

REAPROVEITAMENTO DE VIDRO DE ESPELHOS COMO CARGA INORGÂNICA PARA COMPÓSITO DE MATRIZ TERMOFIXA

Lázaro André C. Oliveira¹; Marcelo G. Teixeira²

1) Faculdade AREA1/WYDEN. Curso de Eng. Ambiental. Salvador, Bahia–Brasil. Correo Eletrónico: laco_ba@hotmail.com

2) GEAD – Grupo de Estudos Avançados em Design – Centro Universitário Ruy Barbosa /WYDEN. Salvador, Bahia – Brasil. Correo Eletrónico: marcelomgt@gmail.com

Recibido: Agosto de 2021; Aceptado: Septiembre de 2021

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo demonstrar uma alternativa de reaproveitamento de vidro de espelhos, que não podem ser reciclados nos processos normais, na forma de carga inorgânica para compósito de matriz polimérica usando processo artesanal. O processo foi dividido em três partes, a primeira a coleta e maceração do vidro, em seguida a preparação do molde e finalizando com a formulação e moldagem de corpos de prova com 20, 40, 60 e 80% de vidro de espelho moído na sua composição. Os resultados mostraram sucesso na formulação e na moldagem indicando um material de características sustentáveis com possibilidade de ser usado em várias aplicações e utilidades.

Palavras Chave: Vidro de espelho, reaproveitamento, compósito.

ABSTRACT

This research aims to demonstrate an alternative for reusing mirror glass, which cannot be recycled in normal processes, in the form of inorganic filler for polymer matrix composite using a craft process. The process was divided into three parts, the first collecting and maceration of the glass, then preparing the mold and ending with the formulation and molding of specimens with 20, 40, 60 and 80% of ground mirror glass in its composition. The results showed success in the formulation and molding, indicating a material with sustainable characteristics that can be used in various applications and uses.

Key Words: Mirror Glass, reuse, composite

INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das maiores preocupações dos grandes centros urbanos está na geração dos resíduos sólidos. Conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos no *Brasil 2020* [1], o *Brasil* descartou 79.069.585 toneladas de RSU (Resíduo Sólido Urbano) no ano de 2019. Apesar do aumento da prática da coleta seletiva, porém, o descarte sem controle ainda é grande, tendo a região *Nordeste do Brasil*, descartando 31,5% dos seus resíduos sólidos em áreas abertas e sem nenhum tipo de tratamento, o chamado “Lixão”, conforme os dados do mesmo panorama [1].

Com o aumento da quantidade de resíduo e o descarte inadequado, observou-se que muitos dos resíduos que poderiam ser reciclados, reaproveitados ou reutilizados ainda são descartados de forma inadequada e diretamente ao meio-ambiente sem nenhum tipo de tratamento. Este é o caso do vidro, um material com grande versatilidade com diversas aplicações e também com a característica de ser 100% reciclável, permitindo substituir parte das matérias primas pela fusão de cacos de vidros quebrados [2], preservando o meio ambiente e reduzindo o uso de energia.

Os vidros são classificados como planos, vidros para embalagem, vidros domésticos e os tipos especiais e técnicos. Destes, mais de 50% da produção são de vidros planos, tais como: os vidros laminados, temperados e espelhos, utilizado na indústria de construção civil, automobilística,

movelaria e decoração [2]. Entretanto a maior parte dos vidros planos não é reaproveitada nos ciclos produtivos originais por possuir substâncias diferentes na sua composição que são de difícil separação, impossibilitando os processos de reciclagem [3]. Esse é o caso do espelho, que é constituído por camadas de vidro e de outros materiais que impossibilitam seu reaproveitamento em ciclos produtivos originais.

Urge, portanto, buscar formas de reaproveitamento para estes tipos de vidro que não possuem caminhos para um reaproveitamento. O objetivo desta pesquisa é, então, demonstrar uma rota sustentável de aproveitamento de vidro de espelho através da elaboração de material compósito, usando matriz polimérica termofixa, no qual o vidro cumpre o papel de carga inorgânica, usando para isso um processo artesanal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento se dividiu em três etapas: Etapa 1, coleta e moagem do vidro de espelho; Etapa 2, preparação do molde de silicone; Etapa 3 mistura e moldagem do compósito.

Etapa 1. Vidros de espelho. O vidro é um material de uso muito amplo e difundido em diversos setores industriais para uma vasta gama de aplicações. Sua composição é formada de materiais minerais virgens, mas também são usados caco de vidro reciclado em muitos produtos. Neste caso 50% são cacos reciclados, 36% sílica (areia refinada), 7% barrilha (calcário + sal marinho), 6% calcário e 1% alumina [4]. O Quadro 1 mostra os principais tipos, os setores de uso e exemplos.

Quadro 1. Tipos de vidro e seus usos

TIPO	SETORES DE USO	EXEMPLO
EMBALAGENS	Alimentício, farmacêutico e cosméticos	Garrafas, potes, frascos e vasilhames.
PLANO	Construção civil, automobilístico, decoração e movelaria	Janelas, peças automotivas, peças de eletrodomésticos e de móveis, espelhos.
DOMÉSTICO	Utensílios domésticos	Copos, vasilhas, pratos, etc..
ESPECIAIS/ TÉCNICOS	Usos em projetos específicos nos mais variados setores	Lâmpadas, TVs planas, vidros de laboratórios, blindados, fibras de vidro

Apesar do vidro, na sua composição básica, poder ser 100% reciclável em ciclos indefinidos, entretanto nem todo tipo de vidro permite os processos de reciclagem. Geralmente vidros que tem alguma combinação com materiais diferentes aos básicos, ou que sofrem processos

que alteram muito suas características, não possuem essa possibilidade, tais como vidros temperados, laminados, lâmpadas e espelhos [3].

A *Abravidro* [5] descreve o vidro de espelho como sendo “vidro com superfície lisa com alto índice de reflexão de luz. É formado a partir do sanduíche lâmina de vidro, prata (camada intermediária) e tinta”, que são fundidas numa das faces do vidro num processo térmico de alta temperatura onde a separação desses materiais é praticamente impossível, impossibilitando sua reciclagem [3].

Como visto, o espelho é constituído por diversos materiais além do vidro, que por suas características de constituição física, não podem ser separados para processos de reciclagem com o objetivo de se recuperar o vidro para ser usado novamente como matéria prima básica.

Para essa etapa da pesquisa, primeiramente, o resíduo do espelho foi coletado em caçambas de descartes em empresas de distribuição de vidros, foi posteriormente moído de forma artesanal usando uma simples marreta, uma ferramenta de fácil manuseio e aquisição. Em seguida foi usada uma peneira de cozinha, dentro da coerência do processo artesanal, para separar as partículas grosseiras que não serão usadas. A figura 01 mostra as etapas do reaproveitamento do vidro de espelho.

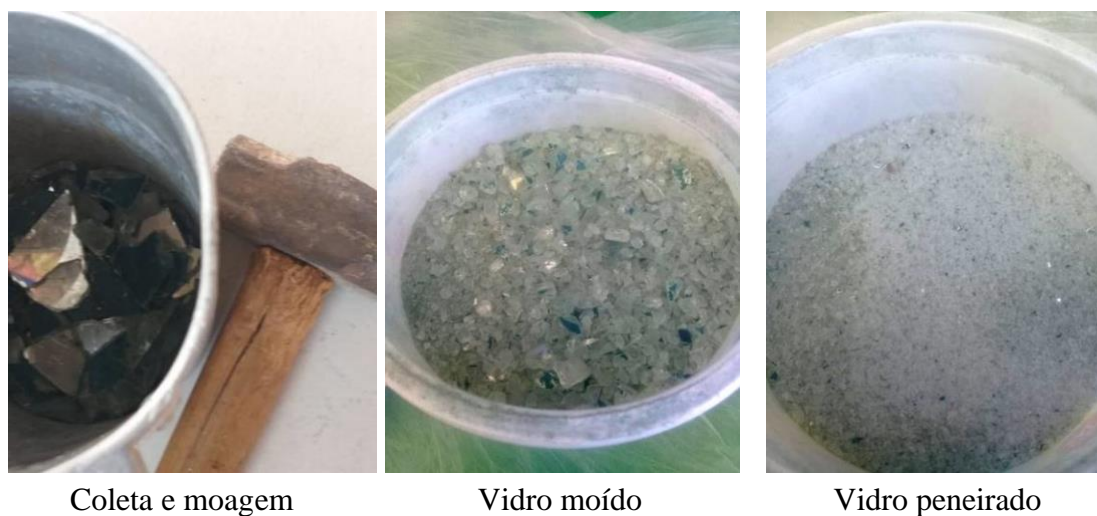


Figura 1. Processo de reaproveitamento do vidro de espelho.

Etapa 2: preparação do molde de silicone. Foi determinada a produção de corpos de prova medindo 5.5 cm, de lado e 5 mm de espessura, vertendo as misturas em um molde aberto de borracha de silicone, construído com base nas sugestões feitas pela *Ibex* [6] e pela *Silaex* [7]. Foi previsto a moldagem de 4 a 6 corpos de prova para o experimento. O uso da borracha de silicone se justifica pela facilidade de produção do molde e de seu uso, apresentando uma superfície auto desmoldante, o que facilita a retirada dos corpos de prova [8].

O silicone usado foi o adesivo transparente comum, vendido em tubos de 250 g, comumente usados para colar vidro, metal e realizar calafetagens. Esse tipo de silicone foi escolhido por ser um material genérico, fácil de ser encontrado em lojas de construção. O tubo de silicone e o molde são vistos na Figura 02.



Figura 2. Tubo e molde de silicone para a produção dos corpos de prova

Etapa 3. Mistura e moldagem do compósito. Uma resina termofixa será utilizada como matriz do material compósito nos testes, pela facilidade do manuseio e fácil aquisição. As resinas termofixas são definidas no Glossário de Termos Aplicados a Polímeros [9] como “materiais plásticos que quando curados, com ou sem aquecimento, não podem ser novamente amolecidos por um próximo aquecimento”. O experimento foi realizado com a *Centerpol C400*, uma resina ortoftálica de alta viscosidade para uso geral da fábrica *Center Glass*, que tem característica de ser translúcida quando curada. A mesma será curada com o catalizador MEK (peróxido de metil-etil-cetona) à 2%, conforme orientação do fornecedor.

A formulação foi feita a partir da proposta de *Teixeira e César* [10], e que nesta pesquisa apresenta o percentual usado em cada material denominando como traço “TR#”. Os traços estão definidos no Quadro 2, contendo 20, 40, 60 e 80% de vidro na mistura, volumes medidos com o uso de balança digital. A Figura 3 mostra a pesagem, a aplicação da mistura no molde e os corpos de prova.

Quadro 2. Traços do compósito.

TRAÇO	VOLUME VIDRO %	VOLUME MATRIZ %
TR1	20	80
TR2	40	60
TR3	60	40
TR4	80	20

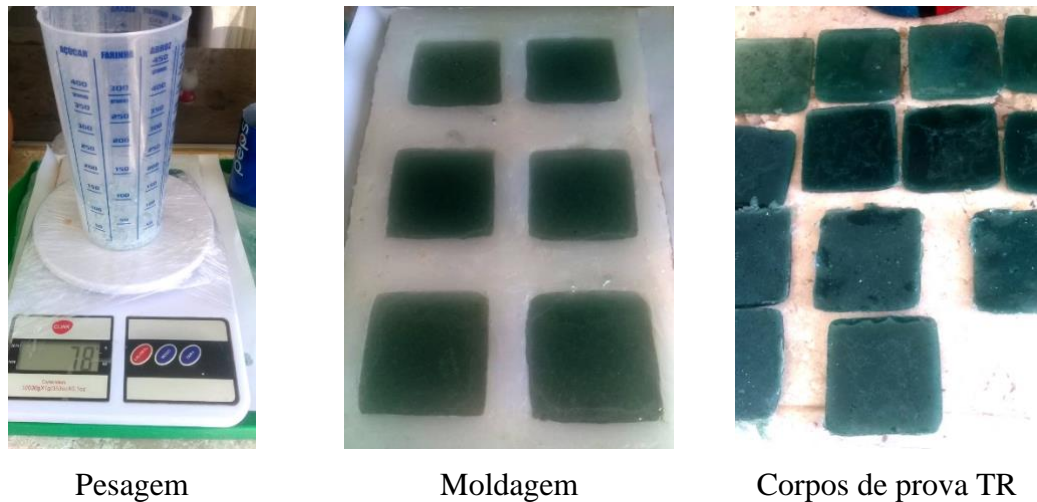


Figura 3. Processo de preparação e moldagem do compósito

RESULTADOS

A moldagem não apresentou dificuldade, bastando uma mistura simples dos componentes em um pote, para posterior deposição nas cavidades do molde. A cura se deu dentro do tempo esperado, cerca de 15 minutos para começar a polimerização e 2 horas para o completo endurecimento.

O traço TR1, com 20% de vidro, apresentou separação entre os componentes, expondo a deposição do vidro no fundo do corpo de prova, indicando, portanto, que a quantidade não foi suficiente para uma mistura homogênea.

Os traços TR2 e TR3 se mostraram mais homogêneos e menos viscosos, principalmente este último, o que facilitou serem vertidos nas cavidades do molde. A opacidade desses traços também aumentou, sendo que o TR3 se mostra quase completamente opaco.

O traço TR4, o mais homogêneo de todos, se apresentou como uma massa espessa, sendo aplicado no molde sem a fluidez apresentada nos demais traços. Apresentou algumas bolhas superficiais, diferentemente dos traços anteriores, que não apresentaram bolhas. A figura 04 registra um corpo de prova de cada um dos traços.

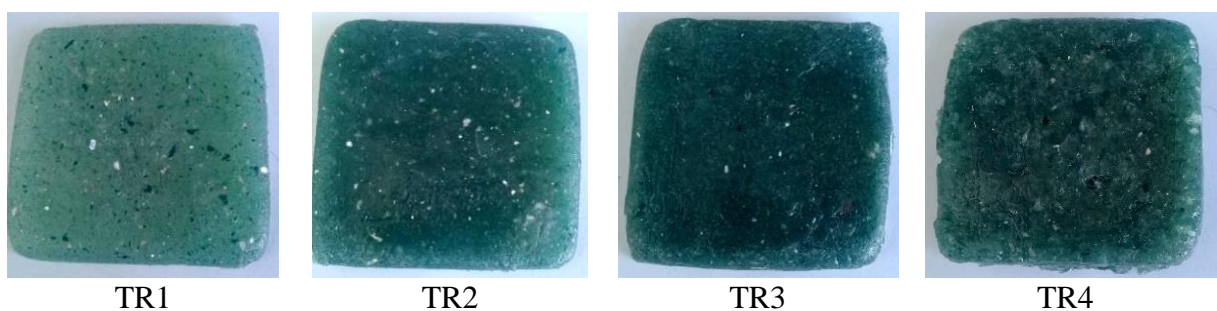


Figura 4. Corpos de prova dos traços

DISCUSSÕES

Compósitos sustentáveis. Os materiais compósitos são materiais que consistem de pelo menos, dois componentes: a matriz, geralmente construída de materiais poliméricos, e o agente de reforço, o qual reforça a primeira, proporcionando a transferência de esforços mecânicos e que podem ser fibrosos ou particulados, como é o caso desta pesquisa. O principal objetivo dos reforços é o de melhorar determinadas propriedades da matriz com características complementares, sendo que os principais exemplos fibrosos são as fibras de vidro, fibra de carbono e fibras aramídicas [11], [9], reforçando resinas termofixas como as de poliéster ou termoplásticas, tal como a polipropileno.

Os reforços particulados, também chamados como cargas, são usados para modificar algumas características das matrizes podendo aumentar a rigidez, alterar a opacidade, podendo ou não aumentar a resistência do compósito [12]. Podem ter origem mineral, vegetal ou artificial, e os mais usados são o talco, o carbonato de cálcio e a sílica, todos de origem mineral.

Quando algum dos seus componentes é de origem renovável, abundante e não tóxica, tais como alguns materiais reciclados e/ou reaproveitados de resíduos principalmente, o compósito passa a ter características sustentáveis [12]. Como exemplo, as matrizes ou reforços podem ser de origem vegetal, tal como resinas de mamona, óleo de castanha de caju, reforços de fibras de sisal, coco ou bagaços e cascas de vegetais, e também reforços particulados como serragem ou pó de cerâmica.

São inúmeras as pesquisas neste campo, abrangendo matrizes e reforços das mais variadas origens. São exemplos os compósitos com fibras vegetais formulados por *Hariprasad, Dharmalingam e Praveen Raj* [13] que usou fibras de bananeira e coco reforçando matriz termofixa de epóxi; o formulado por *Kumar e Anandh* [14] que usaram fibras de juta e cânhamo e o formulado *Santana e Teixeira* [8] que usaram bagaço particulado de cana-de-açúcar, ambos para reforçar matriz termofixa ortofitálicas. Material inorgânico também são usados tal como o compósito proposto por *Reis et al.* [15] que usaram reforço particulado de resíduos de mármore e granito em matriz termofixa e *Barbosa et AL.* [16] que usou reforços particulados de mármore e granito somado a fibras de sisal no reforço de matrizes termofixas isoftálicas.

Manzini e Vezzoli [17] sugerem para a minimização do uso de recursos naturais e dos impactos ambientais causados pelo descarte primeiramente, a redução do consumo de materiais de fabricação virgens, assim como o uso de materiais reciclados e reaproveitados nas mais variadas possibilidades e durante o maior tempo possível. Assim, a respeito do ciclo dos materiais, são sugeridos por *Teixeira, Junior e Couto* [18] os conceitos usados para a formulação do compósito aqui proposto, conforme o Quadro 3:

Quadro 3. Sugestões sustentáveis usados para formulação conceitual do compósito

Usar materiais vindos de fontes abundantes;
Usar materiais reciclados e recicláveis
Usar materiais compatíveis entre si;
Usar materiais que provenham de refugos de processos produtivos
Selecionar processos mais acessíveis e de custo mais baixo possível

Baseado em *Teixeira, Junior e Couto* [18].

Nesta pesquisa, o compósito foi formulado a partir da reciclagem do vidro de espelho, que, como já explicado, não pode retornar aos processos de origem, por conter materiais que impossibilita esse ciclo. Assim este compósito oferece um caminho alternativo para o reaproveitamento deste tipo de vidro ao mesmo tempo em que traz uma oportunidade de substituição de matérias primas virgens por materiais reciclados, o que minimiza a procura e uso das primeiras.

Sustentabilidade do compósito. Dentro do previsto pela teoria da sustentabilidade, a qual sugere, no mínimo, três grandes pilares: o ambiental, o econômico e o social [19], segue uma análise do compósito frente a esses pilares:

Quanto ao fator ambiental: de acordo com o resultado do TR4, foi obtido um compósito com aproveitamento de 80% de matéria reaproveitada na massa total do compósito, material que seria descartado na coleta pública por não haver outras formas de reaproveitamento ou reciclagem do mesmo. Em uma simples comparação com compósitos baseados em reforços de origem vegetal, observou-se que o compósito com o vidro de espelho alcançou um desempenho quanto à quantidade de resíduo reciclado, pois muitos destes últimos alcançam uma porcentagem de aproveitamento igual ou menor a 20% ou no máximo até 30%, como visto nas pesquisas anteriores de *Santana e Teixeira* [8] que usaram bagaço de cana-de-açúcar; *Teixeira e César* [10], serragem de madeira e *Teixeira* [20] que usou serragem de MDF.

Quanto ao fator social: a acessibilidade a ferramentas e a facilidade de aquisição dos insumos propostos na conceituação e no desenvolvimento deste compósito, pode ajudar na geração de trabalho para mão de obra pouco especializada, ampliando assim a facilidade de pessoas poderem adquirir um aumento da renda com o uso de resíduos que seriam descartados de forma inadequada. Deve-se atentar, no entanto, o fator de risco a acidentes característico da manipulação de cacos de vidro. Neste caso, o produtor deve usar os EPIs necessários a esta atividade.

Quanto a fatores econômicos: Com a demonstração do uso de até 80% da matéria prima

reaproveitada de resíduo descartado, verifica-se, primeiramente a possibilidade de economia financeira pela substituição de materiais virgens e mais caros por material proveniente da reciclagem de resíduos sólidos mais baratos. Em segundo lugar verifica-se a oportunidade de geração de renda pelo trabalho facilitado pelo o uso de ferramentas artesanais para sua produção. Também pode ser considerada uma oportunidade de trabalho, a coleta do material por cooperativas habilitadas. Com o trabalho social, como foi abordado acima sobre o aumento da renda, tem então um aumento de circulação local de capital.

Possíveis aplicações. As aplicações dos compósitos sustentáveis estão diretamente relacionadas com seus processos produtivos, capazes de transformá-los em produtos e utilidades [21]. Neste caso há uma referência aos processos usados comumente no plástico reforçado com fibra de vidro, também conhecida por *fiberglass*, devido, principalmente ao uso de molde de borracha de silicone, tal como explica *Teixeira* [21]. Assim pode-se imaginar seu uso em chapas, peças maciças de pequenas dimensões, utensílios, cabos de ferramentas, além de outras aplicações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto, o aproveitamento do vidro em até 80% demonstra que o experimento alcançou seu objetivo. O resultado permite visualizar a produção de produtos usando espelhos descartados na forma de reforço particulado para compósitos, em processos de baixa complexidade. Esse experimento, portanto, demonstra vias alternativas de reaproveitamento de alguns resíduos sólidos tidos como não recicláveis ou não reaproveitáveis.

Como sugestões para novas pesquisas é proposto a mistura com novos materiais reaproveitados, tais como resíduos agroindustriais tais como serragem de MDF, e também novos experimentos tais como absorção de água e testes de resistência mecânica e reflexão da luz incidente para verificar possível efeito cintilante do compósito no escuro.

REFERÊNCIAS

- [1] ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020 Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> . Acessado em janeiro de 2021
- [2] Freire. L.L.R. A indústria de vidros planos – Caderno Setorial ETENE. BNB – Banco do Nordeste. 2016 Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1218176/2_vidros.pdf/d8f77da8-9f00-7968-f918-9068e4fc560e . Acessado em: maio de 2021
- [3] Biblioteca Virtual do Governo do Estado de São Paulo. Reciclagem: vidro. 2018. Disponível em: <http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/temas/meio-ambiente/reciclagem-vidro.php> Acessado em maio de 2021
- [4] RECICLOTECA. Vidro: história, composição, tipos, produção e reciclagem. 2019. Disponível: <http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/vidro/> Acessado em junho de 2021.
- [5] ABRAVIDRO. Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos – Espelho. Disponível em: <https://abravidro.org.br/vidros/espelho/> . Acessado em maio de 2021
- [6] IBEX. Borracha de Silicone. 2015. Disponível em <https://ibexquimica.com.br/portal/images/literatura/ApostBorrachaSilicone.pdf> Acessado em maio de 2021.
- [7] SILAEX. Guia Passo a Passo para Confecção de Moldes. 2015. Disponível em: http://www.silaex.com.br/guia_passo_a_passo .htm Acessado em maio de 2021.

- [8] Santana, I.S.A. Teixeira, M.G. Desenvolvimento de compósito de matriz de poliéster termofixo reforçado com bagaço de cana-de-açúcar. Revista Iberoamericana de Polímeros. V20(6), 2019. Disponível em <https://reviberpol.org/2019/11/01/desenvolvimento-de-composito-de-matriz-de-poliester-termofixo-reforcado-com-bagaco-de-cana-de-acucar/> Acessado em maio de 2021.
- [9] BRASKEM – Glossário de termos aplicados a polímeros. 2002. Disponível em: https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Glossario_de_termos_aplicados_a_polimeros.pdf. Acessado em junho 2021
- [10] Teixeira, M.G. César, S.F. Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da Ecologia Industrial. Revista Madeira. v. 19, p. 48–62, 2006. Disponível: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/219> Acessado em junho de 2021
- [11] Rollo, JMD de A, Fortulan CA, Materiais de engenharia: Materiais Compósitos. USP. São Carlos 2015 Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4449560/mod_resource/content/0/Aula08_materiais_compositos.pdf. Acessado em maio de 2021
- [12] Teixeira, M.G. Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira. Salvador: Universidade Federal da Bahia. 2005. Dissertação. Disponível em: http://www.teclim.ufba.br/material_online/dissertacoes/dis_marcelo_g_teixeira.pdf Acessado em junho de 2021.
- [13] Hariprasad T, Dharmalingam G, Praveen P “A study of mechanical properties of banana-coir hybrid composite using experimental and fem techniques”. J. Mechanical Engineering & Sci. 2013. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/998a/c54b30dd36ba700649d8faa1fdf909cebf94.pdf?ga=2.34004513.169644662.1624548801-364532751.1624548801> Acessado em junho de 2021
- [14] Kumar YGSP, Anandh N, Fabrication and analysis of Jute/Hemp reinforced fiber, International J. Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. 2017. Disponível em: <https://www.ijariit.com/manuscripts/v3i6/V3I6-1426.pdf> Acessado em junho de 2021.
- [15] Reis, I.M. et al. Influência das partículas de mármore e granito nas propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos. Brazilian Journal of Development. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/17235> Acessado em junho de 2021.
- [16] Barbosa, K.S.L. et al. Efeito da adição do resíduo de mármore e granito com fibras de sisal nas propriedades de compósitos poliméricos. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/6940/6105> Acessado em junho de 2021.
- [17] Manzini, E. Vezzoli, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os requisitos ambientais dos produtos industriais – São Paulo: Edusp – 2002
- [18] Teixeira M.G.; Junior E.C. dos S.; Couto E.C.dos S. Aplicação de conceitos da ecologia industrial no design de produtos em eco-compósito de resíduos particulados e pedaços descartados de madeira. Revista Gestão Industrial. v. 12, n. 01. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/3190> Acessado em junho de 2021.
- [19] Gregolin G.C. et al. Desenvolvimento: do unicamente econômico ao sustentável multidimensional. Revista PRACS. v. 12, n. 3, p. 51–64, dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/pracs/article/view/4768/graciela12n3.pdf> Acessado em junho de 2021
- [20] Teixeira M.G. Compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo: concepção e propriedade de cópia de texturas. Revista Iberoamericana de Polímeros V17(5). 2016. Disponível em: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2016-teixeira.pdf> Acessado em junho de 2021.
- [21] Teixeira, M.G. Processo de produção de um brinquedo com compósito de resíduo particulado de MDF e poliéster termofixo. Rev. Iberoam. Polím., **21(1)**, 2020. Disponível em: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2020/01/2020-21-1-31-40-teixeira.pdf> 0 Acessado em junho de 2021