça, como também causar danos ao molde dependendo do material de que é composto. As resinas poliéster insaturadas são processadas no estado líquido e curam (isto é, reticulam) à temperatura ambiente em moldes simples e baratos. A cura à temperatura ambiente

e sem exigir moldes caros é muito importante, porque viabiliza a produção em pequena escala de peças grandes e complexas (CARVALHO, 2002; LIBA, 2004; PEREIRA, 2009).

### 2.3 VIDRO

Internacionalmente se define o vidro de duas maneiras: a) como “um material formado pelo resfriamento do estado fundido, o qual exhibe mudanças contínuas em qualquer temperatura, tornando-se mais ou menos rígido através de um progressivo aumento da viscosidade, acompanhado da redução da temperatura do fundido”, ou b) “é um sólido não-cristalino, portanto, com ausência de simetria e periodicidade translacional, que exhibe o fenômeno de transição vítrea, podendo ser obtido a partir de qualquer material inorgânico, orgânico ou metálico e formado através de qualquer técnica de preparação (ALVES et al, 2001; BARROS, 2010).

Composto na maioria das vezes de silicatos de sódio e óxidos de cálcio, chumbo, potássio e outros, de acordo com a composição química. Segundo Martins (2016) os vidros podem ser: Sílica vitrificada, Silicatos alcalinos, Vidros de sódio e cálcio, Vidros de Borosilicatos, Vidros de chumbo, Vidros de Bário e Vidros de aluminosilicatos. Na

Tabela 2 encontramos as nomenclatura e composições dos vários tipos de vidros.

Tabela 2 - Composição das principais famílias de vidros a base de sílica.

Tipo de vidro	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO
<b>“Soda – lime” silicato (lime glass)</b>	72,1	21,1	-	2,8	-	-	2,0	-
	72,1	14,0	-	9,9	3,2	-	0,3	-
<b>Borosilicato</b>	81,0	4,5	-	-	-	12,5	2,0	-
<b>Aluminosilicato</b>	54,5	-	-	17,5	4,5	10,0	14,0	-
	59,0	11,0	0,5	16,0	5,5	3,5	4,5	-
	65,8	3,8	-	10,4	-	-	6,6	-
<b>Silicato de chumbo</b>	56,0	2,0	13,0	-	-	-	-	29,0
	3,0	-	-	-	-	11,0	11,0	75,0
	5,0	-	-	-	-	10,0	3,0	62,0
<b>Alta sílica</b>	96,7	-	-	-	-	2,9	0,4	-
	99,9	-	-	-	-	-	-	-
<b>“Soda”-silicato(water glass)</b>	Composição variável razão SiO <sub>2</sub> – Na <sub>2</sub> O de 1,6 a 3,7							

Fonte: ALVES et al. (2001) adaptada pelo autor.

Vidros não possuem estrutura cristalina, ou seja, são substâncias amorfas. O vidro, quando aquecido, amolece gradualmente até que sua viscosidade faça com que se comporte como líquido, sem ponto de fusão definido. Geralmente transparentes, vidros não são bons condutores térmicos ou elétricos e, quando expostos à ação da luz polarizada, não a desviam do plano (AKERMAN, 2000; MARTINS 2016).

Na etapa de fabricação dos vidros, é comum adicionar vários outros elementos, visando obter propriedades específicas ou alterar a coloração (propriedades estéticas) (MARTINS, 2016).

Historicamente, a evolução da indústria do vidro no Brasil tem acompanhado o desenvolvimento da economia brasileira, especialmente nos últimos anos, com o crescimento do consumo de automóveis, o incremento do nível de atividade da construção civil e o aumento significativo no consumo de produtos alimentícios industrializados e bebidas (ROSA *et al.*, 2007).

As embalagens de vidro são usadas para bebidas, produtos comestíveis, medicamentos, perfumes, cosméticos e outros artigos. Mais da metade da produção de vidro no Brasil é destinada à fabricação de garrafas, potes e frascos. Os tipos de vidro que encontramos no mercado são: vidro plano (impresso, temperado, laminado, refletivo ou metalizado, blindado, duplo ou insulado, duplo com cristal líquido, aramado), vidro oco (vidro para uso doméstico - utilidades domésticas e cristais- e vidro para embalagem - bebidas alimentos higiene, beleza farmacêutico, blocos de vidro, blocos oftálmicos e fibras de vidro) e vidro técnico ou especial (cinescópios, monitores de vídeo, iluminação, garrafas térmicas). O processo de fabricação da garrafa de vidro ou o ciclo de vida do vidro para fabricação de garrafas envolve etapas que vão desde a extração das matérias-primas até a reciclagem das garrafas após o consumo do conteúdo dessas. Na Figura 2 abaixo apresentamos um fluxograma desse processo (PRADO, 2007).

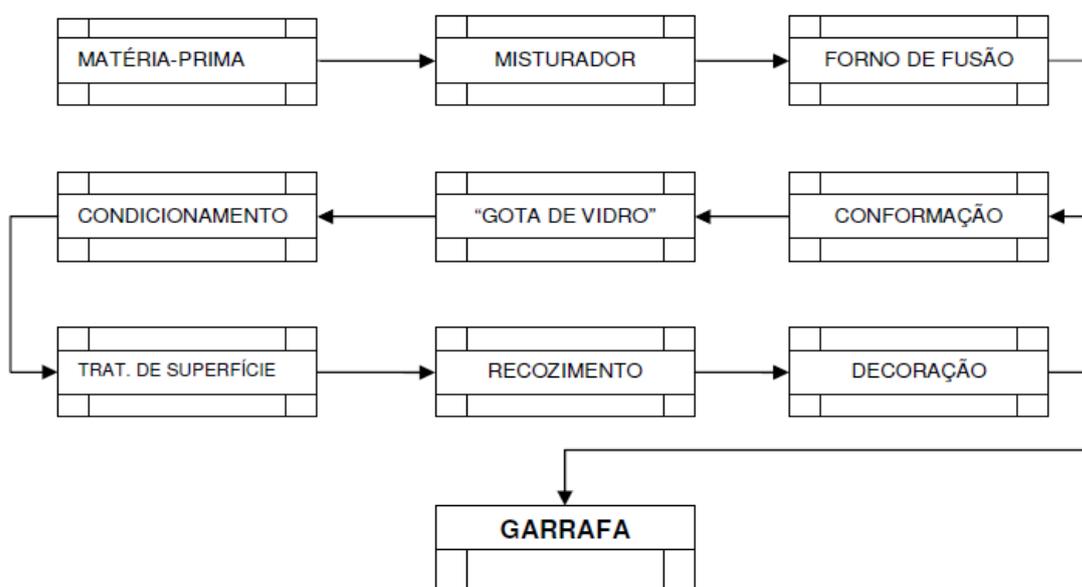


Figura 2 - Fluxograma das principais etapas do processo de fabricação de uma garrafa de vidro. Fonte: Esquema do Autor.

A reciclagem das garrafas de vidro pode ser dividida em quatro etapas: coleta, separação, retirada dos contaminantes e moagem dos cacos. A primeira fase é a separação das garrafas de cores diferentes (geralmente nas cores verde, transparente ou âmbar). Essa separação pode ser mecânica ou manual. O processo é facilitado se as garrafas estão inteiras. A etapa seguinte é a remoção de tampas, rótulos e rolhas que podem causar defeitos nas garrafas, na mudança de coloração, além de danos ao forno, causando sérios prejuízos. Considerações importantes devem ser feitas a respeito da reciclagem e reuso das garrafas de vidro quanto à conservação de energia. Deve ser considerada a distância a ser percorrida pelas embalagens vazias e cacos, uma vez que essa variável pode ser fator limitante na viabilidade do processo de reciclagem (MARTINS, 2016).

#### 2.4 ROCHAS ARTIFICIAIS OU PEDRAS INDUSTRIALIZADAS

Rocha artificial é um termo comumente associado a o “Mármore Sintético”, composto à base de resina poliéster insaturada misturada com agregados de mármore moído. Porém, esse termo existe há mais de duas décadas e designa um material compósito produzido a partir de resina polimérica com agregados minerais. Atualmente a composição desses compósitos consiste em 95% de agregados minerais acrescida de resina polimérica, como aglutinante, sendo processado por técnica especial de vibro-compressão a vácuo (LEE *et al.*, 2008; RIBEIRO, 2012 (a,b)/2014(a,b,c,d)/2015(a,b); MARTINS, 2016).

Apesar do termo “Rocha Artificial” se referir à maior parte do compósito ser de origem mineral direta, ao longo dos anos outros agregados foram incorporados, no intuito de aproveitar resíduos sólidos, fornecer outras propriedades físicas, químicas e até estéticas. A Figura 3 apresenta o processo de fabricação dessas rochas artificiais, onde cada agregado ou a mistura deles irá fornecer propriedades mecânicas, físicas, químicas e visuais únicas, dando origem a uma grande variedade de produtos e diversos custos, com um atrativo em comum, o peso reduzido (MOLINARI, 2007; PALHARES, 2016; MARTINS, 2016).

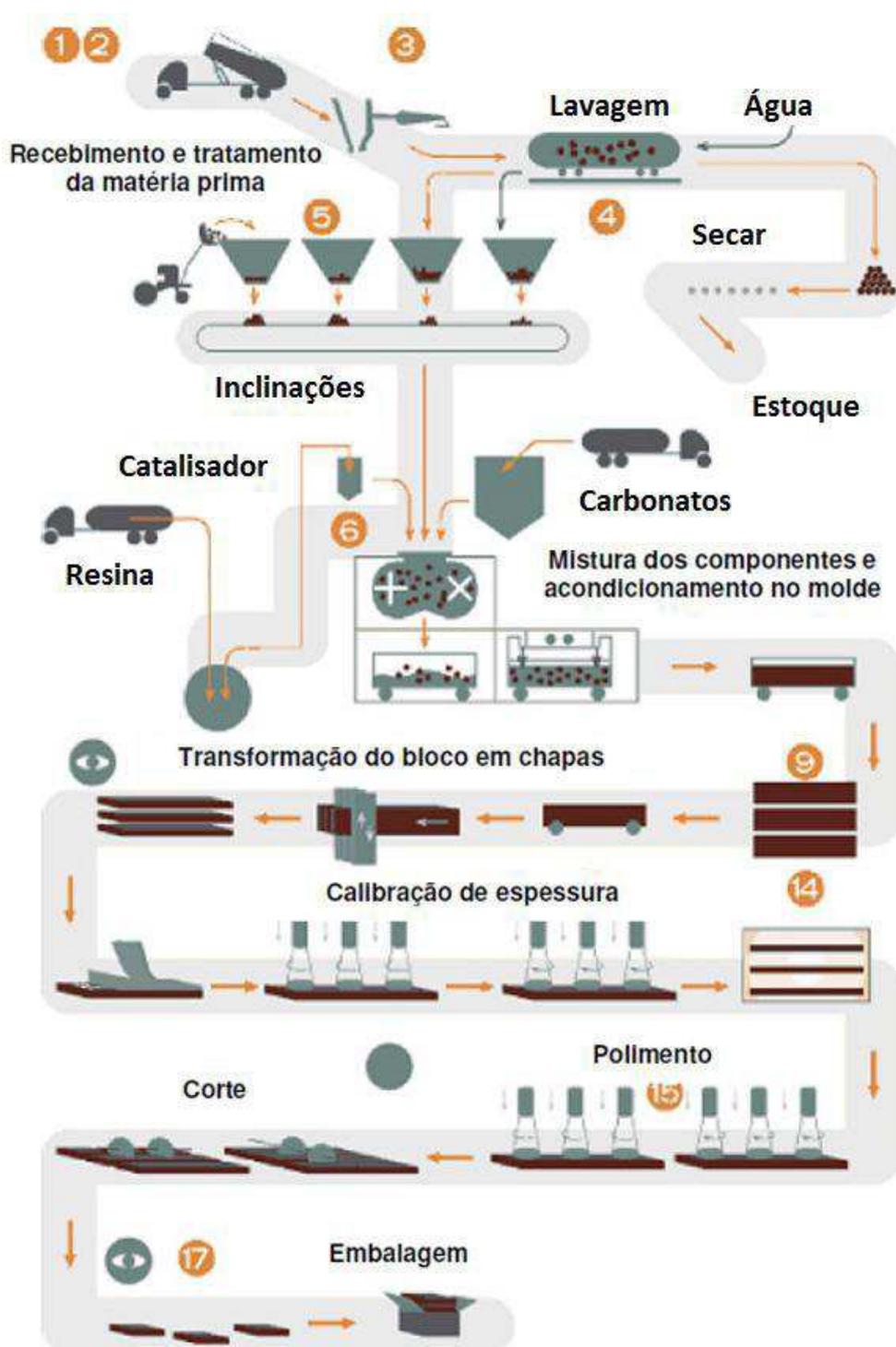


Figura 3 - Etapas do processo de fabricação da pedra artificial. Fonte: COMPAC MARMOL DE QUARTZ, 2010.

O Mármore Composto ou (mármore artificial/ industrializado), é produzido pela mistura de partículas de mármore natural (95%) e agentes aglutinantes (5%), resultando em um material de aparência similar ao mármore natural. Obtido através

de um processo de vibro-compressão a vácuo, a mistura das partículas de mármore juntamente com os agentes aglutinantes, são direcionados a um molde, transformando-se em blocos homogêneos, e posteriormente submetidos ao processo de cura, onde finalmente são serrados e polidos, obtendo-se chapas de 2 cm de espessura. O Mármore Composto apresenta versatilidade na composição, onde, corantes, conchas, vidros e espelhos, são agregados em sua composição, permitindo a arquitetos, decoradores e designers, criarem ambientes exclusivos. O ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais.mostra as propriedades do material, fabricado entre a mistura de componentes granulares (MÁRMORE COMPOSTO, 2017; RIBEIRO, 2011/2014(a,b,c,d)/2017).

Marmoglass é um composto de agregados de micro cristais de vidro e aditivos de pó de mármore. Por isso, também é conhecido como superfície cristalizada de vidro, produzido a partir de um processo industrial sob condições de alta temperatura, por meio de minerais puros e brutos de sedimentação dupla. O ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais.traz algumas das propriedades desse material. Sendo um material cristalizado de substâncias inorgânicas que tem como base o vidro, o Marmoglass apresenta elevada resistência a substâncias alcalinas, corrosivas e, em especial, ao calor (MARMOTEC, 2017).

A “Superfície de quartzo” ou Silestone é composta por cerca de 94% de quartzo como componente base, acrescido de carga aglutinante de resina poliéster de alta performance. Adicionalmente, outros agregados como fragmentos de espelho e de vidro podem ser adicionados ao compósito com o objetivo de fornecer outras propriedades estéticas, como brilho acentuado e maior reflexão. O ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais. apresenta as especificações técnicas informados pelo fabricante. Este material possui elevada resistência mecânica, resistência ao impacto e resistência à deformação plástica localizada, além de ter absorção de água e líquidos praticamente nula. Como a maioria das rochas artificiais, também apresenta alta resistência a ácidos (MARMOTEC, 2017).

De acordo com Sales (2016) a composição na patente (PT 2187313) do Silestone® é feita com base nos seguintes materiais:

- Resina de poliéster insaturada, na porcentagem de 7% a 14% da massa total.
- Sílica micronizada com um tamanho de partícula inferior a 60µm, na porcentagem de 21% a 24% da massa total
- Sílica de 0,1-0,3 mm, com um percentual de 10% a 32% a massa total
- Sílica de 0,3-0,8 mm, com um percentual de 58,7% da massa total
- Sílica de 1,0 a 2,5 mm, na porcentagem de 40% de massa total.
- Cristais transparentes e coloridos com tamanhos de partículas entre 0,1 mm a 6,0 mm, em diferentes porcentagens mássicas.
- Espelho de vidro com tamanhos de partículas entre 0,1 mm a 6,0 mm em diferentes porcentagens em massa
- Granito triturado, Ferro-silício e Quartzo em diferentes granulometrias e percentuais.

O Nanoglass® é um material industrializado de alta tecnologia, obtido a partir de matérias primas selecionadas – em destaque os cristais de vidro de elevada pureza e granulometria homogênea onde o processo produtivo Nano tecnológico permite uma fusão constante e equilibrada, produzindo chapas planas de formato retangular, que após o procedimento de polimento apresentam uma superfície cristalizada de vidro. Sua estrutura interna se assemelha à pedra natural quando partida, possui aspecto áspero, bruto e fosco. O ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais.apresenta algumas de suas especificações técnicas. Alguns materiais encontrados no mercado de diferente matéria prima e processo de produção, quando partidos normalmente apresentam uma estrutura lisa e brilhante e ainda em outros, uma estrutura lisa e fosca, semelhante ao porcelanato (MARMOTEC, 2017; ALICANTE, 2017).

Caesar Stone ou granito industrializado é um material de grande resistência fabricado em Israel, composto por 94% de quartzo natural. Technistone® consiste em 93% de materiais naturais brutos cuidadosamente selecionados, especialmente quartzo e granito triturado. Outros componentes são as resinas, pigmentos coloridos e fragmentos adicionais selecionados que dão ao material suas características próprias. Apresenta grande variedade de cores e estruturas, alta resistência e fácil

manutenção. Neolith® ou Superfície Ultracompacta Sinterizada é um produto composto a partir de matérias primas naturais muito finas e selecionadas que após um processo de alta tecnologia de ultra compactação e de sinterização\*, confere ao produto final, uma superfície de alta desempenho com propriedades únicas para múltiplas aplicações (ALICANTE, 2017).

Produzido através de 95% de partículas de mármore em diversos tamanhos, e 5% de resina de poliéster, o Aglostone é considerado um mármore composto, de excelente desempenho, muito utilizado na criação de ambientes internos de pequena e grande circulação. Criado por um processo de vibro-compressão a vácuo, o Aglostone contém partículas de mármore e agentes aglutinantes, que são misturados e posteriormente levados ao molde, e curados. Transformado em blocos, o material é serrado e posteriormente sua superfície é polida, obtendo sua finalização em chapas de 124 cm x 303 cm e 126 cm x 306 cm. Obtido através do aproveitamento de partículas de mármore descartados na natureza, o Aglostone® é referência no conceito de sustentabilidade, promovendo a utilização consciente dos recursos naturais, no ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais. encontramos alguns especificações técnicas. (ALICANTE, 2017).

## 2.5 OS RESÍDUOS SÓLIDOS E A SUSTENTABILIDADE

Conforme o Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (MONTEIRO *et al.*, 2001) existem duas formas de classificar os resíduos sólidos: pelos riscos potenciais de contaminação ou quanto à natureza ou origem do mesmo.

A gestão e a disposição inadequada dos resíduos sólidos causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar

e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos e catação em condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final (BESEN *et al.*, 2010).

Segundo Jacobi e Besen (2011) um dos maiores desafios da sociedade moderna é equacionar a geração excessiva e a disposição final ambientalmente segura dos resíduos, sendo cada dia mais urgente a necessidade do gerenciamento adequado dos resíduos como estratégia para uma reduzir consideravelmente os impactos ambientais.

Trinta anos depois do serviço sistemático de limpeza urbana ser oficialmente instalado no Brasil (em 25 de novembro de 1880 na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro), a Lei 12.305/2010, de 08 de agosto trouxe a possibilidade de um grande salto em matéria de Gestão de Resíduos Sólidos na medida em que responsabiliza os municípios pela gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seu território (BRASIL, 2017).

A reciclagem, que nos termos da lei, é o processo de transformação dos resíduos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vista à transformação em insumos ou novos produtos, são inseridas dentre as ações prioritárias a serem adotadas nesse processo de gestão de resíduos (ABRELPE, 2009).

Com isso, os resíduos passam a ser vistos sob outra perspectiva: o que antes era chamado de lixo começa a ser chamado de resíduos e materiais recicláveis, devolvendo à sociedade valor econômico, sustentabilidade ambiental e dignidade àquele que fazem dos resíduos uma geração de renda e emprego (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Calderoni (2003), diante do pressuposto de que o custo mais elevado para se chegar à reciclagem possa tornar tal atividade ineficaz, argumenta que os custos da reciclagem podem ser mais elevados se analisados somente sobre a ótica de um agente e sem contar os benefícios gerados pela reciclagem em todo seu processo.

O termo desenvolvimento sustentável tem evoluído de forma a contemplar diversos aspectos da inter-relação ambiente e desenvolvimento, apesar disso para

Camargo (2005), está longe de se conseguir consenso sobre o que significa e de como implementá-lo, sendo um tema complexo, circunscrito num contexto de busca de respostas que satisfaçam os requisitos de uma relação respeitosa e equilibrada entre sociedade humana e natureza.

“[...] desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforça o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras [...] é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades.” (CMMAD, 1998)

Fica destacado o papel do desenvolvimento tecnológico com solução dos problemas ambientais e redução da pobreza, a partir do Rio-92, foi melhor compreendida a relação entre o desenvolvimento e um meio ambiente equilibrado e a relação pobreza e degradação. (BARTHOLOMEU; CAIXETA FILHO, 2011)

A Agenda 21 é um instrumento estratégico de gerenciamento compatível com a preservação do meio ambiente. As áreas relacionadas, devem estar integradas a fim de constituir uma estrutura ampla e ambientalmente saudável, seja no manejo dos resíduos sólidos urbanos, na maximização de práticas de reutilização e reciclagem ambientalmente corretas, na promoção de sistema de tratamento e disposição dos resíduos compatíveis com a preservação ambiental e a ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos (CRESPO, 2003; CHAVES, 2012).

Os objetivos da Agenda 21, têm como base os princípios dos 3R's - Reduzir, Reutilizar e Reciclar - difundido como um caminho apontado para a solução dos problemas relacionados com o lixo.

Reduzir significa consumir menos produtos e preferir aqueles que ofereçam menor potencial de geração de resíduos e tenham maior durabilidade;

Reutilizar significa utilizar várias vezes a mesma embalagem. Com um pouco de imaginação e criatividade podemos aproveitar sobras de materiais para outras funcionalidades, exemplo: garrafas de plástico/vidro para armazenamento de líquidos e recipientes diversos para organizar os materiais de escritório. O segundo “R”, onde, todos os materiais que possam ser reutilizados, sejam para a mesma função, ou para outra, deve ser adotado.

Reciclar é transformar o resíduo antes inútil em matérias-primas ou novos produtos, é um benefício tanto para o aspecto ambiental como energético.

Através da recuperação de materiais ou de energia, a disposição correta em um aterro sanitário deveria ser destinada somente para a fração dos resíduos que não possam mais ser reaproveitáveis e recicláveis, surgiu e já encontramos na literatura o quarto “R” de Recuperação. Demonstrando que os conceitos continuamente estão se renovando e avançando quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos (LIMA, 2005; CHAVES, 2012).

O PNRS (Plano Nacional de Resíduos Sólidos) fortalece os princípios da gestão integrada e sustentável de resíduos, inova no país ao propor a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa de retorno de produtos, a prevenção, precaução, redução, reutilização e reciclagem, metas de redução de disposição final de resíduos em aterros sanitários e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos em aterros sanitários (JACOBI; BESEN, 2011).

A utilização de bens e serviços tem como consequência a produção excessiva de resíduos que põe em risco o equilíbrio ecológico. Os resíduos provenientes das embalagens são cada vez mais vistos como uma ameaça à qualidade do ambiente. Apesar da embalagem desempenhar um papel fundamental no transporte, distribuição e venda de produtos, estas constituem uma percentagem considerável dos resíduos sólidos urbanos. Entende-se por “reutilização”, qualquer operação pela qual uma embalagem, concebida e projetada para fazer um número mínimo de viagens ou rotações no seu ciclo de vida, é enchida de novo, com ou sem apoio de produtos auxiliares, que permitam que esta seja reutilizada para o mesmo

fim para o qual for concebida; as embalagens reutilizáveis passaram a resíduos de embalagens ao deixarem de ser reutilizadas (MATA, 1998).

## 2.6 A INTERAÇÃO ENTRE MATERIAIS POLIMÉRICOS E INORGÂNICOS NO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS

Segundo a Patente do inventor Sakai (2000), o desenvolvimento de pedras sintéticas tem como método convencional, baseado na quebra e/ou moagem de pequenas partículas de rochas e posteriormente misturadas com carbonato de cálcio e resina, formando a união destes componentes em uma superfície dura. Sakai (2000) em sua Patente utiliza os métodos de compressão e injeção da mistura (compósito) para o desenvolvimento de pedras sintéticas. Os materiais que fazem parte das pedras sintéticas são:

a) uma fina partícula inorgânica contendo tamanho entre 10 a 70 mesh que é o principal componente da pedra sintética. As partículas finas inorgânicas são de sílica, feldspato, mica e outros minerais naturais como granito e pedras metamórficas, a cerâmica, o vidro e metal;

b) a micropartícula contendo tamanho abaixo de 100 mesh, de carbonato de cálcio, óxido de alumínio e outros;

c) a resina polimérica como a acrílica e poliéster insaturada.

O mesmo autor referencia a Patente Japonesa Nº S61-101,443, que apresenta o método de obter uma pedra artificial, a qual é feita pela mistura de pequenas partículas de pedra e resina, injetadas em um molde sob ação de vácuo. Após a cura a mistura moldada sofre cortes formando as lages. Outro método, referenciado é a Patente Japonesa Nº S53- 24,447, que descreve a fabricação de pedras sintéticas misturando as partículas inorgânicas e o componente orgânico, sendo estes colocado em um molde, e agindo sobre a mistura uma pressão até a formação da superfície dura.

Segundo Smith (2000), das classes de resinas as poliéster insaturados são muito empregadas no desenvolvimento de compósitos, sendo um materiais com

baixa viscosidade, susceptíveis de serem misturadas com grandes quantidades de materiais de enchimento e de reforço

Menezes et al. (2002) estudou o estado da arte da utilização de resíduos, e os motivos que levam os países a reciclar seus rejeitos industriais. Sendo alguns deles:

- a) o esgotamento das reservas de matéria prima confiável;
- b) o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupa o espaço e degradam os recursos naturais e;
- c) a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pela alta do petróleo. Dentre os vários resíduos, os autores também perceberam que os resíduos de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais tinham um grande potencial, pois o desperdício pode chegar 50% em massa do total produzido. Diante de tal cenário se intensificou os estudos da incorporação destes resíduos como cargas em polímeros formando compósitos, por apresentarem uma característica de redutores de deformações plásticas, quando sob efeito de tensões externas.

Mendonça *et al.* (2002) estudaram materiais compósitos particulados, baseados em uma matriz de resina epóxi com incorporação de pó de granito ou pó de sílica. Os objetivos da investigação foram o efeito das variáveis do processamento de compósitos particulados constituídos por uma matriz polimérica de resina epóxi, onde as quantidades variaram entre 15 e 30% em peso e, por uma fase cerâmica composta por partículas de granito. Os compósitos com 20% em peso de resina epóxi e 80% em peso de granito apresentaram o melhor desempenho estrutural. As propriedades físicas estimadas, (densidade e coeficiente de expansão térmica linear) apresentaram valores reduzidos e próximos aos da literatura, indicando adequação do material a aplicações em máquinas cujos componentes necessitam de precisão dimensional e peso reduzido.

Segundo Lintz (2003) os compósitos poliméricos particulados, foram utilizados pela primeira vez no começo dos anos 50 como granito sintético nos Estados Unidos. Na década de 60, na Alemanha, o concreto polimérico foi aplicado em reparos estruturais, largamente empregado a partir de 1970 nos Estados Unidos na fabricação de pré-moldados e em reparos de concreto de cimento portland. Atualmente os compósitos poliméricos particulados são utilizados na construção de elementos estruturais, estruturas subterrâneas e submersas, componentes

estruturais em forma de sanduíche, painéis de parede suscetíveis a abalos sísmicos e vento, abóbada subterrânea que resiste a pressão lateral do solo, retenção de lixo radioativos, camadas de pavimentação e tabuleiros de pontes, amortecedores de vibrações, bases de máquinas, componentes de máquinas ferramenta sujeitas a grande variação de carregamento, e dormentes de estradas de ferro submetidos a cargas dinâmicas e estáticas.

Tawfik *et al.* (2006) desenvolveram um concreto polimérico onde foram misturados rejeito de mármore como enchimento em resina poliéster insaturada. A resina poliéster aplicada foi preparada a partir da reação de oligômeros obtida da despolimerização do poli (tereftalato de etileno) (PET), com anidrido maleico e ácido adípico. A resina poliéster foi misturada com monômero de estireno na razão de 60:40% em peso para obtenção da reticulação do concreto polimérico. Os resultados mostraram que a resina poliéster obtida do PET proporcionou excelente cura aceitando a carga de enchimento com o mineral mármore, resultando na excelente resistência à tensão de compressão, aumento da resistência química e incremento na resistência ao calor e a chama.

Aigueira *et al.* (2006) desenvolveram compósitos cuja matriz ligante foram a resina poliéster, com partículas abrasivas Sic (carbeto de silício) com tamanhos de grão por volta de 23 µm dispersas, nos teores de 5, 10, 20, 30, 40, 50% em peso. Os resultados dos compósitos submetidos ao desgaste, as amostras que apresentaram melhores resultados foram as que possuem 50% em peso de SiC e 50% de poliéster.

Ohyama (2011) apresentou estudo de revisão dos compósitos polímero-concreto. Abordou os princípios da tecnologia de processamento para compósitos de concreto-polímero; a história de pesquisa e desenvolvimento dos compósitos polímero-concreto; as tendências recentes na pesquisa e desenvolvimento de compósitos de concreto-polímero são ressaltadas, e defendem que compósitos de concreto-polímero sustentáveis serão massivamente usados no século 21.

Quanto as recomendações para utilização de rochas ornamentais como revestimentos, CHIODI e RODRIGUES (2009) geraram uma proposta, seja para rochas naturais ou artificiais (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetro tecnológicos de referência para rochas ornamentais (CHIODE e RODRIGUES,2009).

<b>Proposta Geral de Qualificação Tecnológica da Rochas Ornamentais e de Revestimento</b>							
<b>Parâmetros Tecnológicos de Referência para Qualidade</b>							
<b>Absorção d'Água(%)</b>	Porosidade Aparente(%)	Coeficiente de Dilatação Térmica (mm x 10-3)	Resistência ao Desgaste Amster(mm)	Resistência ao Impacto(m)	Resistência à Compressão (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistência à Compressão (kg/cm <sup>2</sup> )	
						3 pontos	4 pontos
<b>Muito Alta &gt;3,0</b>	Muito Alta >6,0	Muito Alta >12	Muito Baixa >6,0	Muito Baixa >0,30	Muito Baixa >400	Muito Baixa >60	Muito Baixa >45
<b>Alta 1,0 - 3,0</b>	Alta 3,0 - 6,0	Alta 10 - 12	Baixa 3,0 - 6,0	Baixa 0,30 - 0,50	Baixa 400 - 700	Baixa 60 - 100	Baixa 45 - 75
<b>Média 0,4 - 1,0</b>	Média 1,0 - 3,0	Média 8 - 10	Média 1,5 - 3,0	Média 0,5 - 0,7	Média 700 - 1300	Média 100 - 160	Média 75 - 115
<b>Baixa 0,1 - 0,4</b>	Baixa 0,5 - 1,0	Baixa 6 - 8	Alta 0,7 - 1,5	Alta 0,7- 0,95	Alta 1300 - 1800	Alta 160 - 200	Alta 115 - 150

Tabela 4 apresenta um esquema comparativo entre os autores que realizaram pesquisas similares, na produção de rocha sintética com diversos resíduos e resinas, além de diferentes processos de fabricação mais simples e ou mais tecnológicos. O que permitiu perceber as possibilidades de composição e processamento, além de uma base sobre as propriedades a serem alcançadas da rocha em desenvolvimento. Verificou-se uma grande variação nas composições, mantendo sempre a proporção de resina entre 10-25%, apresentando a importância de sua molhabilidade. Foi verificada também a importância de estudos de DRX e EDX no material de resíduo, e ensaios de propriedade físico- mecânicas para se verificar se o material se adequa à expectativa de uso.

Tabela 4 - Comparativo entre os autores de pesquisas anteriores desde o ano de 2012.

<b>Autor</b>	<b>Materiais</b>	<b>Composição</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>
Ribeiro et al (2012a,b)	Rejeito de mármore como enchimento em resina poliéster insaturada.	85% de partículas e 15% de resina poliéster insaturada.	As placas produzidas foram submetidas a tratamento térmico após desmoldagem. A densidade, a AA, resistência à compressão e a resistência a compressão em três pontos.	Propriedades dentro da faixa esperada indicado que o processo e a formulação foram adequados a produção destes materiais.
Nociti (2014)	Mistura pós de granito e vidro comercial.	1ª- 1/3 de pó de granito, 1/3 de pó de vidro âmbar e 1/3 pó de vidro transparente.	Sinterizadas em temperaturas que variaram de 800°C a 1100°C, Microestrutural, mecânica e fractográfica, rugosidade, resistência a flexão, tenacidade a fratura pelo método sevnb (single-edge v-notch beam), microdureza, molhabilidade e PA, DRX, MEV e TG e DSC.	Os resultados obtidos foram comparados com o granito comercial “andorinha” e mostraram que as rochas sintéticas obtidas foram altamente promissoras e viáveis
Ribeiro et al (2014a)	Matriz de poliéster com adição de resíduos de mármore	85% de partículas e 15% de resina poliéster insaturada	Produção de um mármore ornamental sintético sob vácuo e vibro-compressão de processamento de um compósito. Compressão e ensaios mecânicos de flexão, densidade, a AA, e um perfil de sua microestrutura.	Propriedades dentro da gama esperada de uma pedra artificial, o que indicou que o processo utilizado foi adequado.
Ribeiro et al (2014b)	Resíduos de mármore calcífico e um poliéster insaturado.	85% de partículas e 15% de resina poliéster insaturada	Processo de moldagem por transferência de resina (rtm). Resíduos de mármore foram colocados dentro de um molde hermético sob vácuo. Uma resina de poliéster ainda fluida, já misturada com um catalisador e um diluente, foi injetada para dentro do molde, até a cura. Densidade e a AA, ensaios mecânicos de dobragem e compressão, MEV.	Alta absorção de água e porosidade e baixa resistência mecânica comparado ao produto importado.
Ribeiro et al (2015a)	Resíduos de mármore calcítico e um poliéster insaturado	85% de partículas, sendo 45% grossa, 30% média, 25% fina.	Agentes penetrantes, do agente oxidante e do agente formador de película, foram utilizados: vinho, café, ketchup e mostarda. Densidade, AA, PA, resistência a flexão e modulo elástico em flexão.	Os resultados apontam para um material com boa resistência ao manchamento.

<b>Autor</b>	<b>Materiais</b>	<b>Composição</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>
Imran Oral (2015)	Compósitos de resina epóxi/ resíduo de pó de mármore	80% de matriz em resina.	Misturados com agitação mecânica por 30 min, depois desgaseificada e transferida para molde, cura em forno por 24h, em Temperaturas de 60-120°. Densidade e Método de ultra-som, método de pulso-eco, à temperatura ambiente, por um detector de falha, da impedância acústica, o coeficiente de poisson, e as constantes elásticas.	O compósito utilizado coagulante sepiolite em doses de 4g/ 500ml apresentou os maiores valores de constantes elásticas.
Palhares et al (2016)	Compósito resina (poliéster/epóxi/ecológica) /carga de pó de ardósia	75% do pó e resina (poliéster/epóxi/ecológica)	Prensadas em um molde metálico com aplicação de cargas de até 40 kn, a placa é curada no molde, após 24 horas pode ser retirada. Morfologia por MEV, DRX, Resistência a compressão	Valores de resistência mecânica entre 50 e 78 mpa e absorção de água menor que 1%.
Martins (2016)	Carga mineral rejeitos da indústria de beneficiamento e tratamento de vidro plano de vitória - ES	Matriz de 25% de epóxi com adição de 75% destes rejeitos de vidro	Misturados a mão, depositados no molde e nivelado, prensado a 10t por 16h, desmoldado e concluída a cura. Densidade aparente, AA, PA, resistência à flexão, compressão e impacto de corpo duro.	Bom desempenho em compressão, flexão e impacto, a porosidade foi considerada um pouco elevada.
Sales (2016)	Resíduos de caulim, mármore e granito, com a incorporação de pigmentos	45ml de resina para 90/100/110g de resíduo.	Misturados a mão as cargas na resina e depositado no molde, o qual foram presados por 15t. Caracterização físico-química, morfológica e tecnológica	Foi visualizada propriedades satisfatórias.
Silva (2016)	Pó de mármore e resina epóxi.	80%, 70% e 60% de resíduo	Corpos de prova sem a ação do vácuo e da compactação, sob pressão de compactação de 0,5mpa, durante 20minutos a 90°C. Ensaio de flexão em três pontos, DMA, densidade, AA, PA, resistência a compressão, resistência a flexão, desgaste abrasivo, TG, microdureza vickers e impacto de corpo duro.	Propriedades superiores às do Ribeiro (2015), como esperada de uma pedra artificial com resina epóxi, o que indicou que o processo utilizado foi adequado.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MATERIAIS

Nesse estudo foram utilizados os resíduos gerados na trituração das garrafas de bebida com a resina poliéster insaturada, catalisada com Peróxido de Metil Etil Cetona em temperatura ambiente.

#### Resíduos de Vidros

Foram utilizadas garrafas de envase nas cores branco, azul, verde claro e vermelho apresentadas na Figura 4, produzidas pela Owens Illinois. O vidro das garrafas utilizadas é do tipo sódico-cálcico, obtidas por descarte doméstico.



Figura 4 - Garrafas utilizadas na pesquisa. Fonte: Arquivo do autor.

#### Resina Polimérica

Utilizou-se como matriz polimérica a resina poliéster insaturada PolyLite® 10336-00 da Reichhold doada pela fábrica Equifiber, a Tabela 5 mostra as especificações técnicas do fabricante, na íntegra no Anexo I.

Tabela 5 - Tabela de especificações resina poliéster insaturada.

Produto	Viscosidade Brookfield a 25°C (cP)	Sólidos (% média)	Tempo de gel a 25°C (minutos)	Sistema de cura	Intervalo de reação (minutos)	Pico exotérmico máximo (°C)
PolyLite® 10336-00	400 - 450	64	9 - 12	1% Mekp	8 - 12	190

Fonte: Reichhold, 2010.

### **Catalisador**

Foi usado nesta pesquisa como catalisador o Peróxido de Metil Etil Cetona em Dimetil – Ftalato produzido pela Polinox do Brasil, indicado pelo fabricante para a resina catalisar em temperatura ambiente, na percentagem máxima de 1%, e cujas especificações técnicas encontram-se no ANEXO II.

### **Desmoldante**

A cera de carnaúba amarela foi utilizada como desmoldante, sendo utilizada duas camadas com tempo de secagem de 10 minutos, da marca Premium Car, adquirida no comércio local.

### **Molde de Ferro**

Foi utilizada uma matriz de ferro fundido com acabamento polido (Figura 5). Como não se teve acesso a um molde utilizado em pesquisas anteriores, foi feito um levantamento das dimensões necessárias e desenvolvido um projeto de matriz composta por 3 (três) peças para facilitar o desmolde, fabricada no distrito dos mecânicos, na cidade de Campina Grande.



Figura 5 - Imagem do Matriz produzida durante e utilizada na pesquisa. Fonte: Arquivo do autor.

### 3.2 MÉTODOS

O método utilizado para realizar a produção e corpos de prova, está descrito na Figura 6, que apresenta cada uma das etapas desde o beneficiamento do resíduo até o corte das placas produzidas nos corpos de prova.

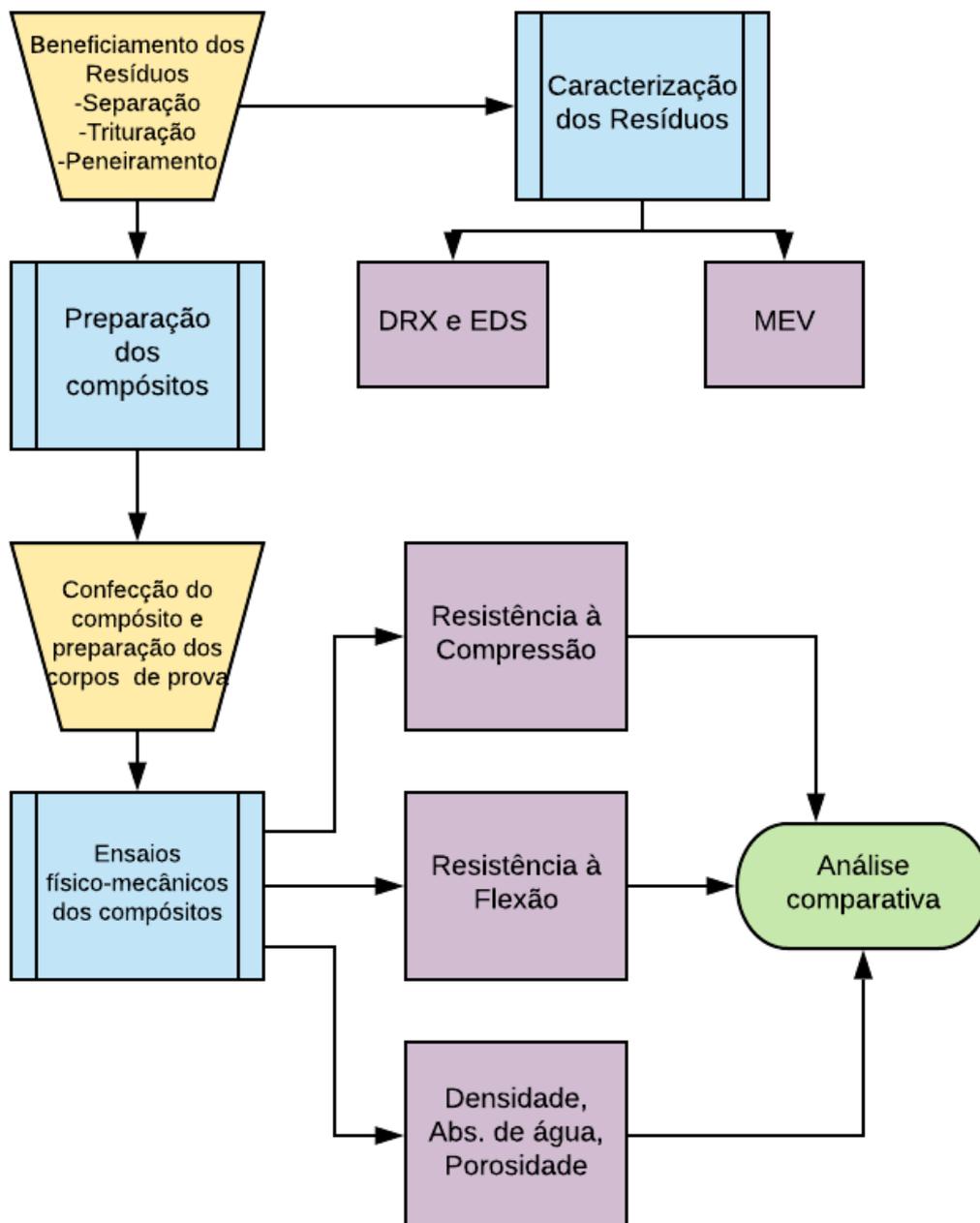


Figura 6 - Fluxograma dos Procedimentos Experimentais

### 3.2.1 Beneficiamento dos resíduos vítreos

Inicialmente foi realizado o beneficiamento dos resíduos vítreos, nas etapas que transformam as garrafas em cacos de variadas granulometrias para serem utilizados.

#### 3.2.1.1 Preparação das garrafas

Inclui a higienização prévia, lavagem e retirada dos rótulos, secagem das garrafas seguindo para trituração.

#### 3.2.1.2 Trituração Manual

A trituração manual (Figura 7) foi feita em sacolas confeccionadas em tecido jeans, onde as garrafas foram colocadas e trituradas em pequenos cacos, com auxílio de martelo.



Figura 7 - Vidro triturado. Fonte: Arquivo do autor.

#### 3.2.1.3 Separação em granulometrias

Depois de triturados os cacos foram passados em peneiras granulométricas NBR 7181(ABNT, 1984a) pelo Método de peneiramento fino, 9mesh (abertura de 2,0mm); 28mesh (abertura de 0,6mm) e 35mesh (abertura de 0,425mm). As peneiras foram montadas consecutivamente (Figura 8), partindo da maior abertura

até a menor abertura, com fundo e tampa. Essas granulometrias foram utilizadas em estudo realizado por Martins (2016), segundo o qual a compactação ideal se deu ao misturar a mesma proporção de partículas maiores e menores. As granulometrias utilizadas estão expostas na Figura 9.



Figura 8 - Execução do método de peneiramento fino Fonte: Arquivo do autor.

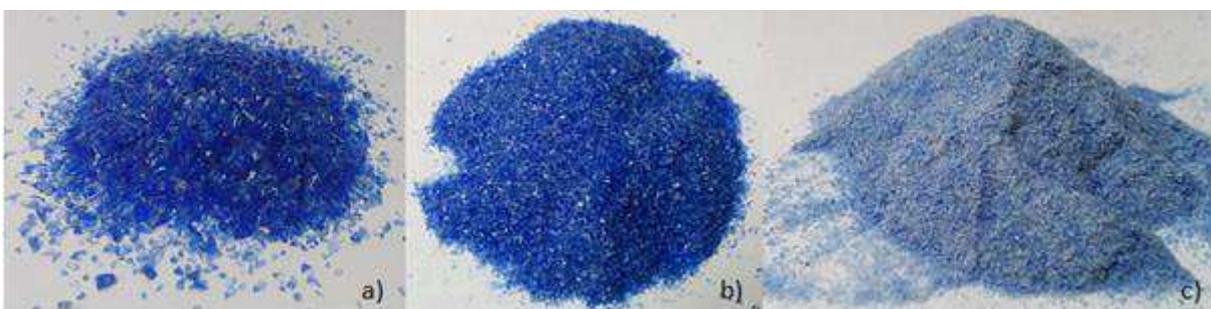


Figura 9 - Granulometrias de a) 9mesh, b) 28mesh e c) 35mesh.

### 3.2.2 Preparação dos compósitos

#### 3.2.2.1 Formulação dos compósitos

Para realização das formulações foi utilizada como base a composição de 25% em massa de resina poliéster com adição de 75% de carga de resíduo de vidro particulado de diferentes granulometrias.

### 3.2.2.2 Composição Granulométrica das Cargas

Inicialmente foram utilizadas, 6 (seis) composições, variando-se as quantidades e granulométricas do resíduo vítreo. A escolha foi baseada nas composições de Martins (2016), que apresentaram melhor desempenho físico mecânico. As composições das cargas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Percentuais dos resíduos e as nomenclaturas dos compósitos.

<b>NOMECLATURA</b>	Retida 9mesh	Retida 28mesh	<35mesh
<b>RA1</b>	100%	-	-
<b>RA2</b>	-	100%	-
<b>RA3</b>	-	-	100%
<b>RA12</b>	50%	50%	-
<b>RA13</b>	50%	-	50%
<b>RA123</b>	33,3%	33,3%	33,3%

Foram feitos testes usando as 6 composições, porém a de melhor aspecto visual estético foi a RA123. Na

Figura 10 estão apresentadas as peças feitas até o ajuste final da quantidade de cada granulometria da carga. As percentagens em massa, foram pesadas para cada uma das granulometrias em proporções da composição RA123, sendo 33,3% equivalente a 70g.

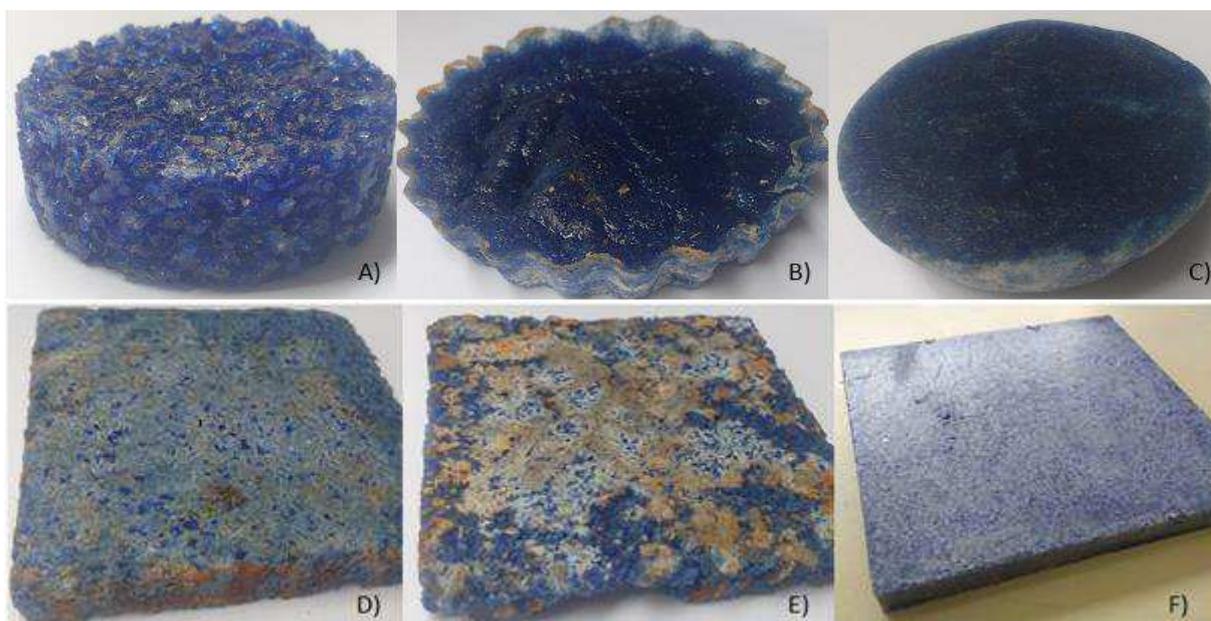


Figura 10 - Aspecto visual das peças até ajuste final da massa de carga, de A) a C): RA1, RA2 e RA3, de D) a F): RA12 e RA23 RA123.

### 3.2.3 Confeccção dos compósitos

Os resíduos pesados em balança analítica de acordo com as composições, foram misturados manualmente para se criar um compósito com 75% de resíduo e

25% de resina poliéster, em massa. Devidamente misturados, evitando a formação de bolhas, as misturas foram colocadas em molde e niveladas com espátula.

Para conformar as placas, foi utilizado um molde de ferro com dimensões de 100x100x10mm, feito sob encomenda, cujo desenho técnico encontra-se no APÊNDICE V – Molde final, devidamente preparado para evitar a fuga de material e a adesão. Inicialmente foram aplicadas duas camadas do desmoldante – cera de carnaúba – no molde. Antes da deposição da mistura resina/vidro. Após a deposição, foi realizada a prensagem por 16h a 10t e a cura em repouso por 24h.

Após a cura, o produto final foi pesado e verificou-se que o teor de resina no compósito curado foi de 8,1% (erro de 0,4%). Os compósitos então foram cortados em serra circular para obtenção dos corpos de prova, os quais foram medidos com paquímetro. A Figura 11 os apresenta cortados segundo a norma da ABNT (NBR 15845:2010) e encaminhados para os ensaios físico-mecânicos.

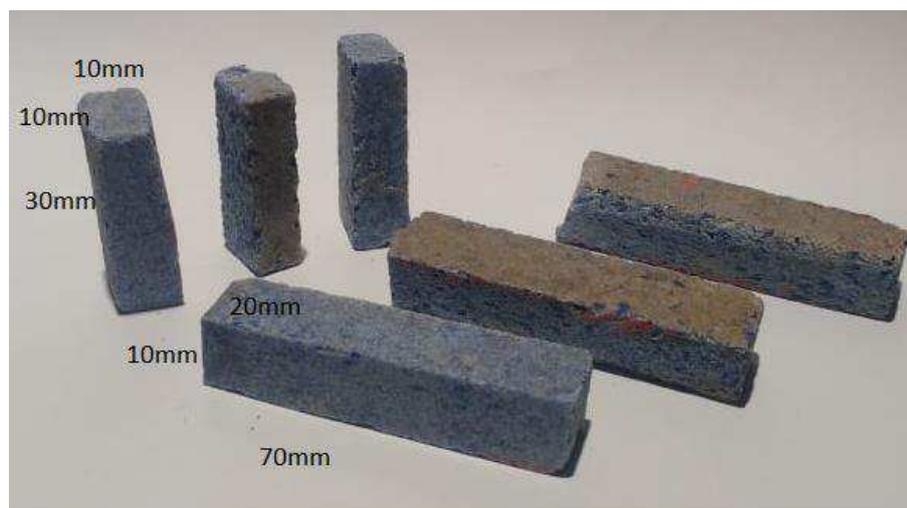


Figura 11 - Corpos de prova cortados em serra circular em marmoraria parceira. Fonte: Arquivo do autor.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MATERIAS-PRIMAS E DOS COMPÓSITOS

**Difração de Raio X (DRX)** - para identificar composições das fases cristalinas do compósito estudado, utilizou-se um equipamento Shimadzu modelo

DRX 6000, com radiação Cu, entre ângulos  $5^{\circ} \leq 2\theta \leq 50^{\circ}$ , velocidade de varredura de  $2^{\circ} \cdot \text{min}^{-1}$ , voltagem de 40kV e corrente de 30 Ma, no Laboratório de Caracterização de Materiais(LCM) da UAEMa/UFCG.

**Fluorescência de Raios-X** - para obter a composição das matérias-primas e do compósito estudado, utilizou-se o equipamento da Shimadzu X-Ray Fluorescence Spectrometer modelo EDX – 700/800/900 series, pelo método da pastilha, no Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM) da UAEMa/UFCG.

**Ensaio de Distribuição Granulométrica** – Os resíduos foram conduzidos para o ensaio de distribuição granulométrica por peneiramento fino, ABNT NBR 7181: 1984a. O objetivo desse ensaio foi classificar as dimensões das partículas de vidro resultantes do beneficiamento. Efetuou-se a pesagem do material resíduo em cada uma das peneiras vazias (três no total, sendo a maior com malha de 2,0 mm (9 mesh) e a menor com malha de 0,425 mm (35 mesh). No BK da UAEC (Unidade Acadêmica de Engenharia Civil).

### 3.4 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS DOS COMPÓSITOS

**Absorção de Água (AA)** - Os corpos de prova, de 100x100x10mm, foram pesados e submersos em água destilada em um recipiente de vidro por 24 horas (Figura 12). Após esse tempo, a superfície foi enxuta e imediatamente pesado para verificar as novas massas. O valor de porcentagem de massa de água absorvida pelo corpo, foi obtido pela equação 1:

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_q}{M_q} \times 100 \quad (1)$$

Onde: AA é a absorção de água em porcentagem;  $M_u$  é a massa do corpo de prova saturado;  $M_q$  é a massa do corpo de prova seco.



Figura 12 - Corpos de prova durante o ensaio de absorção de água. Fonte: Arquivo do autor.

**Porosidade Aparente (PA)** – Cálculo do percentual do volume de poros abertos, após a cura dos corpos de prova em relação ao volume total, a partir de sua. Também se mediu a massa quando imersos, pelo método da balança hidrostática. De posse dos valores de  $M_u$ ,  $M_q$  e  $M_i$  (massa do corpo imerso), utilizou-se a equação 2:

$$PA (\%) = (M_u - M_q) / M_u - M_i \times 100 \quad (2)$$

**Densidade** - Razão entre o peso seco e a diferença entre o peso saturado e o peso imerso, equação 3:

$$D(g/cm^3) = M_q / M_u - M_i \quad (3)$$

**Tensão de ruptura a flexão em três pontos (TRF)** - resistência do material a flexão pelo método dos três pontos, medida a partir do equipamento de ensaio universal Servo Pulser SFL-100kN da Shimadzu (Figura 13). Para obter os resultados finais foram dados pela média aritmética desses valores, segundo a norma da ABNT NBR 15845:2010.

Para tanto foram ensaiados 6 corpos de prova de 70x20x10mm, com distância entre os apoios de 60mm e a tensão de ruptura foi calculada utilizando-se a seguinte equação 4:

$$TRF(Mpa) = 3F \times L / 2b \times h^2 \quad (4)$$

Onde:  $F$  é a carga atingida na ruptura(N);  $L$  é a distância entre os apoios(mm);  $b$  é a largura do corpo de prova(mm) e  $h$  a altura do corpo de prova.



Figura 13 - Equipamento de ensaio universal Pulser SFL-100kN da Shimadzu durante a realização do ensaio de Flexão em três pontos. Fonte: Arquivo do autor

medida a partir do equipamento de ensaio universal Servo Pulser SFL-100kN da Shimadzu (Figura 14). Os resultados finais foram dados pela média aritmética desses valores, segundo a norma da ABNT NBR 15845:2010.



Figura 14 - Equipamento de ensaio universal Servo Pulser SFL-100kN da Shimadzu durante a realização do ensaio de Compressão. Fonte: Arquivo do autor.

Foram ensaiados 8 corpos de prova de 10x10x30mm para a rocha artificial testada, a velocidade adotada nos ensaios foi de 1mm/min até ruptura, a tensão de ruptura foi calculada utilizando-se a seguinte equação 5:

$$\sigma(\text{Mpa}) = F / A \quad (5)$$

Onde: F é a carga atingida na ruptura(N); A é a área da base(mm<sup>2</sup>).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA**

#### **4.1.1 Composição química por fluorescência de raios- x**

Foi realizada a fluorescência de raios-X para se obter a composição química em percentual de óxidos dos vidros triturados, oriundos das garrafas de envase nas quatro cores utilizadas (Tabela 7).

Tabela 7 - Composição química dos óxidos presentes nos vidros utilizados.

Óxidos	Azul (%)	Branco (%)	Verde (%)	Vermelho (%)
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68,97	68,53	69,36	68,49
<b>CaO</b>	14,34	13,82	13,53	13,19
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,56	12,28	11,78	12,52
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,16	3,24	3,12	3,34
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,66	0,25	0,53	0,15
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,46	0,36	0,19	0,20
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,34	0,76	0,36	0,84
<b>Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,18	-	-	--
<b>Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,09	-	-	0,50
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,08	-	0,32	-
<b>CuO/SnO2/ I</b>	-	-	-	0,25
<b>OUTROS</b>	0,16	0,76	0,83	0,52
<b>Total</b>	98,03	97,87	97,77	97,53

Entre os vidros analisados, o verde apresentou maior quantidade de sílica (69,35%), o segundo e terceiro elemento em maior proporção foram respectivamente, óxidos de Cálcio (CaO) e o óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O). Observou-se uma maior quantidade de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nos vidros Branco e Vermelho, o óxido de férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) no azul e no verde. A presença do SO<sub>3</sub> em todos os vidros deve-se à adição de sulfatos ou sulfitos como afinantes na fabricação. Além do óxido férrico encontramos nos vidros outros agentes colorantes, como óxido crômico

( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) no vidro verde e azul, óxido de cobalto ( $\text{Co}_2\text{O}_3$ ) no vidro azul, óxido de cobre ( $\text{CuO}$ ) no vidro vermelho (ALVES, 2001).

#### 4.1.2 Difratoograma de raios- x

Os resíduos de vidro apresentaram, como esperado, a ausência de fases cristalinas, exibindo características essencialmente típicas de amorfidade dos materiais vítreos, além de mostrar grande semelhanças entre os materiais apesar da coloração diferente. No espectro (Figura 15) das várias cores de vidro apresentam uma banda típica amorfa em torno de  $27^\circ$ , proveniente da presença de sílica na amostra caracterizando o pó de vidro como um sólido amorfo sem simetria e/ou periodicidade ao longo alcance no arranjo atômico (GALVÃO, 2014; GOMES, 2018).

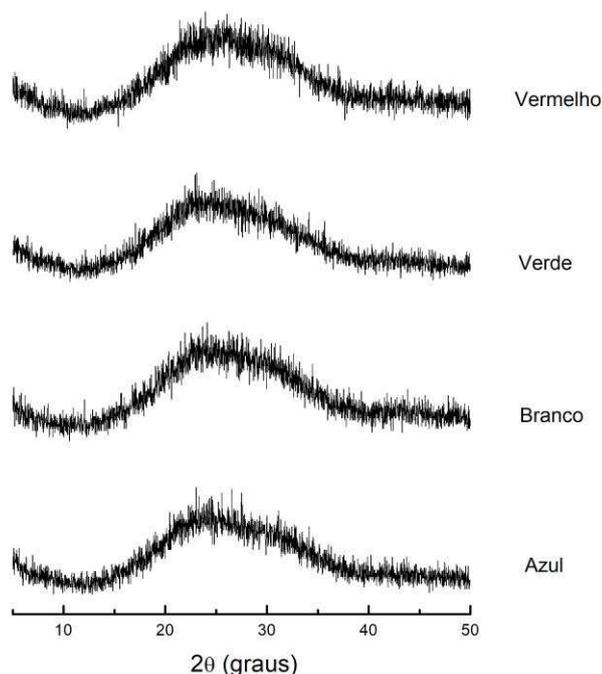


Figura 15 - Curva de DRX dos resíduos de vidro utilizados.

#### 4.1.3 Ensaio de distribuição granulométrica

Durante o beneficiamento, foram feitas breves análises da distribuição dos grãos nas granulometrias utilizadas, para analisar a potencialidade do resíduo em gerar maiores ou menores grãos (Tabela 8).

Tabela 8 - Tabela de distribuição granulométrica do resíduo beneficiado e peneirado.

<b>Granulometria (mesh)</b>	<b>Quantidade (% em massa)</b>
<b>Resíduo: &gt; 4</b>	76,91
<b>Tipo A: &gt; 9 e &lt; 4</b>	14,33
<b>Tipo B: &gt; 28 e &lt; 9</b>	2,72
<b>Tipo C: &gt; 35 e &lt; 28</b>	6,04
<b>Total</b>	100

Os resultados apresentaram dados diferentes do esperado. A expectativa era encontrar uma menor quantidade de grãos menores, por serem mais difíceis de obter durante o beneficiamento, considerando o montante de resíduos. Ao invés disso, obteve-se em segundo lugar os menores grãos, Tipo C, e como esperado a maior percentual do grão foram da categoria do tipo A. Assim percebeu-se que durante o beneficiamento o menor potencial de tamanho de grão foi o intermediário, tipo B.

## 4.2 COMPÓSITOS DE RESINA POLIÉSTER COM PÓ DE VIDRO

### 4.2.1 Processamento por compressão e aparência visual dos compósitos

Nas análises físico-químicas, os resíduos se mostraram bem semelhantes, não havendo diferenças consideráveis, independente da coloração do vidro, ou seja, o óxido ou conjunto de óxidos presentes na sua composição, não apresentou proporção para gerar desvio nos ensaios posteriores. Visto isso se decidiu utilizar o vidro azul o qual, era mais abundante no acervo do laboratório. No processamento dos compósitos, foi observado que durante a fase de compressão da pedra sintética ocorreu escorrimento da resina, aparentemente em excesso, o que posteriormente foi percebido a diminuição da porcentagem de resina no produto final, gerado com

suficiente umectação da resina poliéster. Durante a produção dos compósitos de resina poliéster com pó de vidro em três granulometrias, os melhores compósitos foram obtidos com força de fechamento de 10 toneladas por 16h, ficaram com aparência similar as pedras naturais e as sintéticas semelhantes. Quanto à aparência visual (estética), obteve-se um incremento do brilho das peças após o processo de polimento, o que elevou ainda mais a semelhança do produto final, com os produtos ofertados em mercado (Figura 16).



Figura 16 - Aparência visual dos compósitos de resina poliéster com pó de vidro. Fonte: Arquivo do autor.

#### 4.3 PROPRIEDADES DAS PLACAS DE ROCHA ARTIFICIAL

##### 4.3.1 Propriedades físicas

Os valores obtidos para a rocha artificial de vidro produzida na metodologia de compressão em prensa hidráulica, em densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores dos ensaios físicos para a placa produzida com 75% de resíduos e 25% de resina poliéster.

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>	<b>Porosidade Aparente (%)</b>
<b>Média/Desvio</b>	1,99±0,065	1,59±0,109	3,16±0,235

Pode-se dizer que a densidade encontrada de  $1,99\pm 0,065$  g/cm<sup>3</sup>, está abaixo dos valores das rochas artificiais de mercado, como mármore composto, nanoglass e outros, cujos valores estão entre 2,4~2,7 g/cm<sup>3</sup>, produzidas industrialmente (ver ANEXO III). Segundo Martins (2016) essa densidade maior que a do vidro (cerca de 1,5 g/cm<sup>3</sup>) indica uma eficiência de compactação, que tende a gerar maior densidade ao compósito.

Diante de pesquisas anteriores que utilizaram o pó vidro como carga, os dados mais comparativos encontram-se em Lee et al. (2008), que alcançou valores que variam de 2,03 a 2,45 g/cm<sup>3</sup>, apesar de também fazer uso do resíduo de granito e um processo de fabricação com metodologia e tecnologia diferentes. Já na pesquisa de Martins (2016) também se encontram valores de densidade de  $2,60\pm 0,32$  g/cm<sup>3</sup>, que apesar de maiores que os dados encontrados, ficam próximo dos valores em estudo. Os valores para densidade apresentados por Ribeiro (2011, 2014, 2017) para as formas de produção por ele estudadas, ficam em torno de 2,28 a 2,38 g/cm<sup>3</sup>.

Quanto à Absorção de água e Porosidade aparente, no presente trabalho encontramos valores de  $1,59\pm 0,109\%$  e  $3,16\pm 0,235\%$  respectivamente, melhores que os encontrados em outras pesquisas. Segundo Martins (2016) quanto a absorção os valores ficam entre  $7,01\pm 0,52\%$  e os valores médios de  $18,31\pm 3,36\%$  para porosidade. Segundo Ribeiro (2017) os valores ficaram entre 2,60 e 0,16% para absorção e 5,93 e 0,39% para porosidade aparente, lembrando que seu processo de fabricação foi bem diferente tecnicamente, a vácuo, o que segundo o autor contribui para a captura do ar e gases decorrentes da cura da resina, e a vibração da amostra que tende a mover as bolhas para a superfície.

A baixa porosidade aparente demonstra que há uma pequena porção de espaços vazios dentro da estrutura. Esse fato pode ser favorável a aplicações da rocha de vidro, especialmente em bancadas, pois dificultam a proliferação de bactérias e o acúmulo de impurezas. Entretanto para uso como revestimento, de acordo com os Parâmetros tecnológicos propostos por CHIODI e RODRIGUES (2009), o material desenvolvido fica na categoria de alta porosidade e alta absorção de água.

#### 4.3.2 Resistência à flexão

Foram obtidas curvas típicas de força versus extensão diretamente dos dados do equipamento, nota-se que nas curvas para as rochas artificiais de resíduos de vidro apresentam um comportamento elástico, corroborando com o caráter mecânico semelhante às rochas naturais. Assim, após alcançar a deformação elástica máxima há formação de trincas e fratura abrupta.

A partir dos valores de força dados pelo equipamento, foram calculadas a tensão máxima para as amostras produzidas. A Tabela 10 apresenta os valores de força e tensão de ruptura alcançada pelo compósito, vale observar que a tensão de ruptura apresentou um valor pouco disperso, o que proporciona certa confiabilidade ao material.

Tabela 10 - Resultados encontrados no ensaio de resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida.

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Tensão de ruptura em flexão (MPa)</b>
<b>Média/Desvio</b>	135,58	6,10±1,8

Fazendo uma análise comparativa entre a rocha artificial de resíduos de vidro, as pedras de mercado e as desenvolvidas em trabalhos anteriores como os de Ribeiro (2012; 2014; 2015; 2017), temos a Tabela 11.

Tabela 11 - Análise comparativa de tensão de ruptura em flexão com as Rochas Artificiais desenvolvidas em trabalhos anteriores.

<b>Rochas Artificiais</b>	<b>Tensão de ruptura em flexão (MPa)</b>	<b>Resíduo/ Resina</b>	<b>Conformação</b>
ROCHA EM ESTUDO	6,1±1,8	Vidro oco/ poliéster	Compressão
MOLINARI (2007)	10,00±1,27	Granito, Mármore/ Poliéster, Acrílica	Compressão
MARTINS (2016)	35,89±2,89	Vidro plano/ Epóxi	Compressão
SILVA (2016)	31,87 ± 2,58	Mármore/ Epóxi	Vibro-compressão a vácuo
COSTA (2016)	45,8	Mármore/ Poliéster	Compressão
SALES (2012)	34,1	Vidro, granito,carbonato de cálcio/ Poliéster	Compressão
RIBEIRO (2014)	21,5 ± 1,9	Mármore/ Poliéster	Moldagem por transferência de resina (RTM)
LEE (2008)	27,9 a 52,7	Granito/ Poliéster	Vibro-compressão a vácuo
BORSELLINO (2009)	10,6 ± 22,2	Mármore/ Poliéster	Vibro-compressão
CHIODI (2009)	acima de 20	-	-
RIBEIRO (2017)	26,6 ± 1,6	Mármore/ poliéster	Vibro-compressão a vácuo/ RTM

Conforme especificado na norma ASTM C503(2003), é esperado para o mármore calcífico uma tensão de ruptura em flexão maior que 7 MPa. A rocha artificial de vidro estudada apresentou resistência de 6,1±1,8 MPa, porém ainda inferior, quanto aos valores recomendados como parâmetros para uso como revestimento por CHIODI (2009), maior que 20 MPa. Assim segundo Martins (2016) pode-se concluir que com um melhoramento na compactação das partículas, por

exemplo com uso de tecnologia de vibro-compressão a vácuo, tal material seria uma opção de substituto na aplicação de interiores. Acarretando uma economia de material devido as menores dimensões das partículas que compõem a seção resistiva e um menor custo, desde a produção até a comercialização.

Quando comparada com o mármore artificial obtido por Ribeiro (2014) de  $21,5 \pm 1,9$  MPa, vê-se que a resistência de  $6,1 \pm 1,8$  MPa demonstra propriedade inferior, o que se pode dar pelo processo de fabricação de Ribeiro (2015) ser caracterizado pelo vácuo durante todo o processamento. De acordo com Martins (2016) e Silva (2016), o vácuo permitiria um melhor escoamento dos gases, o que geraria menos vazios estruturais (porosidade) e melhor compactação nas partículas de vidro, melhorando assim as propriedades mecânicas.

Pôde-se verificar nos corpos de prova que a trinca se propagou no meio do material e de maneira esperada, o que sugere que o material pode ser uniforme, dados que não houve direções preferenciais de trinca. O fato de o rompimento acontecer de forma abrupta pode indicar baixa ou alta adesão do reforço à matriz do compósito.

#### 4.3.3 Resistência à compressão

As curvas de tensão versus deformação foram adquiridas diretamente no equipamento de ensaio, e possuem em comum o aspecto de comportamento praticamente elástico até a fratura. A extensão sem carga no gráfico corresponde ao movimento livre das plataformas de compressão até tocarem o corpo de prova. A Tabela 12 apresenta os valores encontrados nos ensaios de compressão.

Tabela 12 - Resultados encontrados no ensaio de resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida.

Corpo de prova	Força (N)	Tensão de ruptura em Compressão (MPa)
Média/Desvio	1395,57	13,95±2,77

No teste de compressão os valores encontrados, e como média e desvio encontramos  $13,95 \pm 2,77$  MPa, estando bem abaixo das demais pesquisadas. Se supõe que na confecção das rochas artificiais não houve uma satisfatória reticulação da resina, facilitando o escorregamento das disposições de partículas de resíduo.

Tabela 13 - Resultados encontrados no ensaio de resistência a compressão da rocha artificial desenvolvida com as desenvolvidas em pesquisas anteriores.

<b>Rochas Artificiais</b>	<b>Tensão de ruptura em Compressão (MPa)</b>	<b>Resíduo/ Resina</b>	<b>Conformação</b>
ROCHA EM ESTUDO	$13,95 \pm 2,77$	Vidro oco/ poliester	Compressão
MOLINARI (2007)	$107,38 \pm 8,075$	Granito, Mármore/ Poliéster, Acrílica	Compressão
MARTINS (2016)	$58,14 \pm 9,7$	Vidro plano/ Epóxi	Compressão
SILVA (2016)	$85,2 \pm 7,8$	Mármore/ Epóxi	Vibro-compressão a vácuo
RIBEIRO (2014)	$77,9 \pm 6,1$	Mármore/ Poliester	Compressão
LEE (2008)	78,7 e 151,3	Vidro, granito, carbonato de cálcio/ Poliester	Compressão
CHIODI (2009)	Entre 70 e 130	Mármore/ Poliester	Moldagem por transferência de resina (RTM)
RIBEIRO (2017)	$100 \pm 7 / 25 \pm 2$	Granito/ Poliéster	Vibro-compressão a vácuo

Mesmo que não exista uma regulamentação específica para rochas artificiais, existem estudos que trazem valores de referência. Chiodi (2009) apresenta valores entre 70 e 130 Mpa para resistência a compressão de rochas ornamentais de revestimento. Como o valor encontrado é de  $13,95 \pm 2,77$  MPa, baixo em relação a maiores das rochas artificiais, requer melhoramentos. Já Ribeiro (2017) recomenda que esses valores sejam em média  $100 \pm 7$  MPa para peças

produzidas por Vibro-compressão à vácuo e  $25 \pm 2$  Mpa por moldagem por transferência de resina, que mais se aproxima dos valores encontrados.

Segundo a norma regulamentadora de rochas naturais ASTM C503, os valores de compressão devem ser superiores a 52Mpa, os fabricantes de mármore composto fornecem valores em torno de 97 a 131Mpa, bem superiores ao valor encontrado. Nas pesquisas de Lee et al (2008), apesar de variar as condições de produção chegou a valores entre 78,7 até 151,3Mpa, lembrando que esse autor misturou o resíduo de vidro com o de granito, que por sua vez possui uma maior resistência mecânica.

Ribeiro *et al.* (2014 b,c) apresentaram a resistência de  $77,9 \pm 6,1$ Mpa, também bem superior ao material desenvolvido. Pode-se considerar também que apesar de ser a mesma resina que utilizamos, a carga de mármore possui maior resistência que a carga de pó de vidro, além do processo de fabricação o qual também proporciona maior aderência da carga com a matriz, e diminui a porosidade.

Já o autor que produziu com maior semelhança foi Martins (2016), que utilizou o mesmo resíduo, porém a resina epóxi, a qual segundo Silva (2016) proporciona melhores desempenhos mecânicos do que a resina poliéster, assim já era esperado que os valores deste trabalho fossem menores. As informações supracitadas estão sintetizadas na Tabela 13, de forma comparativa.

## 5 CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho esteve concentrada em um processo que desenvolvesse compósitos com carga particulada (pó de vidro) em uma matriz polimérica termorrígida com base de resina poliéster, procurando alternativas para a reaproveitamento do vidro descartado nos aterros e lixões. De modo geral, as

características superficiais estéticas e visuais para todos os corpos de provas dos compósitos apresentaram texturas e tonalidades similares a pedras naturais e artificiais.

As rochas artificiais obtidas apresentam densidade de  $1,99 \pm 0,065 \text{ g/cm}^3$ , esta próxima aos valores das rochas artificiais de mercado, como também se aproxima aos valores de densidades de outras rochas artificiais desenvolvidas em trabalhos acadêmicos. Quanto à Absorção de água e Porosidade aparente, encontramos valores de  $1,59 \pm 0,109\%$  e  $3,16 \pm 0,235\%$  respectivamente, melhores que os encontrados nas demais pesquisas.

A rocha artificial estudada apresentou resistência a flexão de  $6,1 \pm 1,8 \text{ Mpa}$ , inferior quanto a recomendação de CHIODI (2009), acima de 20 Mpa. No ensaio de resistência a compressão a média foi de  $14,0 \pm 2,8 \text{ Mpa}$ , ficando bastante a baixo do esperado. Comparado os valores obtidos com os das rochas artificiais, o material possui potencial para usos não estruturais.

O reaproveitamento do resíduo de vidro oco para o desenvolvimento de rochas artificiais, mostra potencial e vantagens ambientais, agregando valor. No processo e procedimentos aqui descritos não foi alcançado padrões necessários de resistência mecânica, para uso estrutural. No entanto, o processo resultou em um novo material a custos mais competitivos, com potencial de revestimentos impermeáveis ecoeficiente para mercado da construção civil, apresentando elevadas qualidades estéticas, impermeabilidade e leveza.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestões para trabalhos futuros vemos a necessidade de melhor caracterizar as propriedades mecânicas e, com a finalidade de comprovar a adequação dos compósitos em situações agressivas expressas pelos ambientes,

como cozinhas, na fabricação de pias, verificar a ação dos agentes químicos como óleos comestíveis, produtos cítricos e resistência a abrasão. Por fim, estudar os meios para melhorar os aspectos relacionados a estética superficial, como o brilho por polimentos ou outro processo de acabamento.

Além de a Rocha Artificial ser utilizada na arquitetura e urbanismo, espera-se que a partir desse estudo possa ser enfatizada a aplicação de novos materiais feitos a partir do reaproveitamento de resíduos em outros setores, tendo em vista que este material é relativamente acessível, seu reaproveitamento é ambientalmente correto, seu custo é relativamente baixo e consiste em um bom exemplo para o desenvolvimento sustentável.

## **REFERÊNCIAS**

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais < <http://www.abirochas.com.br>. Acesso em Janeiro 2017.

ABIVIDROS – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro. Boletim Informativo, São Paulo. 2008.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2009. São Paulo: Abrelpe, 2009.

AIGUEIRA; RAFAELA B., FILGUEIRA; MARCELO. Mecanismo e Resistência à Abraçagem de Compósitos à Base de Poliéster-SiC para Uso em Coroas de Polimento de Rochas Ornamentais. Artigos Técnicos Científicos. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 16, nº 3, p. 187-192, 2006.

AKERMAN M. Natureza Estrutura e Propriedade do Vidro, CETEV – Centro Técnico de Elaboração do Vidro, Foram Paulo, 2000.

AKERMAN, M., Apostila: A Elaboração do Vidro, ABIVIDRO, Vila Buarque-SP,1990.

ALICANTE (2017), Aglostone, Marmoglass, Technistone, Nanoglass, TheSize. Superfície de Quartzo. Disponível em [www.superficiedequartzo.com.br](http://www.superficiedequartzo.com.br). Acessado em 12/05/2017. Página mantida pelo grupo Alicante.

ALVES, O.L., GIMENEZ, I.F., MAZALI, I.O. Vidros. Cadernos Temáticos - Química Nova na Escola, edição especial, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1972) Water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2003) Standard specification for marble dimension stone (exterior): C 503. West Conshohocken.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Rochas para revestimento – Métodos de ensaio: NBR 15845:Rio de Janeiro, 2010.

BARTHOLOMEU, Daniela; CAIXETA FILHO, Jose Vicente (Orgs.) Logística ambiental de resíduos sólidos. São Paulo: Atlas, 2011.

BARROS, C.; Apostila de Vidros – Materiais de Construção – Edificações. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Rio Grande do Sul, Campus Pelotas, 2010.

BESEN, G. R. *et al.* Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. In: SALDIVA P. *et al.* Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris, 2010.

BORSELLINO, C.; CALABRESE L. & DI BELLA, G. Effects of powder concentration and type of resin on the performance of marble composite structures. *Constr. & Building Mat.* Vol. 23, p. 1915- 1921, 2009.

BRASIL. Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010. Acesso em: 12 jul. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agenda 21 Brasileira. 2007. Acesso em: 20 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 5, de 05 de agosto de 1993. Dispõe sobre a definição de normas mínimas para tratamento de resíduos oriundos da saúde, portos e terminais ferroviários. Acesso em: 20 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. PLANASAB - Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Versão preliminar para consulta pública. 2011. Disponível em: < Acesso em: 10 out. 2011.

CAESARSTONE. CaesarStone Quartz Surfaces. Disponível em < <http://www.caesarstoneus.com/catalog/technical-specs.cfm>>. Acesso em Janeiro 2017.

CALDERONI, S., Os Bilhões Perdidos no Lixo. Humanistas FFLCH/USP, 4<sup>o</sup> Edição. Foram Paulo – SP. 2003.

CALLISTER, W. D. Materials Science and Engineering – An Introduction, 7. ed., Canadá: John Wiley and Sons, 975p, 2007.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. Ciência dos Polímeros. 2<sup>a</sup> Edição, Editora Artliber, Foram Paulo- SP, 2006.

CARVALHO, A. Cura e Pós-Cura De Resinas Poliéster e Viniléster. 1<sup>o</sup> Edição, Polyplaster Ltda. Belo Horizonte, 2002.

CAMARGO, A. L. B. Desenvolvimento Sustentável – Dimensões e Desafios. Papirus Editora, 2010.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Pesquisa Ciclosoft. 2010. Disponível em: Acesso em: 21 jan. 2018.

COSTA, L. C. S. Obtenção e estudo de um compósito de matriz de poliéster e carga de resíduo de mármore. Dissertação - Centro de Tecnologia Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2017.

CHAVES, Iara Regina. Benefícios sociais, econômicos e ambientais a partir da gestão de resíduos sólidos urbanos: uma estimativa para o Rio Grande do sul. Dissertação de Mestrado PPED da PUCRS, 2012

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. São Paulo: Abirochas, 2009. 118 p.

CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Nosso futuro comum. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1998. 46p

COMPAC MARMOL E QUARTZ. El Cuarzo Tecnológico. Disponível em <[http://www.compacmq2.com/web/portugues/producto/mc\\_prodv.php?link=abe1d2d1](http://www.compacmq2.com/web/portugues/producto/mc_prodv.php?link=abe1d2d1)>. Acesso em junho de 2017

CRESPO, S. Educar para a sustentabilidade: a educação ambiental no Programa da Agenda 21. In: NOAL, F. O.; REIGOTA, M.; BARCELOS, V. H. Tendências na educação ambiental Brasileira. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2003. p. 221-225.

GOMES, J. W. Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos gerados pela manufatura do MDF (medium density fiberboard). Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - UFRN, 2015

GOMES, V. R. *et al.* Produção de vidros silicatos com resíduo fino de quartzito. 73º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 04 de outubro de 2018, São Paulo, SP, Brasil.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em Foram Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estud av [on-line]*, v. 25, n. 71, p. 135-58, 2011.

LEE, M.Y.; CHUN-HUN, C.; FANG-CHIH, L.; SHANG-LIEN, L. & JENG-CHING. Artificial stones lab production using was glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction. *Cement& Concrete Composites Vol 30*, p. 583-587, 2008.

LIBA, A. D. Controle da finalização de reação de resina de poliéster insaturada via NIR I Ademir Donizeti Liba\_ -- Campinas- SP, 2004.

LIMA, José Dantas de. Sistema integrado de destinação final de resíduos sólidos urbanos, Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LINTZ, R.C.C. (2003) Estudo de Materiais Alternativos para Fabricação de Estruturas de Máquinas-Ferramenta. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Campinas - SP, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 104p.

MARINUCCI, G. Materiais Compósitos Poliméricos. Artliber Editora,Foram Paulo, 2011.

MARMORE COMPOSTO Alicante, Aglostone, Marmoglass, Technistone, Auriom, Nanoglass, TheSize. Mármore Composto. Disponível em <http://marmorecomposto.com.br/>. Acessado em 19/06/2017. Página mantida pelo grupo Alicante.

MARMOGLASS® (2017) Alicante, Aglostone Marmoglass, Marmoglass, Technistone. Conheça o Marmoglass. Disponível em <http://www.marmoglass.srv.br/conheca-a-marmoglass.php> acessado em 19/06/2017, página mantida pelo grupo Alicante.

MARMOTEC (2017). Disponível em <http://www.marmotec.com.br> acessado em 19/06/2017, página mantida pelo grupo Marmotec.

MARTINS, L. B. S. A Produção de Rocha Artificial Utilizando Resíduos de etapa de Laminação de Vidro Plano em Matriz de Resina Polimérica. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2016.

MATA, T. M. C. P. Comparação de Processos de Reutilização/Reciclagem Usando a Metodologia de Análise do Ciclo-de-vida. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia do Porto, 1998.

MATOS, A. M. Estudo de argamassas com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moídos. Mestrado Integrado em Engenharia Civil -Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

MENDONÇA, R. M. de L.; PIRATELLI-FILHO, A.; LEVYNETO, F.; Compósitos Particulados Para Aplicações Em Engenharia De Preciforam: Obtenção E Propriedades Mecânicas. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-00, Brasília, DF, Brazil, 2002.

MENEZES; R. R., NEVES; G. De A., FERREIRA; H. C. O Estado da Arte Sobre o Uso de Resíduos como Matérias-primas Cerâmica Alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 6, n. 2, p. 303- 313. 2002.

MOLINARI, E.J. Reutilização dos resíduos de rochas naturais para o desenvolvimento de compósitos poliméricos com matriz termofixa na manufatura de pedras industriais. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2007.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* Gestão integrada de resíduos sólidos: manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: . Acesso em: 12 mar. 2011.

NANOGLASS® (2017) Alicante, Aglostone, Marmoglass, Technistone. Conheça o Marmoglass. Disponível em <http://www.nanoglass.srv.br/conheca-a-marmoglass.php> acessado em 19/06/2017, página mantida pelo grupo Alicante.

NOCITI, D. M. Obtenção de rochas sintéticas a partir de resíduos de vidro comercial e pó de granito. 2014. 120 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

OHYAMA, Y. Concrete- Polymer Composites – The past, Present and Future, Key Engineering Materials, Vol. 466, pp 1-14, 2011.

ORAL, I. Ultrasonic properties of epoxy resin/marble waste powder composites. Polymer Composites Vol. 36, pages 584–590, 2015

PALHARES, L. B.; GONTIJO, A.A.B.; GALVÃO, D.F.; FERNANDES, L.S.R.; DOS SANTOS, C.G.; GUADANINI, A.T.G., OLIVEIRA, L.B. Produção de um Compósito Resina/Rocha Ornamental com Pó de Ardósia Proveniente de Rejeitos. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 15 a 18 de maio de 2016, Águas de Lindóia, SP.

PEDRA ARTIFICIAL Alicante, Aglostone, Marmoglass, Technistone, Auriom, Nanoglass, TheSize. Pedra artificial. Disponível em [www.pedraartificial.com.br](http://www.pedraartificial.com.br). Acessado em 11/05/2017. Página mantida pelo grupo Alicante.

PRADO, M. R. Análise Do Inventário Do Ciclo De Vida De Embalagens De Vidro, Alumínio E Pet Utilizadas Em Uma Indústria De Refrigerantes No Brasil. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná, 2007

PEREIRA, F. S. G. Polímeros: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. IFPE, Recife- PE, outubro de 2009.

REICHHOLD. Guia de Produtos Composites. Catálogo Composites revisado, 22/10/2010. Disponível em: [www.reichhold.com](http://www.reichhold.com)

RIBEIRO, C. E. G. Produção de rocha artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência Dos Materiais), - Campos Dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011.

RIBEIRO, C. E. G. Resistência ao Manchamento de Rochas Artificiais Produzidas Com Resíduo de Mármore Calcítico e Poliéster Insaturado. CBECIMAT, 2012a.

RIBEIRO, C. E. G. Produção de Rocha Artificial utilizando Resíduos do Processamento De Mármore. CBECIMAT, 2012b.

RIBEIRO, C. E. G. Desenvolvimento de um Mármore Artificial Alternativo com Resíduo da Indústria de Mármore e Poliéster Insaturado. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015a.

RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S. Influence of Compaction Pressure and Particle Content on Thermal and Mechanical Behavior of Artificial Marbles with Marble Waste and Unsaturated Polyester. Mat. Res. [online]. ahead of print, pp. 0-0. Epub Nov 24, 2015b.

RIBEIRO, C.E.G.; RUBÉN, J. S. R.; CARLOS MAURÍCIO, F. V.; EDUARDO, A. C. & SERGIO, N. M. Fabrication of artificial stone from marble residue by resin transfer molding. Materials Sc.Forum Vol. 775-776, p. 336-340, 2014a.

RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S.; VIEIRA, C. M. F. Determination of apparent dry density for ternary mixture of crushed marble waste. The Minerals, Metals & Materials Society, San Diego, p.83-89, 2014b.

RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S.; VIEIRA, C. M. F. Production of ornamental compound marble with marble waste and unsaturated polyester. EPD Congress 2014. 1ed.: John Wiley & Sons, Inc., v., p. 129-136,2014 c.

RIBEIRO, C.E.G.; RUBÉN, J. S. R.; CARLOS MAURÍCIO, F. V.; EDUARDO, A. C. & SERGIO, N. M. Production of synthetic ornamental marble as a marble waste added polyester composite. Materials Sc. Forum Vol.775-776, p. 341-345, 2014d.

RIBEIRO, C.E.G.; RUBÉN, J. S. R.; F. V.; EDUARDO, A. C. Microstructure and mechanical properties of artificial marble. Construction and Building Materials Vol.149, p. 149-155, 2017

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. Considerações Sobre A Indústria Do Vidro No Brasil. Biblioteca digital, BNDES, 2007.

SALES, J. L. Reaproveitamento de resíduo de granito, mármore e caulim em compósitos de matriz cerâmica para a produção de placas de revestimento. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SALES, J. L. Desenvolvimento de compósito de matriz polimérica com partículas residuais de granito, mármore e caulim, para produção de rochas artificiais de revestimento. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

SANCHEZ, E. M. S. Resina de poliéster insaturado: relação estrutura e propriedades. Influência de adição do copolímero poli (Estireno-b-Isopreno-b-Estireno) nas propriedades mecânicas das resinas. Campinas- SP, 1996.

SAKAI; T. Artificial Stone Composition and Method of Manufacturing Artificial Stone. Patent Number 6,127,458. Appl. N° 08/836,105. United States Patent. Oct. 3, 2000.

SILESTONE®. Ficha técnica. Disponível em [www.silestone.com](http://www.silestone.com), acessado em 19/06/2017.

SILVA, F. S. Desenvolvimento e caracterização de um mármore artificial produzido a partir do aproveitamento do resíduo de mármore calcítico e resina epoxídica. Dissertação - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

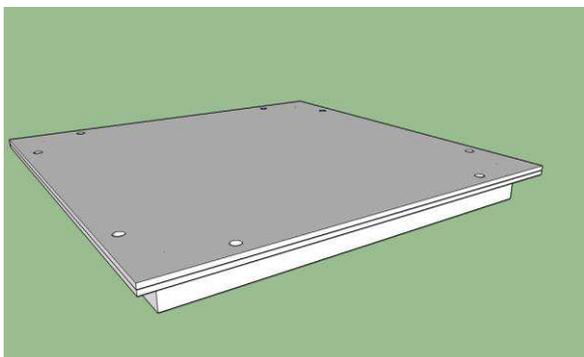
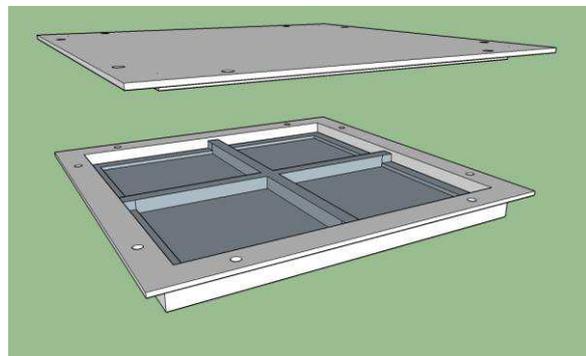
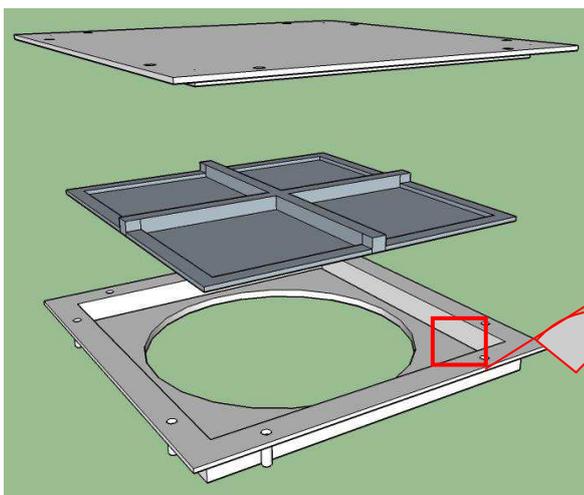
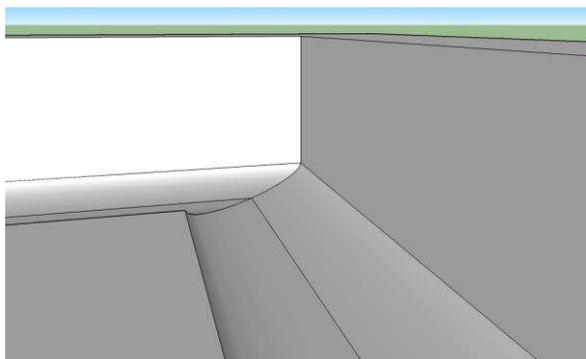
SMITH, J. K. Turning Silk Purses into Sows' Ears: Environmental History and the Chemical Industry. Enterprise & Society 1. 2000 by the Business History Conference. USA. December 2000

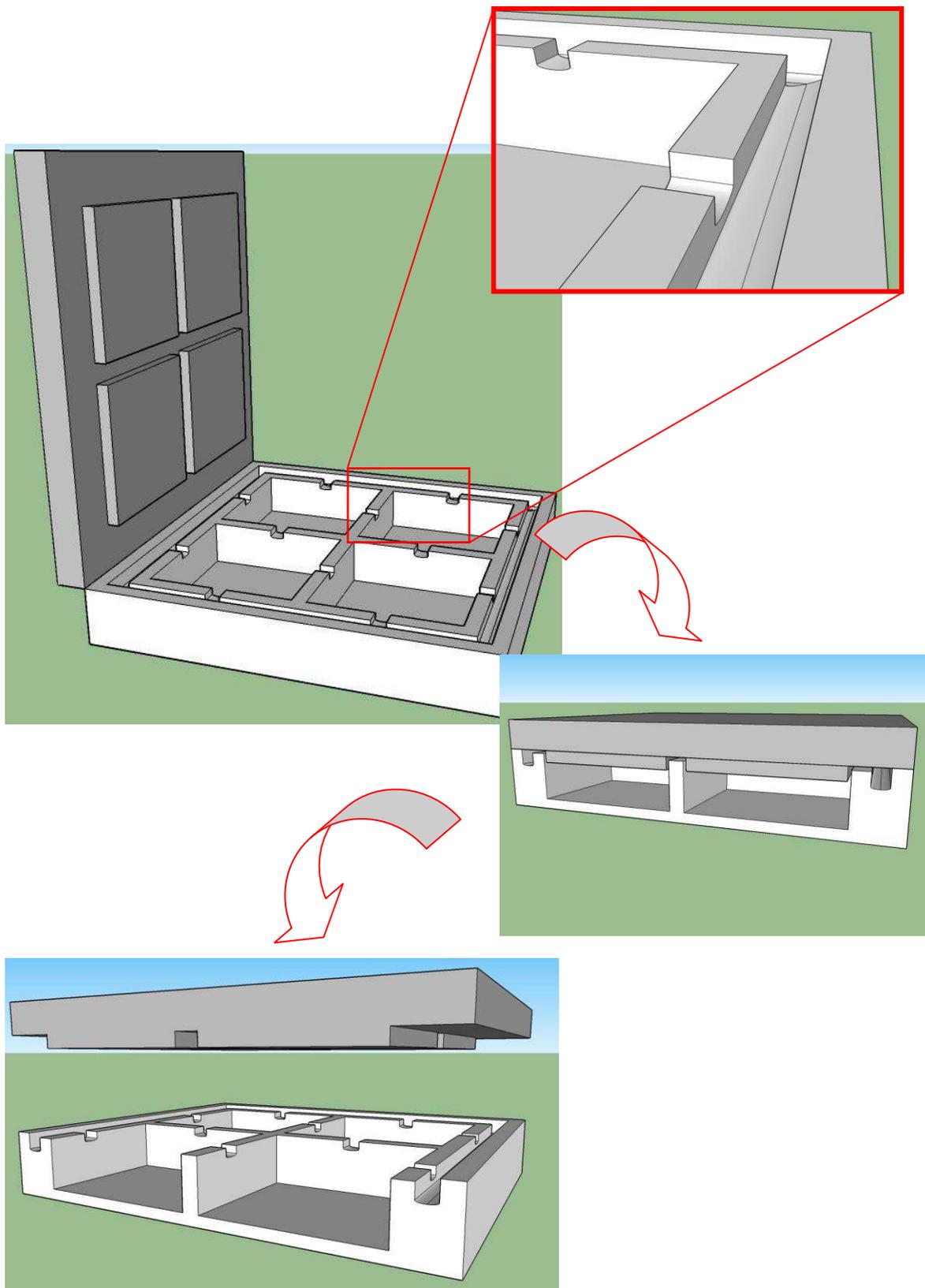
TAWFIK; M. E., ESKANDER; S. B. Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly (ethylene terphthalate). SAGE Publication. Journal of Elastomers and Plastics, Vol. 38 – January 2006.

TECHNISTONE. Linha starlight. 2015. Disponível em: <http://www.technistone.com.br/linha-e-cores.php>. Acesso em: dez. 2017.

## APÊNDICE I – Molde opção 01

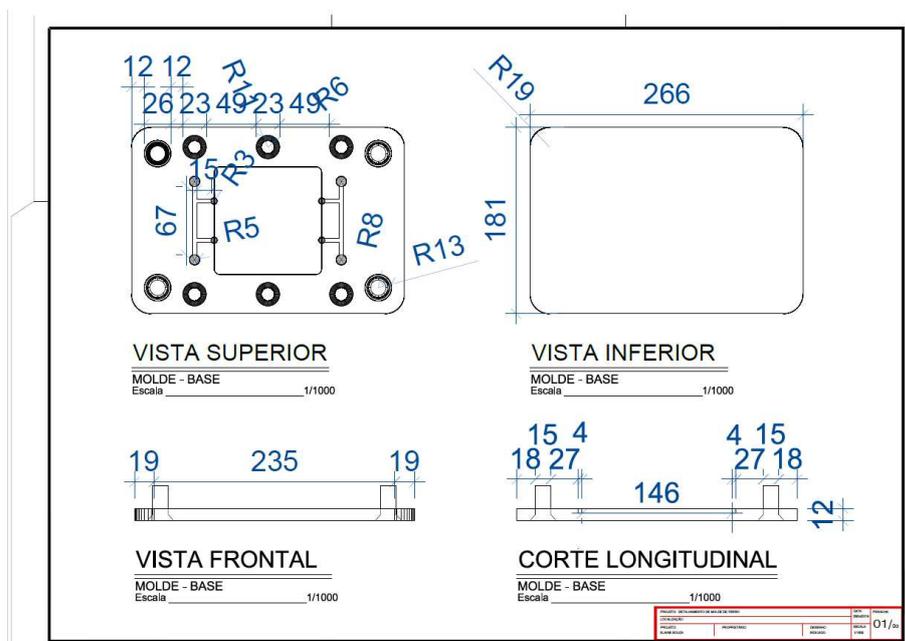




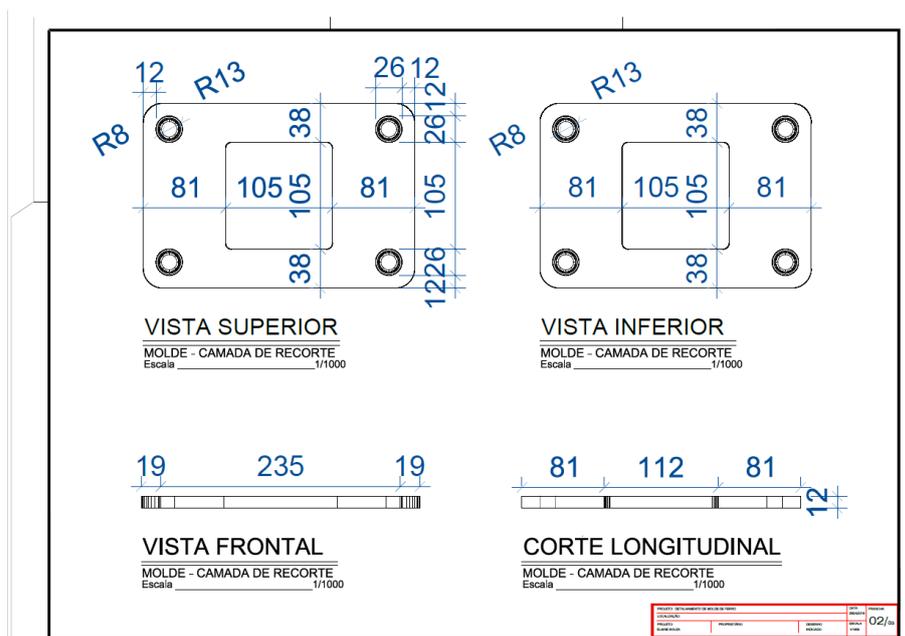
**APÊNDICE II – Molde opção 2**

## APÊNDICE V – Molde final

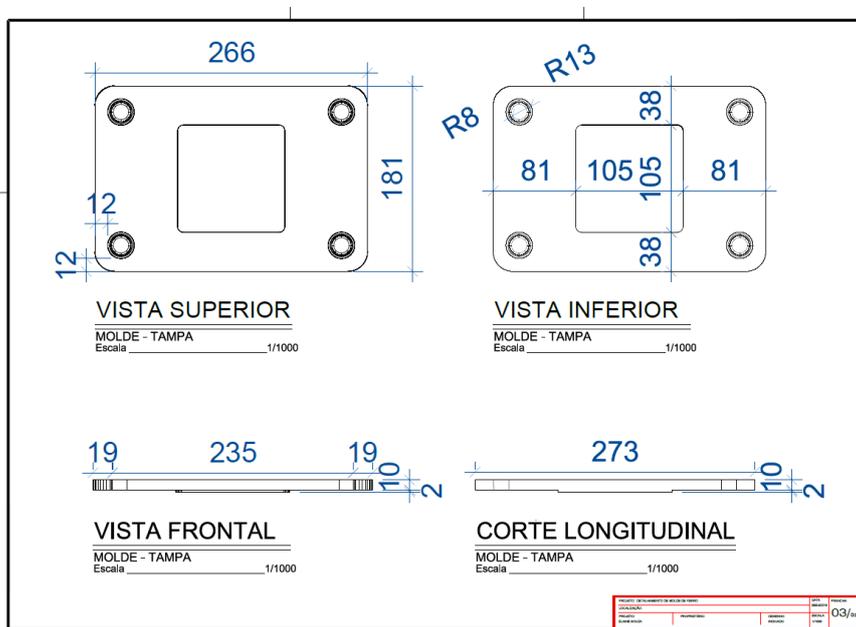
Projeto da base da Matriz.



Projeto da face recortada da Matriz.



Projeto da tampa da Matriz.



## ANEXO I - Boletim Técnico Resina

<b>REICHHOLD</b>		<b>FICHA DE EMERGÊNCIA</b>	
Reichhold do Brasil Ltda. Av. Amazonas, 1100 - Brás Cubas Mogi das Cruzes - São Paulo		Número de Risco: 30 Número da ONU: 1866 Classe ou subclasse de risco: 3 Descrição de Classe ou Subclasse de Risco: LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS Grupo de Embalagem: III	
Telefone Portaria: (11) 4795.8211 Telefone Expedição: (11) 4795.8272 Telefone Emergência (24 horas): 0800-7702088		Nome apropriado para embarque:  <b>RESINA, SOLUÇÃO, Inflamável.</b>	
<b>Aspecto:</b> Líquido amarelado a castanho, de odor pungente, inflamável. Incompatibilidade química: Incompatível para transporte com explosivos das subclasses 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 (exceto grupo de compatibilidade S), 1.5 e 1.6. Incompatível com substâncias auto-reagentes com rótulo de risco subsidiário de explosivo (subclasse 4.1 + 1) e peróxidos orgânicos que apresentam rótulo de risco subsidiário de explosivo (subclasse 5.2 + 1).			
<b>EPI exclusivo da equipe de atendimento a emergência:</b> Máscara com filtro contra vapores orgânicos. Óculos de segurança para produtos químicos, luvas de neoprene ou plástico insolúvel (PVC), avental de PVC, trajes para minimizar o contato. Em caso de emergência: Equipamento de respiração autônoma e roupas apropriadas contra incêndio. O EPI do motorista está especificado na ABNT NBR 9735.			
<b>RISCOS</b>			
<b>Fogo:</b>	Inflamável. Evitar que os vapores atinjam chama aberta, calor ou faíscas. Risco de explosão se exposto a chama ou calor em recipientes fechados. Seus vapores formam misturas explosivas com o ar. Produtos de combustão: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, e fumos irritantes ou tóxicos. Limites de explosividade: inferior 1,1% volume; superior 6,1% volume. Ponto de fulgor 29°C.		
<b>Saúde:</b>	Irritante para a pele, olhos, vias respiratórias, podendo provocar narcose e sintomas semelhantes a asma e em elevada concentração, dores de cabeça e sonolência. Contato repetido ou prolongado pode causar dermatoses. Nocivo se ingerido. A ingestão pode causar distúrbios gastrintestinais, dor e desconforto.		
<b>Meio Ambiente:</b>	Polui o meio ambiente, ar e cursos d'água. Tóxico aos organismos aquáticos. Densidade (25°C)= 1,0 a 1,2 g/cm3 Insolúvel em água.		
<b>EM CASO DE ACIDENTE</b>			
<b>Vazamento:</b>	Elimine todas as fontes de ignição. Isole e sinalize a área em um raio de 100 metros. Não toque nem caminhe sobre o produto derramado. Evite respirar os vapores. Pare o vazamento, se isto puder ser feito sem risco. Absorva o produto derramado com areia ou outro material absorvente não combustível e coloque em recipientes adequados para posterior destinação conforme legislação local, estadual ou federal. Não permita a entrada do produto derramado em cursos d'água, rede de esgotos, porões ou áreas confinadas.		
<b>Fogo:</b>	Utilize pó químico seco, CO2, água em forma de neblina ou espuma resistente ao álcool. Não utilize jato de forma direta. Afaste os recipientes da área de fogo, se isto puder ser feito sem risco. Incêndio envolvendo tanques ou carretas com cargas embaladas: Combata o fogo de uma distância segura ou utilize mangueiras com suporte ou canhão monitor. Resfrie lateralmente com água os recipientes expostos às chamas, mesmo após o fogo ter sido extinto. Retire-se imediatamente caso ouça o ruído do dispositivo de segurança / alívio ou em caso de descoloração do tanque devido ao fogo. Bombeiro: Utilize máscara autônoma para evitar a inalação de vapores e fuligem.		
<b>Poluição:</b>	Evitar que o produto ou águas residuais de combate a incêndio contaminem rios, mananciais e o solo. Se necessário, improvisar diques com material absorvente (areia seca, terra, etc). Descarte conforme orientação do órgão ambiental local.		
<b>Envolvimento de pessoas:</b>	Em caso de: Contato com a pele - lave as áreas do corpo afetadas com água e sabão. Remova roupas e calçados contaminados imediatamente, lavando-os antes do reuso; Contato com os olhos - lave-os imediatamente com água 15 minutos. Procure um médico se a irritação persistir; Inalação - Remover a vítima para o ar fresco. Se a respiração parar, aplicar respiração artificial; Ingestão - não provocar vômito. Não dar nada para beber a uma pessoa inconsciente. Obter auxílio médico imediatamente.		
<b>Informações ao médico:</b>	Aplicar tratamento sintomático.		
<b>OBSERVAÇÕES:</b>	As instruções ao motorista, em caso de emergência, encontram-se descritas exclusivamente no Envelope para Transporte		

**ANEXO II - Boletim Técnico Catalisador**

**Assunção**

CERTIFICADO DE ANÁLISE

Fabricante: Polinox do Brasil Ind. Com. Imp. E Exp. Ltda  
Estrada Municipal da Mina, 1233 – Bairro da Mina Itupeva – São Paulo -SP  
TEL/FAX. (11) 4591-3444

Produto: CATALISADOR TECNOX SUPER

Nome Químico: Peróxido de Metil Etil Cetona em Dimetil - Ftalato  
Lote: N° 001060117 / Fabricação: 06/01/2017 / Validade: 6 Meses

ITEM	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO
Oxigênio ativo	%	8,10 - 8,50	8,31
Densidade	g /cm <sup>3</sup> /25 °C	1,00 – 1,05	1,03
Aspecto Visual	-	L. L. I.	ok

Obs: L. L. I. - Líquido Limpido Incolor

OBS: Os dados contidos neste certificado são transcritos do certificado de análise do fabricante e não isenta o comprador de seu próprio controle na recepção do produto. Documento Impresso eletronicamente. Válido sem assinatura.

Distribuidor: Assunção Distribuidora Ltda.  
Químico Responsável: André Vieira de Sá - CRQ n° 19200240 XIX Região.

**Assunção Distribuidora Ltda**  
PB - Rod. BR-101, Km 13, Bloco A, S/N°, Dist Indl, 58320-000 - Alhandra – PB – Brasil - Telefone: (81) 3533-1800  
PE -Av. Gov. Miguel Arraes de Alencar, 167, Galpão B, Pte dos Carvalhos – 54580-875 – Cabo de Santo Agostinho  
PE – Brasil - Telefone: (81) 3476-5151

**ANEXO III - Especificações técnicas das rochas natuis e artificiais. Fonte: Alicante, Marmotec, Marmore composto, Silestone.**

Ensaio	Unidade	Aglostone	Silestone	Nanoglass	Marmoglass	Mármore	Granito	Mármore composto
<b>Peso específico (50kg/m2)</b>	g/ cm3	2,4~2,5	ND	2,631	2,7	2,5	2,7	2,4~2,5
<b>Carga de Compressão</b>	Mpa	220	ND	ND	400	220	295	220
<b>Resistência à Carga</b>	Kg/ cm <sup>2</sup>	100~150	ND	ND	475	170	150	100~150
<b>Carga de Flexão</b>	MPa	ND	F4>=40,0	≥ 30	ND	ND	ND	ND
<b>Dureza de Vickers</b>	kg/ mm <sup>2</sup>	ND	ND	ND	530	150	70~120	ND
<b>Escala de Mohs</b>	-	3~4	ND	5	6,0~6,5	3~5	5,5	3~4
<b>Absorção de Água</b>	%	0,09~0,40	0,5>=W3>0,0 5	0,022	0,02	0,30	0,17	0,09~0,40
<b>Percentual de Reflexo</b>	%	ND	ND	ND	80	42	66	ND
<b>Resistência a Ácidos</b>	1%H <sup>2</sup> SO	10	ND	≤ 0,11	0,08	10,2	1	10
<b>Resistência a Alcalinos</b>	15N <sup>2</sup> OH	0,30	ND	≤ 0,04	0,05	0,30	0,10	0,30
<b>Coeficiente de Expansão</b>	-	ND	ND	ND	25-100 ° 52	80-260 °c 30	50-150 °c 30	ND
<b>Térmica</b>	x10-7/°C	ND	ND	ND	25-400 °c 60	ND	ND	ND
<b>Condutibilidade térmica</b>	W/m·K	ND	1,3 W/m*K	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Resistência a Água do Mar</b>	mg/ cm <sup>2</sup>	0,19	ND	ND	0,08	0,19	0,17	0,19
<b>Resistência ao Gelo</b>	%	0,23	ND	ND	0,028	0,23	0,25	0,23

<b>Resistência ao fogo</b>	mm	ND	Bfl, s1	ND	ND	ND	ND	ND
----------------------------	----	----	---------	----	----	----	----	----