



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE COMPÓSITO À BASE  
DE RESÍDUO DE GESSO E POLIESTIRENO  
EXPANDIDO (EPS)**

**Paula Graziela Gasparin**

Toledo – Paraná – Brasil  
2020



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

## **OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE COMPÓSITO À BASE DE RESÍDUO DE GESSO E POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

**Paula Graziela Gasparin**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste/*Campus* Toledo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Reinaldo Aparecido Bariccatti  
Coorientadora: Edna Possan

JUNHO/2020  
Toledo – PR

*Aos pais, amigos e professores*

*Na caminhada em busca do  
conhecimento, aprendemos que  
sozinhos caminhamos, mas juntos  
podemos ir mais longe.*

## AGRADECIMENTOS

À Reinaldo Bariccatti, meu orientador neste trabalho, pela compreensão e firmeza ao lidar com meus ritmos e pela compressão em transitar em diferentes campos de conhecimento.

À Edna Possan, minha coorientadora nesta pesquisa, pela inspiração, competência, acolhimento e principalmente por sua garra contagiante na produção coletiva do conhecimento na engenharia tão significativos, no qual tive a grata satisfação em participar. Jamais esquecerei de suas lições, preocupação constante em tornar essa dissertação cada vez melhor e por não ser só professora, por ser mãe, amiga, parceira e fazer dos seus alunos seres pensantes.

Aos meus pais, especialmente minha mãe Marta Begnini Gasparin, que sempre me incentivou nos estudos, apoiando, cuidando e observando, em todos os momentos da minha vida.

Ao meu marido, Tulio Neves, por sempre estar presente em minha vida, me incentivando, encorajando e na busca de meus ideais. Obrigada pela compreensão nesta minha jornada.

À Jaine de Moura, amiga incondicional, que junto a mim aceitou entrar no programa de pós-graduação, vivenciando dias ensolarados e outros não tanto, com a mesma vontade e sorriso alegre de sempre.

À Gabriela Leite, Eduardo Rigo, Dalila, João e Carlson, amigos que conheci durante esta jornada, e permanecerão em minha vida, pela pesquisa laboratorial, pelo ambiente maravilhoso que encontrei todos os dias, desafios e batalhas diárias, sempre encontrando com entusiasmo a saída para um problema. Obrigada pelos seus otimismo contagiante.

A todos os meus amigos de verdade, quero que saibam que reconheço tudo que fizeram por mim, a força que inculiram no meu pensamento para não desistir e o conforto de saber que nunca estarei só e serei sempre capaz de tudo por maiores que sejam as dificuldades.

A quem não mencionei, mas fez parte do meu percurso, deixo um profundo agradecimento porque com toda certeza tiveram um papel determinante nesta etapa da minha vida.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	21
2.1.1 Resíduo de gesso.....	22
2.2 RESÍDUOS DE OUTRAS INDÚSTRIAS .....	26
2.2.1 Resíduo de Poliestireno Expandido (EPS) .....	26
2.2.2 Geração de resíduo de poliestireno expandido (EPS).....	28
2.2.3 Aproveitamento poliestireno expandido (EPS) .....	29
2.3 RECICLAGEM E SUSTENTABILIDADE .....	30
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
3.1 MATERIAIS .....	34
3.1.1 Gesso virgem ou de estuque.....	34
3.1.2 Poliestireno expandido de classe P II .....	35
3.1.3 Resíduo de gesso.....	35
3.1.4 Resíduo de poliestireno expandido (EPS) .....	37
3.2 MÉTODOS .....	38
3.2.1 Caracterização do compósito no estado fresco.....	38
3.2.2 Otimização do compósito gesso virgem-EPS-aditivo .....	40
3.2.3 Estudo da otimização do compósito resíduo de gesso – resíduo de EPS.....	43
3.2.4 Caracterização do compósito no estado endurecido.....	45
3.2.4.1 Determinação da massa específica.....	45
3.2.4.2 Determinação das propriedades mecânicas .....	46
3.2.4.2.1 Dureza superficial.....	46
3.2.4.2.2 Resistência à compressão axial .....	48
3.2.5 Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura .....	49
3.2.6 Análise acústica.....	51
3.2.6.1 Descrição da caixa piloto utilizada para análise acústica.....	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.1 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DE GESSO VIRGEM E EPS COM ADITIVO (PVA) .....	54

4.1.1	Análise de resistência à compressão e dureza superficial .....	54
4.2	ANÁLISE FINAL DA COMPOSIÇÃO DE GESSO VIRGEM E RESÍDUO DE EPS X RESÍDUOS DE GESSO E EPS .....	56
4.2.2	Análise da caracterização do gesso no estado fresco.....	56
4.2.2.1	Consistência normal e tempo de pega .....	56
4.2.3	Análise da caracterização do gesso no estado endurecido.....	57
4.2.3.1	Massa específica.....	57
4.2.3.2	Resistência à compressão axial .....	60
4.2.3.3	Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura .....	63
4.2.4	Análise de índice de absorção acústica .....	67
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>70</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fluxograma da pesquisa experimental.....	33
<b>Figura 2.</b> EPS em formato de pérolas.....	35
<b>Figura 3.</b> Resíduo de gesso proveniente de revestimento.....	36
<b>Figura 4.</b> Moinho de bolas para beneficiamento do resíduo de gesso.	
<b>Figura 5.</b> Resíduo de EPS sendo triturado em triturador de grãos. ....	38
<b>Figura 6.</b> Aparelho de Vicat modificado para ensaio de consistência normal.....	39
<b>Figura 7.</b> Aparelho de Vicat para determinação de tempo de início e fim de pega. ...	40
<b>Figura 8.</b> Pérolas de poliestireno expandido sendo acrescentadas durante hidratação do pó de gesso. ....	41
<b>Figura 9.</b> Homogeneização da massa de gesso/poliestireno expandido por meio de agitador mecânico. ....	42
<b>Figura 10.</b> Adição de resíduo de EPS na pasta de resíduo de gesso. ....	44
<b>Figura 11.</b> Corpo de prova sendo pesado e medido suas arestas para cálculo de massa específica.....	45
<b>Figura 12.</b> Ensaio de Dureza superficial no momento de aplicação de carga. ....	47
<b>Figura 13.</b> Esquema básico do posicionamento da amostra para medida das frequências de ressonância flexional usando o método de excitação por impulso. ...	49
<b>Figura 14.</b> Passo a passo da técnica de excitação por impulso. ....	50
<b>Figura 15.</b> Barras de secção transversal. ....	50
<b>Figura 16.</b> Mufla para módulo elástico dinâmico sob variação de temperatura. ....	51
<b>Figura 17.</b> Placas para ensaio acústico de 20 e 40 mm de espessura.....	52
<b>Figura 18.</b> Parte de cima da caixa acústica com amplificador de som. ....	53
<b>Figura 19.</b> Parte de cima da caixa acústica com amplificador de som. ....	53
<b>Figura 20.</b> Comportamento da média de resistência à compressão axial dos compósitos. ....	54
<b>Figura 21.</b> Dureza superficial (N/mm <sup>2</sup> ) do compósito gesso-EPS em função do teor de adição de aditivo. ....	55
<b>Figura 22.</b> Comportamento da massa específica das pastas de gesso virgem e resíduo de gesso com adição de resíduo de EPS.....	58
<b>Figura 23.</b> Comportamento das pastas de gesso comercial e reciclado à dureza superficial, aos 7 dias de idade, em função do teor de adição de resíduo de EPS. ...	59

<b>Figura 24.</b> Evolução das pastas de gesso comercial e reciclado à compressão axial, aos 7 dias de idade, em função do teor de adição de resíduo de EPS. ....	61
<b>Figura 25.</b> Estrutura interna dos corpos de prova após ensaio de compressão axial, demonstrando textura em favo de mel e pouca interação entre as partículas. ....	62
<b>Figura 26.</b> Comportamento das pastas de gesso comercial e reciclado ao Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura, em relação ao teor de adição de resíduo de EPS. ....	64
<b>Figura 27.</b> Amostras das vigas após rompimento pelo aquecimento e derretimento do EPS. ....	66
<b>Figura 28.</b> Comportamento acústico das placas de gesso em relação à referência adotada. ....	68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados das coletas de RCD nos municípios do Brasil. ....	17
<b>Tabela 2.</b> Aplicação e características/propriedades do gesso na construção civil. ....	24
<b>Tabela 3.</b> Características exigíveis para o poliestireno expandido. ....	27
<b>Tabela 4.</b> Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso. ....	34
<b>Tabela 5.</b> Requisitos físicos do gesso de construção civil (granulometria via seca). ....	34
<b>Tabela 6.</b> Sumarização do processo de composição dos corpos de prova e número de repetições adotado. ....	42
<b>Tabela 7.</b> Tempo de início e fim de pega das pastas de gesso virgem e resíduo de gesso em comparação à literatura de Bonfim (2019), Barbosa et al. (2014) e Hicapie e Cincotto (1997). ....	56
<b>Tabela 8.</b> Resistência à compressão axial e dureza superficial, aos 7 dias de idade, para as pastas de gesso comercial e gesso reciclado ....	58
<b>Tabela 9.</b> Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura de vigas aos 7 dias de idade, para as pastas de gesso comercial e gesso reciclado. ....	63
<b>Tabela 10.</b> Índice de absorção acústica de diferentes espessuras de placas para gesso comercial e resíduo de gesso com adição de resíduo de EPS. ....	67

## RESUMO

A produção de resíduos sólidos em países como o Brasil cresce anualmente e a construção civil é responsável por grande parte do consumo de materiais para produção de bens, tendo como consequência a geração de elevados volumes de resíduos de construção e demolição (RCD). A reutilização e a reciclagem são de interesse na gestão e gerenciamento de resíduos, especialmente no contexto da economia circular, fechando o ciclo de vida. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar o efeito da incorporação gradativa de resíduo de poliestireno expandido (EPS) em matriz de resíduo de gesso oriundo da construção civil, avaliando as propriedades físicas, mecânicas e acústicas do compósito. Para tal, avaliou-se a incorporação de cinco quantidades de EPS residual (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 gramas) em matrizes de resíduo de gesso, avaliando-se as propriedades no estado fresco e endurecido dos compósitos, para uma relação água/gesso em 0,6. Foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas, como a densidade, resistência à compressão, dureza superficial e módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura. Finalmente, foram estudadas as propriedades acústicas de placas elaboradas a partir do compósito de resíduo de gesso e resíduo de poliestireno expandido, analisando seu desempenho de absorção de ruído. Os resultados indicaram que a incorporação gradativa de resíduo de poliestireno expandido aprimorou as propriedades acústicas e trouxe maior leveza ao compósito, porém, as propriedades mecânicas diminuíram conforme o aumento da adição de poliestireno expandido. O compósito desenvolvido emprega dois resíduos industriais (EPS e gesso), podendo ser de interesse em projetos sustentáveis, em aplicações onde tem-se a necessidade de emprego de materiais com baixa densidade e/ou de isolamento acústico.

**Palavras Chaves:** resíduo de gesso, resíduo de poliestireno expandido, compósito, economia circular.

## ABSTRACT

The production of solid waste in countries such as Brazil grows annually and civil construction is responsible for much of the consumption of materials for the production of goods, resulting in the generation of high volumes of construction and demolition waste (CDW). Reuse and recycling are of interest in waste management and management, especially in the context of circular economy, closing the life cycle. In this context, this work aimed to study the effect of the gradual incorporation of Styrofoam waste (EPS) in a matrix of gypsum waste from civil construction, evaluating the physical, mechanical and acoustic properties of composites. For that, the incorporation of five quantities of residual EPS (0; 0.5; 1.0; 1.5 and 2.0 grams) in gypsum residue matrixes was evaluated, evaluating the properties in the fresh and hardened state of the composites, for a water/gypsum ratio of 0.6. Physical and mechanical properties were studied, such as density, compressive strength, hardness and dynamic elastic modulus with and without temperature variation effect. Finally, the acoustic properties of boards made from gypsum and Styrofoam residue composites were studied, analyzing their noise absorption performance. The results indicated that the gradual incorporation of Styrofoam waste improved the acoustic properties and brought more lightness to the composite, however, the mechanical properties decreased as the addition of Styrofoam increased. The composite developed employs two industrial wastes (EPS and gypsum) and may be of interest in sustainable projects, in applications where there is a need to use materials with low density and/or acoustic insulation.

**Keywords:** gypsum waste, styrofoam waste, composite, circular economy.

## 1 INTRODUÇÃO

O alto consumo de material para produção de bens tem como consequência a geração de elevados volumes de resíduos. No contexto da economia circular estes resíduos, mesmo que inerentes aos processos de produção, devem ser primeiramente evitados. Caso isso não seja possível, a geração deve ser minimizada/reduzida. Depois destas alternativas, os resíduos restantes devem então ser reaproveitados, reutilizados ou reciclados.

O conceito de economia circular apareceu no final da década de 1990 como um sistema de produção e consumo (NAUSTDALSLID, 2014), um circuito fechado, eliminando toda entrada e saída de recursos do sistema, melhorando o uso do recurso, desperdício e vazamento (GEISSDOERFER et al., 2017), visando equilibrar o crescimento e desenvolvimento econômico do país com proteção ambiental, dissociando assim a estratégia de “crescimento econômico com consumo de recursos” e restaurando “continuidade de crescimento econômico sem destruir o meio ambiente” (DAJIAN, 2008).

A construção civil é responsável por uma parcela do crescimento econômico do país, geração de empregos e desenvolvimento de infraestrutura, mas, do mesmo modo, contribui para a geração de resíduos sólidos, consome recursos naturais e favorece impactos ambientais. Para Pes (2019), podem-se minimizar os desequilíbrios e a desigualdade econômica e social através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) fomentando regulamentos que facilitem a liderança empresarial para desenvolvimento da economia em benefício de todos e sustentável para o planeta, aumentando o envolvimento do cidadão, para que as políticas econômicas possam se alinhar.

Ao encontro da teoria de economia circular e dos ODS, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305 (Brasil, 2010) reúne o conjunto de ações e diretrizes para a preservação dos recursos naturais e saúde pública, temas que tendem a ser cada vez mais debatidos pela sociedade. Em seu Capítulo II, Artigo 3º, Parágrafo XIV, apresentam-se as definições de reciclagem, onde os resíduos sólidos que sofrem processos de transformações sejam elas físicas, químico-físicas e biológicas podem ter a finalidade em geração de insumos e novos produtos.

Silva et al. (2019) ressaltam que a produção de resíduos sólidos em países como o Brasil cresce anualmente, atingindo cerca de 2,2 bilhões de toneladas até 2025. No Brasil, 59,1% da população envia seus resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros regulamentados, o que é considerado pelo país como uma situação que permanece preocupante depois de nove anos desde a promulgação da Lei de Resíduos Sólidos (ABRELPE, 2019).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) evidenciou que, os países em desenvolvimento no que diz respeito à gestão de resíduos têm como principais limitantes a disponibilidade local de capital, bem como a seleção de tecnologias apropriadas e verdadeiramente sustentáveis, pois as decisões de gestão de resíduos são muitas vezes falhas, realizadas localmente sem a quantificação dos volumes gerados.

Em convergência com os objetivos para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2016), e para que se possa alcançar uma economia circular, as práticas e manuseios em minimização de resíduos provenientes de construção e demolição, assim como de outros setores, tornaram-se nos últimos anos questões importantes em países desenvolvidos e em desenvolvimento, fazendo com que em nível global, tais questões requeiram soluções sustentáveis.

A reutilização e reciclagem são importantes na gestão e gerenciamento de resíduos e otimização do ciclo de vida para a economia circular. A indústria da construção civil é vista como um dos principais contribuintes para a degradação ambiental, pois as atividades de construção consomem elevadas quantidades de recursos naturais e materiais com ineficiente eficiência energética (GAN e CHENG, 2013). Os autores salientam a importância em gerenciar, fornecer incentivo financeiro e encorajar o setor a fim de reduzir os resíduos de construção dispostos em aterros sanitários.

As diferentes formas para processar e otimizar as atividades de transporte, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos de construção e demolição (RCD), foi através da pressão ocasionada pela Sustentabilidade. Na Suécia, o estudo de Buser e Bosch-Sijtsema (2018), viu o conceito de valoração nos RCD, tradicionalmente considerados de baixo valor, sendo modificados, e, construindo um conceito de valor através da economia de projeto, reunindo diferentes profissionais da área da construção para contribuir na melhoria dos processos de RCD.

Um dos resíduos gerados na construção civil é o de gesso. De acordo com Pinheiro e Camarini (2015), o Brasil gera quantidades significativas de resíduos de gesso, cerca de 4% a 15% do seu volume. O estudo de Kochem (2016), observou-se que ainda não há um consenso do volume de resíduo de gesso que é efetivamente gerado, porém em média estimam-se perdas entre 14% a 45%, uma geração de 0,48 a 1,79 milhões de toneladas por ano, valores estes podendo ser modificados através dos processos de construção, cultura da região e falta de controle de dados.

O gesso é um material que apresenta propriedades como resistência mecânica compatível com os esforços atuantes, além de boas propriedades térmicas e acústicas. Tais propriedades têm se destacado em pesquisas relacionadas à utilização de matriz de gesso com incorporações de fibras e/ou materiais particulados (OLIVEIRA, 2019).

Outro resíduo gerado por diversas indústrias é o poliestireno expandido (EPS), conhecido como isopor, segundo a Abrapex (2019), o setor de consumo de embalagens para eletrodomésticos obteve um crescimento de 12,2% em relação ao ano de 2018 e para o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2019) o volume de resíduos sólidos cresceu 21% na última década e desde o levantamento feito pela consultora Maxiquim, de 2012 até os dados atuais, o Brasil ainda recicla 34,5% de todo o EPS produzido anualmente, aproximadamente 13.570 toneladas.

O reaproveitamento do poliestireno expandido (EPS) é um dos materiais já usados na construção civil. O produto pode ser encontrado em concretos leves ou argamassas (SANTOS et al, 2009) e não apenas por ser um material leve e de fácil manuseio, mas por proporcionar economia no corte, menor mão de obra e equipamentos (TESSARI, 2006), qualidade em isolamento térmico e acústico, fabricação de autopeças, durabilidade e força (DEMIRKIR et al., 2013).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar um compósito leve e com propriedades acústicas, à base de resíduo de gesso e poliestireno expandido para aplicação na construção civil.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito de diferentes teores de resíduo de poliestireno expandido nas propriedades do compósito;
- Avaliar o efeito do resíduo de gesso no estado fresco, através de ensaios de consistência e tempo de pega;
- Avaliar o compósito em relação as características físicas e mecânicas, através de ensaios de massa específica, resistência à compressão axial e dureza superficial, módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura e propriedades acústicas.

## 2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Em termos de volume, cerca de 65 bilhões de toneladas de matérias-primas entraram no cenário econômico global em 2010 e este número deve crescer para 82 bilhões de toneladas em 2020. Na Europa, 27 bilhões de toneladas de resíduos foram gerados em 2010, mas apenas cerca de 40% dos resíduos foram reutilizados, reciclados ou compostados e digeridos (MACARTHUR, 2013).

A construção civil contribui significativamente para o crescimento econômico do país, sendo responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e, por isso, é considerada um relevante indicativo do crescimento econômico e social do país, além de alavancar a geração de empregos e renda (MEDEIROS, 2012). Também é responsável por cerca de mais de 15 milhões de empregos diretos, proporcionando o desenvolvimento de infraestrutura dos demais segmentos (MESQUITA, 2012).

Apesar dos resultados positivos, a construção civil se destacou de forma negativa em 2018 com recuo de 2,5%, quinto ano consecutivo de queda desse setor, acumulando retração de 27,7% entre o ano de 2014 e 2018 (IBGE, 2019). Também tem se mostrado como expressiva geradora de impactos ambientais (KARPINSKI et al., 2009). Além disso, a cadeia produtiva da construção civil consome entre 20 a 50% dos recursos naturais de todo o planeta (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

Assim, nos moldes de hoje conduzidos, a construção civil se apresenta como uma grande geradora de resíduos (NAGALLI, 2016). Estimativas realizadas pela Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição - ABRECON avalia que 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil provêm da construção civil.

Segundo Wang et al. (2014), a quantidade de resíduos de construção produzidos na China equivale em torno de 5,83 Kg/dia/habitante. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE – mostraram que no ano de 2016 foram gerados 0,19 Kg/dia/habitante de RCD, sendo coletados diariamente 123.686 toneladas. Entretanto, é preciso ressaltar que a quantidade total de resíduos gerada no Brasil é ainda maior, visto que esse número é referente apenas àqueles resíduos que foram lançados ou abandonados nos logradouros públicos, e posteriormente foram coletados (ABRELPE, 2018).

Já para o ano de 2018, os serviços de limpeza coletaram nos municípios brasileiros o montante de 0,585 Kg/dia/habitante de resíduos da construção civil, conforme Tabela 1, observando-se há um pequeno recuo, em comparativo com o ano de 2016.

Deve-se enfatizar que os dados aqui apresentados foram apenas de recolha de resíduos da construção civil, onde os mesmos foram descartados em logradouros públicos ou vias (ABRELPE, 2019).

**Tabela 1.** Dados das coletas de RCD nos municípios do Brasil.

Local	2017		2018	
	Total Toneladas/ dia	Per capita Kg/habitante /dia	Total Toneladas/ dia	Per capita Kg/habitante /dia
BRASIL	123.421	0,594	122.012	0.585
Região Sul	16.472	0,556	16.246	0.546

Fonte: ABRELPE, 2019

Segundo Oliveira (2007), os resíduos sólidos surgem não só da substituição de componentes pela reforma ou construção. Muitas vezes, são gerados a partir de deficiência durante os processos construtivos como erros ou indefinições nas elaborações dos projetos, má qualidade dos materiais empregados, perda na estocagem e no transporte.

Vale ressaltar que, mesmo considerando a construção civil uma das grandes geradoras dos resíduos sólidos no meio urbano, no Brasil, 90% desses resíduos gerados a partir dos canteiros de obras são passíveis de reciclagem. A reciclagem e reutilização se tornam fundamentais em questões ambientais e financeiras, se tornando adequado em muitas vezes esses resíduos gerados retornarem para a obra em substituição das matérias-primas que são extraídas do meio ambiente (LIMA e LIMA, 2009).

Nos países desenvolvidos da Europa, os resíduos da indústria da construção apresentam altas taxas de reutilização e reciclagem, como no caso dos países da Holanda, Bélgica e Dinamarca, que atingem valores na ordem de 80% a 90% na reciclagem de RCD. Porém, nos países como Finlândia, Reino Unido e Áustria possuem uma taxa de reciclagem mediana, ficando entre 40% a 45%. Na Suécia, Alemanha, França e Itália, a taxa de reciclagem chega a ser de 10% a 20% e para os

países de Portugal, Espanha, Irlanda e Grécia constata-se que as taxas de reciclagem são não possuem estimativas, pois são muito baixas (MIRANDA, 2009).

Impactos da não reciclagem destes RCD sobre o meio ambiente relatados por Karpinski et al. (2009), são decorrentes em consequência do consumo de recursos naturais ou extração de jazidas; consumo de energia elétrica nas fases de extração, transformação, fabricação, transporte e aplicação; de perdas, desperdício e demolições, bem como do desmatamento e de alterações no relevo.

De forma geral, os RCD são vistos como resíduos de baixa periculosidade, o impacto causado vem principalmente pelo grande volume gerado, porém, do ponto de vista ambiental, é configurado como causa de problema a relação na disposição irregular e os tipos de resíduos detectados, onde muitas vezes se encontram juntos com materiais orgânicos, produtos perigosos e embalagens diversas, que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças (KARPINSK et al., 2009).

Assim, no final da década de 1980, alguns países da Europa, fizeram ações no sentido de enfrentar este problema da falta de gerenciamento dos resíduos gerados nas construções, enquanto, no Brasil, até 2002 não havia políticas públicas para os resíduos gerados pela construção civil. Diante da necessidade de ações para tais problemas dos resíduos da construção civil, após uma tramitação de duas décadas, foram adotadas e entrou-se em vigor a Resolução Nº 307, de 05 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para um correto gerenciamento dos resíduos da construção civil, visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental. Assim, em 16 de agosto de 2004, entrou em vigor a resolução nº 348, alterando e substituindo o art. 3º, item IV, da Resolução nº 307 (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

O tratamento dado aos RCD é referido pelo artigo 2º dessa Resolução nº 307/2002:

“São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações,

fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”. (BRASIL, 2002).

Na Resolução referenciada acima, os RCD em quatro classes tipológicas:

Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Pela Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002), os resíduos de gesso foram classificados inicialmente como “Classe C”, ou seja, aqueles para os quais ainda não teriam sido desenvolvidas tecnologias para torná-los passíveis de reciclagem, porém em 2011 a Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002) foi alterada, por meio da Resolução CONAMA nº 431/2011 (BRASIL, 2011), classificando os resíduos de gesso como “Classe B”, considerando-o como material reciclável (Kochem, 2016).

Nesse sentido, no Brasil, unindo força à Resolução 307 do CONAMA, a correta destinação final dos resíduos da construção civil veio pela aprovação da Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, sendo um significativo avanço legal para o país que implementou a Política

Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na qual estabelece a forma que o país deve dispor as diretrizes relacionadas ao gerenciamento integrado dos seus resíduos sólidos (englobados os resíduos da construção civil) com responsabilidade a sociedade e ao meio ambiente, incorporando conceitos modernos de gestão de resíduos e trazendo novas ferramentas à legislação ambiental brasileira (RIBEIRO e MENDES, 2016), sendo importante ferramenta que tem levado a consolidação de técnicas de reciclagem (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

De acordo com a Lei Federal nº 12.305 resíduos sólidos são:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (PNRS, 2010, p.1).”

Assim, a PNRS deu ênfase à necessidade de um planejamento sustentável do ambiente urbano, fortalecendo os princípios de gestão integrada e sustentável no contexto dos resíduos de construção civil, necessitando ser tratada de forma diferenciada (JACOBI E BESEN, 2011).

Deus et al. (2015), destacam uma importante observação a respeito da implantação da Diretiva Europeia na Europa, e da Política Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil, ambos tiveram que considerar a importância que a discussão em torno dos resíduos sólidos proporciona, mantendo-se atualmente em evidência na sociedade moderna, como fator relevante para uma gama de oportunidades e benefícios em relação a esses resíduos, e principalmente como destaque às inúmeras possibilidades do reaproveitamento dos mesmos.

Desse modo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil constituem-se como instrumentos para a minimização dos danos ambientais advindos do setor da construção civil. A gestão destes passou a demandar cada vez mais atenção por parte dos engenheiros, arquitetos, construtores e projetistas (SILVA et al., 2019)

## 2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Santos (2009) os ditos resíduos de RCD, ou, normalmente conhecidos como “entulho”, em termos técnicos caracterizam-se todos aqueles resíduos de obras em atividades de construção civil, e quando não recebem o tratamento adequado, são depositados de forma irregular, trazendo consequências ao meio ambiente.

De acordo com suas fases de geração, os RCD podem ser divididos em três categorias: resíduos de construção (RC), resíduos de renovação (RR) e resíduos de demolição (RD) (EPD, 2012), podem ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos, oriundos principalmente, nas etapas de infraestrutura, demolições, reformas, restaurações, reparos e construções novas. Sendo compostos geralmente de tijolos, areias e argamassas, restos de concreto, pedras, cerâmica, gesso, madeira, entre outros (MENESES et al.,2006).

Segundo Silva et al. (2019) o crescimento nos últimos anos da construção civil teve como consequência grande produção de resíduos sólidos, principalmente, devido a maior parte dos processos construtivos nacionais serem realizados de maneira manual nos canteiros. Maia (2019) faz uma observação quanto à geração destes resíduos de construção e remete diretamente da quantidade de produtos utilizados nas obras, das diversas tecnologias construtivas empregadas e as precariedades de cada região em relação à cultura de materiais e os métodos utilizados.

Segundo Marchi (2011) os resíduos da construção representam aproximadamente 20 a 30% do fluxo dos resíduos sólidos gerados pelas cidades dos países desenvolvidos, porém nos países subdesenvolvidos esse fluxo pode alcançar índices bem maiores.

Para Pinto (1999), os RCD representam de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU) das cidades brasileiras. Para Lima e Cabral (2013), fica em torno de 50%, porém para Fernandes et al (2014) alguns municípios, representam 60% do montante de RSU.

Após a publicação da Lei 12.305 (PNRS, 2010), não houve avanços esperados, segundo dados da Abrecon (2019), os municípios ainda não dispõem de infraestrutura de aterro sanitário, ou seja, não eliminação dos lixões e aterros controlados em 60% dos municípios, despejando seus resíduos urbanos (RDU) em locais inadequados,

verifica-se que a situação identificada atualmente é praticamente a mesma da relatada em 2016 pelos órgãos de controle.

As formas, as etapas e o desperdício gerados são citados por Calderoni (2009) Farias (2010) e Lapa (2011), ressaltando que 60% do total gerado de RCD são dispostos ilegalmente em terrenos baldios.

Fernandez (2018) preconiza que o volume gerado, associado ao descarte inapropriado, tende a provocar impactos significativos ao meio ambiente, comprometendo a qualidade ambiental nos locais de disposição final. Além de fatores perigosos como seus componentes (amianto, sulfatos, etc.) que se não descartados corretamente, tem impacto negativo no meio ambiente (WU, 2014).

Mesquita & Póvoas, 2014 enfatizam que para atender as necessidades do ser humano, vários produtos são criados, onde muitos deles além de utilizar recursos naturais, geram outros tipos de resíduos, como no caso do gesso e do poliestireno expandido “EPS”.

### 2.1.1 Resíduo de gesso

Satisfazendo as necessidades humanas e da construção civil em busca de materiais que empregam menor quantidade de combustível em seu processo de produção, o gesso tem despontado como um material de grande potencial a ser utilizado na construção e em outros setores, por possuir baixo consumo energético e grandes possibilidades de reciclagem, tornando viável sua utilização como material construtivo por muito tempo, tendo em vista a quantidade de matéria-prima disponível (JOHN e CINCOTTO, 2007), sabendo-se que a construção civil absorve ente 85 a 90% da produção de gesso e o restante é utilizado para outras áreas (TROVÃO, 2012).

Tavares et al. (2010) observaram que o uso do gesso na construção civil tem crescido exponencialmente, pois é visto pelas construtoras como um material alternativo de qualidade e de baixo custo, principalmente, quando aplicados em revestimentos internos de paredes. Além de ter custo baixo, há um rendimento maior na aplicação, rapidez na execução e bom acabamento final, substituindo muitas vezes outros materiais, como por exemplo a massa corrida.

No Brasil, as perspectivas de utilização e consumo do gesso vêm crescendo de forma relevante, dado ao aumento de novas tecnologias de construção civil, aliado a necessidade de entrega rápida dos empreendimentos (GERALDO et al., 2017).

O gesso tem sido utilizado nas mais diversas formas na construção civil, devido a sua ampla variabilidade de uso, (fabricação de blocos e placas, revestimentos, moldes cerâmicos, forros, acabamentos). Contudo, com o passar dos anos tornou-se cada vez mais e em ritmo acelerado, seu uso e seu desenvolvimento em técnicas de aplicação, e simultaneamente, ao seu descarte impróprio nos aterros de construção civil (PEREIRA, 2017).

Seu emprego na construção civil tem relevância graças ao seu potencial em resistência, isolamento térmico e acústico, durabilidade, facilidade na montagem e baixo custo. Porém, fica evidente a preocupação que é dada aos resíduos gerados, no qual, muitas vezes não há atenção especial aos resíduos de gesso, principalmente, em relação ao descarte ao meio ambiente (CAVALCANTE e MIRANDA, 2013; TENÓRIO et al., 2017).

Opções de reciclagem do resíduo de gesso são aplicações em solos agrícolas ou leiteo animal (KORCAK et al., 2000) e aplicação de resíduo de gesso com cimento e cinzas volantes como ligante cimentício (DIGIRMENCI et al., 2007).

O gesso utilizado na construção é um mineral que vem da calcinação da matéria-prima gipsita, de sulfatos de cálcio hidratados, constituído essencialmente de sulfatos de cálcio – hemi-hidratado, anidritas, solúvel e insolúvel. As principais fontes de resíduos de gesso na construção são atividades de revestimento (88%), chapas de gesso acartonado (8%) e os componentes pré-moldados (4%) (PINHEIRO, 2011). Assim, o gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos (JOHN, 2000).

A Tabela 2 agrupa as aplicações do gesso conforme suas características e propriedades em que são requeridas na construção civil e em outros setores.

**Tabela 2.** Aplicação e características/propriedades do gesso na construção civil.

Aplicação	Características - propriedades requeridas	Referência
Revestimento	Apresenta excelente capacidade de aderência em vários tipos de substrato; tempo de pega; resistência mecânica; Rapidez no endurecimento; excelente acabamento final; agilidade na execução do serviço; elimina imperfeições; apresentar boa trabalhabilidade; fácil aplicação; facilidades no corte; diminuição do revestimento de argamassa.	SATO et al., (2001); BAUER, (2005); TAVARES et al., (2010); BERNHOEFT et al., (2011); RIBEIRO, (2011); PEREIRA et al., (2014); BARDELLA, (2011); SILVA et al.,(2019)
Placa 3 d decorativa	Arquiteturas de interiores; rebaixamentos de teto; boa aparência estética; boa resistência ao fogo; facilidade de inovar e de realizar manutenção, baixo custo de produção;	TENÓRIO et al., (2017); SPEK, (2014); DUTRA (2017). BAUER (2000);
Forro e molduras de gesso	Proporcionam fechamento rápido e acabamento fino e liso; facilita a pintura; servem como passagem para fiação, tanto elétrica como hidráulica.	TENÓRIO et al., (2017); FRANCO (2008). OLIVEIRA, (2009)
Divisórias Acartonadas	Alta resistência mecânica; rapidez na aplicação; flexíveis; Bom acabamento final; aceitam qualquer tipo de pintura; material alternativo de baixo custo; auxilia um melhor isolamento térmico e acústico do ambiente; maior resistência ao fogo; facilidade de execução de eventuais manutenções nas instalações e/ou reformas.	ROHDEM E MECABÔ (2015); SINAT (2020); TAVARES et al (2010); SAVI, (2012); NBR 15758-1(2009); LOSSO e VIVEIROS (2004).
Barreiras acústicas	Excelente isolamento acústico; Alta porosidade do revestimento e promove isolamento; capacidade do material de impedir a transmissão sonora de um ambiente ao outro, eliminando ruídos que possam ser prejudiciais à saúde.	RIBEIRO, (2011); TROVÃO (2012); BAUER, (2005); PINHEIRO, (2011); BISPO e FRÓIS, (2017).
Barreiras térmicas	Devido ter baixa condutividade térmica, dificulta a passagem de calor formando barreiras entre os dois meios.	FERREIRA E CRUVINEL (2014); PINHEIRO (2011); SILVA et al.,(2017)
Barreiras contra fogo	Contém elevado coeficiente a acústica; Produto não inflamável.	FERREIRA E CRUVINEL (2014)
Agricultura	Atua como fertilizante corretivo de solo, condicionador de superfície; Ajuda a reduzir a acidez do solo.	(CAVALCANTE e MIRANDA (2012); EMBRAPA (2015); SANTOS et al., (2014)

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Depois da argila, o gesso é o resíduo sólido mais abundante do setor da construção civil, sendo a sua geração mundial estimada em na ordem de 100-280 t/ano, porém um terço desse valor é desperdiçado (JOHN, 2000).

Segundo Rohden e Mecabô (2016) no ano de 2013, no Brasil a extração do minério de gipsita foi em torno de 3,3 milhões de toneladas por ano. Sendo deste total 57% destinados ao consumo direto do gesso na construção, 30% remetidos ao setor cimenteiro e 11% ao setor agrícola.

De acordo com Pinheiro (2011) o resíduo de gesso geralmente é gerado em quatro situações: pela extração e preparação da matéria-prima; o processo de produzir o gesso; processamento dos componentes e a aplicação do material e componente durante o processo de construção.

É conhecido que o gesso de construção é aplicado como revestimento diretamente sobre a alvenaria, devido a esse processo gera-se grandes quantidades de resíduos, especialmente pela rapidez de endurecimento da pasta. Atualmente, a questão das perdas em processos construtivos vem sendo tratadas de uma forma mais abrangente, para ter o máximo de aproveitamento de materiais oriundos da construção civil e reutilização, é necessário que a concepção vá do projeto à execução e de fornecedores a serviços terceirizados, contratados durante todo o desenvolvimento da obra (PUCCI, 2006).

Estima-se que 46% dos RCD produzidos na União Europeia são reutilizados ou reciclados e em particular, o resíduo de gesso representa entre 0,2% e 0,4% em peso da composição total dos RCD (COMISSÃO EUROPEIA, 2011).

Nascimento e Pimentel (2010); Pinheiro e Camarini (2015) estimam que no Brasil, somente na construção civil 4% a 15% dos resíduos gerados pela construção e demolição são produtos oriundos de gesso.

Deste modo, a forma de gerar o desperdício depende do processo construtivo utilizado, bem como da cultura da região, exemplo disso é na questão dos revestimentos internos à base de gesso, podendo chegar com perdas de até 120%. Porém, devido à falta de controle dos dados relacionados aos resíduos do gesso, pode ser ainda maior a quantidade gerada (JOHN, 2000).

BERNHOEFT et al. (2011) relaciona a forma de preparo do gesso com seu tempo de pega “endurecimento” rápido, onde o gesso possui um tempo de pega e aplicação muito menores quando comparado a argamassa produzida à base cimentícia.

Para De Oliveira e Polisseni (2013) o principal fator que faz com que gere resíduo de gesso em demasia, está ligado à fase de aplicação, devido ao baixo tempo

de início e fim de pega, porém, esse fator não é maior que a geração de resíduos através da baixa qualificação da mão-de obra, sendo a precursora desses problemas.

Silva et al. (2019) ressaltam que apesar do setor gesseiro mostrar-se promissor do ponto de vista mercadológico, alguns autores indicam a existência de impasses que impedem que o gesso seja inserido como seguimento sustentável, sendo um dos fatores preponderante, o grande volume gerado na cadeia produtiva e o custo elevado de calcinação.

Os resíduos constituem um desafio ambiental, social e econômico ao longo dos anos, progressivamente considerados como um recurso valioso. Por consequência, Bidone (2001) resalta a importância de reciclar o gesso, pois é um material extremamente deletério e sua presença não deve ser desprezada na produção de agregados reciclados.

Embora o gesso possa ser efetivamente reciclado, a maioria do resíduo de gesso é atualmente disposta em aterros e para alcançar as altas taxas de recuperação e promover uma cadeia de suprimentos de forma circular, é necessária uma gestão que envolva três práticas fundamentais: segregação local do resíduo de gesso, critérios claros de aceitação do resíduo e critérios claros de qualidade do resíduo de gesso reciclado (JIMÉNEZ e NAVARRO, 2017).

## 2.2 RESÍDUOS DE OUTRAS INDÚSTRIAS

### 2.2.1 Resíduo de Poliestireno Expandido (EPS)

EPS é a sigla internacional que indica poliestireno expandido de acordo com a Norma DIN ISO-1043/78. O EPS foi desenvolvido na Alemanha em 1949 através de experiências laboratoriais. No Brasil, é mais conhecido como "Isopor®", marca registrada da Knauf Isopor Ltda. É considerado um material celular rígido, apresenta-se como uma espuma moldada constituída por aglomerados de grânulos, sendo uma combinação única de características, como leveza, propriedades de isolamento, durabilidade e excelente processabilidade (OLIVEIRA, 2013; TESSARI, 2006).

O poliestireno expandido é classificado pela Norma 10.004 (ABNT, 2004) como resíduo pertencente à classe II B. O poliestireno é um material sólido transparente, formado pela polimerização de muitas moléculas de estireno, que se formam a partir do benzeno e do etileno derivados do petróleo, mais conhecido na sua forma expandida (SCHMIDT, 2012).

O poliestireno expandido (EPS) é composto por cerca de 5% de poliestireno (PS) e 95% ar e amplamente utilizado em todo o mundo para diversos fins, como embalagens de eletrodomésticos (MEMON, 2006), pratos, bandejas de alimentos e muitos benefícios, como isolante térmico e acústico, preenchimento de lajes na construção civil e alta durabilidade (DEMIRKIR et al., 2013).

Possui baixo peso específico, com densidade variando de 9 kg/m<sup>3</sup> e podendo chegar até mais de 40 kg/m<sup>3</sup>, quando densificado. É ainda resistente, fácil de cortar, leve e durável, considerado como melhor material para preenchimento de rebaixos ou vazios necessários a vários processos construtivos, principalmente lajes e painéis pré-fabricados ou semi-industrializados (SANTOS, 2008).

Segundo, Mazoni (2019) a NBR 11752 (ABNT, 2016), que discorre a respeito das especificações mínimas de utilização do poliestireno expandido (EPS), classificando em duas classes: A primeira classifica o EPS tipo P, que não é retardante à chama, a segunda por sua vez, classifica o EPS tipo F, retardante à chama (quando a fonte de calor é retirada o fogo se apaga), conforme Tabela 3:

**Tabela 3.** Características exigíveis para o poliestireno expandido.

Propriedades	Método de ensaio	Unidade	Classe P			Classe F		
			I	II	III	I	II	III
Tipo de material		-	I	II	III	I	II	III
Massa específica aparente	NBR 11949 (ABNT, 2007)	Kg/m <sup>3</sup>	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25
Resistência à compressão com 10% de deformação	NBR 8082 (ABNT, 2016)	KPa	- 60	-70	-100	- 60	-70	-100
Resistência à flexão	ASTM C-203 (ABNT, 2017)	KPa	- 150	-190	-240	- 150	-190	-240
Absorção de água	NBR 7973 (ABNT, 2007)	g/cm <sup>2</sup> x 100	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081 (ABNT, 2015)	ng/Pa.s.m	-7	-5	-5	-7	-5	-5

Coeficiente de condutividade térmica a 23°C	NBR 12094 (ABNT, 1991)	W/(m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR 11948 (ABNT, 2007)		Material não-retardante à chama			Material retardante à chama		

Fonte: NBR 11752 (ABNT, 2016)

Para Oliveira (2013), nos últimos 35 anos este material obteve uma posição estável, principalmente na construção de edifícios, não apenas por suas características isolantes, mas, por sua leveza, resistência, facilidade de trabalhar e especialmente como material de baixo custo.

### 2.2.2 Geração de resíduo de poliestireno expandido (EPS)

O volume de resíduos de poliestireno expandido gerado vem possuindo grande preocupação devido sua composição físico-química e volume ocupado. O poliestireno expandido (EPS) pode ser encontrado em diversos lugares, nas embalagens de eletrodomésticos, bonecos de pelúcia, em câmaras frigoríficas, enchimento de móveis, na construção civil e em uma série de outros produtos (LIMA et al., 2013).

Pela sua composição química e associado principalmente à sua baixa densidade, facilita sua dispersão por ação eólica, gerando grande impacto ambiental. Em razão do seu pequeno valor comercial os catadores de recicláveis o desprezam, sendo destinados em locais impróprios e ocasionando sérios danos ao meio ambiente (SCHMIDT, 2012; LIMA et al. 2013).

Mesmo a matéria-prima sendo mínima para sua produção, o resíduo de EPS vem causando problemas ambientais e preocupações do poder público e da sociedade. Quando não reciclado, o EPS além de ser considerado imperecível (material inerte quimicamente, que não se decompõe, não se desintegra e não desaparece no ambiente), também ocupam grandes espaços, ocasionando problemas nos lixões e aterros sanitários (GROTE e SILVEIRA, 2010), podendo causar facilmente poluição secundária (CRUZ, 2015).

### 2.2.3 Aproveitamento poliestireno expandido (EPS)

O resíduo de poliestireno expandido ou poluente branco possui propriedades químicas estáveis, grande volume, não degradável (SUN et al., 2010), reconhecido como uma ameaça mundial ambiental e com problemas de gestão de resíduos (RAMLI et al., 2011), geralmente descartado em aterros sanitários se tornando risco ambiental (INAGAKI e KIUCHI, 2001).

Por ser um polímero sintético (WYPYCH, 2016) e devido à presença de benzeno, o resíduo de poliestireno expandido contém toxinas altamente poluentes podendo durar por milhares de anos se degradação (GAWANDE, 2012), se tornando um grande problema ambiental, a menos que seja reciclado (DEMIRKIR et al., 2013).

Há várias tentativas de se reciclar os resíduos de poliestireno expandido por diferentes métodos de reciclagem, porém esses métodos possuem desvantagens de custo e qualidade (KAMEL, 2009), um método de reciclagem ou o reaproveitamento do mesmo, é iniciando pela transformação do EPS, mantendo suas características iniciais do poliestireno, podendo reaproveitar utilizando três tipos de processos: reciclagem mecânica, química e energética (OLIVEIRA, 2013).

Como forma mecânica de reaproveitamento e reciclagem, pesquisas como de Schmidt (2012), mostrando a qualidade de placas de circuito impresso confeccionadas a partir de poliestireno reciclado, utilizou um triturador convencional para obter grãos de resíduos de poliestireno expandido mais uniformes.

Já, o estudo térmico e de materiais de um composto a base de gesso e EPS para a construção de casas populares, realizado por Santos (2008), admitiu grande importância na trituração, pois a granulometria na faixa de 8,0 a 12,0 mesh (1,68mm a 2,38mm) permite uma melhor homogeneização da pasta de gesso com o material reciclado.

Dados relatados em pesquisa pela empresa Plastivida (2013), mostrou que o Brasil reciclou no ano de 2012, 34,5% do EPS pós-consumo, ou seja, reciclou mecanicamente 13.570 toneladas das 39.340 toneladas de EPS geradas. A pesquisa mostrou que a reciclagem de produtos provenientes de embalagens diversas de poliestireno expandido tem crescido 25,3% ao ano no Brasil, sendo um resultado positivo quando comparados a outros países mais desenvolvidos, e isso se deve a construção civil sendo o maior mercado que absorve EPS reciclado, com cerca de

80% aplicado em argamassas, concreto leve, lajotas, telhas termo acústicas, rodapés e “decks” de piscina, além de outros fins como nas indústrias de calçados, móveis e utilidades domésticas (PLASTIVIDA, 2013).

Entretanto, no Brasil em relação à reciclagem do poliestireno expandido ainda é bastante incipiente, uma vez que a fração do material poliestireno é muito pequena (2%) em relação ao volume total de resíduo gerado (MAZONI, 2019), sendo crucial gerenciar, descartar, utilizar e reciclar com segurança esse tipo de resíduo (RAMADAN et al., 2020).

E a indústria da construção civil, de uma forma tem contribuído para a causa desses danos ambientais. Desta forma, a reciclagem, o reaproveitamento e o descarte desses materiais de forma racional, podem reduzir as agressões à saúde humana e ao meio ambiente (ERBS, 2018) além de ser uma opção de destinação adequada para os RCC, inserida nos princípios de sustentabilidade construção civil.

## 2.3 RECICLAGEM E SUSTENTABILIDADE

No desenvolvimento sustentável, a economia circular surgiu como uma estratégia para redirecionar a produção e os processos seguindo um padrão de sustentabilidade aprimorada (MACARTHUR, 2013). Em um sistema de economia circular a produção não é mais um processo linear, isto é, produzir, consumir e descartar. A produção é pelo contrário, “circular” porque nelas as matérias primas e os produtos voltam a entrar no meio ambiente natural, ou sendo reutilizados em ciclos de produção subsequentes, reduzindo o impacto ambiental e aumentando a resiliência dos ecossistemas econômicos (KOPNINA, 2014).

No atual cenário mundial há uma preocupação crescente com a economia circular e a sua importância em diversos aspectos de nossas vidas. Muitos resíduos não possuem caminhos de reutilização, reciclagem ou compostagem (industrial), sendo incoerentes com a economia circular, além disso, muitos produtos contêm aditivos químicos tóxicos ou materiais compósitos, tornando-os difícil ou impossíveis de reciclar (TEN BRINK et al., 2018).

Notadamente, vislumbra-se a necessidade de adequação técnica e de transformação consciente das relações socioambientais para a prevenção de

problemas futuros. Iniciativas de reciclagem dos RCD surgem como alternativas para a gestão adequada desses resíduos, os quais possuem um potencial rentável para que possam ser reintroduzidos na cadeia de produção (ROHDEN e MECABÔ, 2016).

Bezerra (2019), afirma que a reciclagem dos resíduos gerados pela construção civil pode trazer benefícios de viabilidade econômica e social significativos, não só atendendo às necessidades sociais ambientais, mas promovendo um crescimento na cadeia produtiva do setor da construção.

A cadeia produtiva da construção civil apresenta muitas vantagens que a credenciam para ser uma grande recicladora de resíduos, tendo a oportunidade de reduzir consideravelmente os impactos ambientais que os resíduos de construção geram (JOHN, 2000; JOHN 2001). Evangelista et al. (2010) John (2010), ressaltam que métodos de juntar resíduo com outros materiais promove uma construção sustentável, além de contribuir na redução da contaminação ambiental.

Deste modo Tachizawa et al. (2016) salientam o quanto é importante o processo de reciclagem, sendo este, uma forma de minimizar o desperdício da matéria-prima, que além de impactar na redução do desperdício, também, menor será o uso dos recursos naturais para fabricar os materiais.

A sustentabilidade remete a um ideal que se caracteriza principalmente em alinhar ganhos ambientais, econômicos e possíveis impactos nos mais variados setores de atividades humanas. Entretanto, o setor tem um desafio enorme de conciliar uma atividade dessa magnitude com condições que conduzam a um desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente (PINTO, 2005).

A incorporação de resíduos de gesso na fabricação de novos produtos comerciais é ambientalmente benéfica, gerando produção limpa. Ortiz et al. (2010) afirmam que é essencial avaliar e também contribuir com iniciativas que visam reduzir o impacto ambiental de todo processo realizado na fase de construção, diminuindo a quantidade de resíduos gerados, mas principalmente, diminuindo a porcentagem desse lixo que é passível de reciclagem. Já Blengini et al. (2009) demonstraram que embora a reciclagem de resíduos de construção seja economicamente viável e rentável, ela também é sustentável do ponto de vista energético e ambiental.

Quanto ao aproveitamento de resíduos, uma das ações que deve ser incluída nas práticas comuns das construções de edificações, visando maior sustentabilidade é proporcionar economia de recursos naturais minimizando assim, impacto no meio

ambiente. John (2010) cita em seu estudo que agregar valor ao resíduo produzido é uma prática de reciclagem, na qual, tem a oportunidade de transformação de uma fonte de despesa em fonte de faturamento, além da preservação dos recursos naturais por meio da substituição parcial de matéria-prima pelo resíduo reciclado.

Safiuddin et al. (2010) enfatizam que o enfoque atual pela conservação dos recursos naturais tem despertado uma preocupação global, quanto ao uso de materiais alternativos de construção. Desta forma, novas pesquisas trabalham para explorar novos elementos que possam produzir materiais mais sustentáveis.

O volume de EPS descartado constitui uma grande preocupação para a sociedade, existindo a necessidade da busca de novas formas de minimizar os problemas causados pela destinação inadequada desses resíduos. Desta forma, a reciclagem tem sido fonte de pesquisas que resultam em produtos com bom desempenho técnico e que sejam economicamente competitivos (RODRIGUES, 2013).

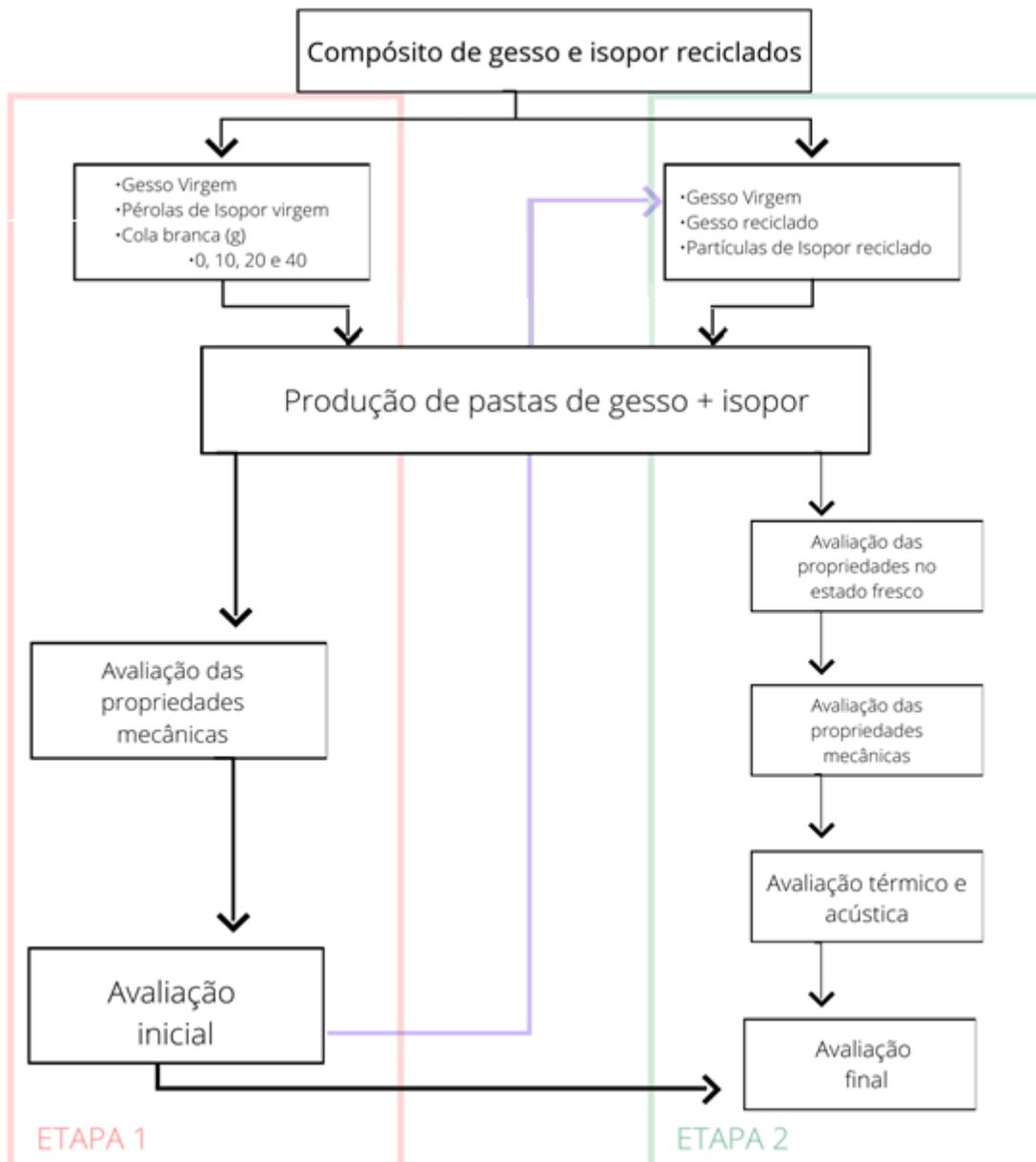
Desta forma, a reciclagem de resíduos de EPS apresenta boa aplicação como material reciclado e estratégias de gestão desses resíduos são imprescindíveis para a redução do montante gerado de resíduos ou a reincorporação na cadeia produtiva mediante o reaproveitamento e reciclagem (MEDEIROS, 2012). Porém, quando o material permite ser reaproveitado, ou seja, tornar-se matéria-prima após sua utilização esse feito é de grande relevância nos aspectos de preservação do meio ambiente e no caráter econômico (TESSARI, 2006).

Conforme observado durante esta pesquisa através da revisão bibliográfica, constatou-se que a maioria dos estudos utilizaram a matriz de gesso como base para a fabricação de compósitos, sendo neles incorporados outros tipos de materiais de reforço, como fibras de vidro e sisal ou materiais particulados como vermiculita, cortiça, serragem de madeira e poliestireno expandido. Oliveira (2009) constatou que estas pesquisas têm como objetivo concentrar-se no desempenho mecânico, na durabilidade e fomentar a ausência de pesquisas dos comportamentos térmicos/acústicos dos compósitos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta dissertação traz a abordagem de um compósito de matriz de resíduo de gesso com incorporação de resíduo de poliestireno expandido (EPS), como forma de fomentar e contribuir as deficiências e escassez supracitadas. Conforme a Figura 1, encontra-se o fluxograma da pesquisa.

**Figura 1.** Fluxograma da pesquisa experimental



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Gesso virgem ou de estuque

Para a confecção dos compósitos foi utilizado gesso fino em forma de pó, disponível no comércio local de materiais de construção, na cidade de Medianeira, para emprego na fabricação de elementos ou componentes da construção civil.

A NBR 13207 (ABNT, 2017) fixa os requisitos das propriedades físicas e mecânicas do gesso da construção civil, conforme indicado nas tabelas 4 e 5.

**Tabela 4.** Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso.

Determinações físicas e mecânicas	Método	Limites (NBR 13207:2017)
<b>Pó de gesso</b>		
Módulo de finura	NBR 12127:2017	< 1,10
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )		≥ 600,0
<b>Pasta de gesso</b>		
Consistência normal (água/gesso)		--
Tempo de início de pega (min) – Gesso para revestimento (com aditivo)	NBR 12128:2017	≥ 10
Tempo de fim de pega (min) – Gesso para revestimento (com aditivo)		≥ 50
Dureza superficial (N/mm <sup>2</sup> )	NBR 12129:2017	≥ 20,00
Resistência à compressão (MPa)		-- (*)

(\*) Na atualização da Norma, a resistência à compressão axial no valor de 8,4MPa exigida anteriormente (1994) como requisito de desempenho, foi cancelada. A partir do ano de 2017 esta propriedade não possui limite.

Fonte: NBR 13207 (ABNT, 2017)

**Tabela 5.** Requisitos físicos do gesso de construção civil (granulometria via seca).

Classificação do gesso	Granulometria mínima (NBR 12127:2017)
Gesso para fundição	(Peneira abertura 0,29 mm) ≥ 90% passante
Gesso para revestimento	(Peneira abertura 0,21 mm) ≥ 90% passante

Fonte: NBR 13207 (ABNT, 2017)

### 3.1.2 Poliestireno expandido de classe P II

Foi utilizado EPS de classe P II, sendo um material com características de massa específica de 16 à 20 Kg/m<sup>3</sup>, resistência à compressão de -70KPa, possuindo flamabilidade: não retardante à chama e em formato de pérolas, conforme apresentado na Figura 2, proveniente de indústria de comércio e distribuição de EPS para construção civil, localizada na cidade de Santa Tereza do Oeste – PR.

**Figura 2.** EPS em formato de pérolas



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

### 3.1.3 Resíduo de gesso

Foi utilizado resíduo de gesso proveniente de obra de construção civil, localizada na cidade de Medianeira-PR, oriundo da produção de emboço de paredes de casas, conforme apresentado na Figura 3.

**Figura 3.** Resíduo de gesso proveniente de revestimento.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para a utilização como material de matriz, o resíduo separado foi levado para as dependências do laboratório LADEMA (laboratório de Desempenho Estruturas e Materiais) da Unila (Foz do Iguaçu) passando por processo de beneficiamento no qual o material primeiramente foi moído pelo período de 24 horas, em moinho de bolas Weg Cestari, modelo RBN2 (Figura 4), com o intuito de desfazer os grumos originados pela hidratação.

Em seguida, o resíduo de gesso foi calcinado em estufa de secagem em temperatura de 200 °C com duração de 4 horas, com a finalidade de passar o resíduo de gesso de di-hidratado para hemi-hidratado. A temperatura fixada para este estudo foi obtida através da avaliação de ciclos de calcinação para o resíduo de gesso, estudada por Bonfim (2019) e a influência da temperatura e do tempo de calcinação estudada por Camarini (2016). Analisou-se que o processo de calcinação do gesso é o que apresenta maior custo em sua reciclagem e o consumo de energia para diversas temperaturas e tempos, e, conclui-se que os mais econômicos foram com temperaturas de 200 °C e tempo de permanência na estufa de 4 horas.

**Figura 4.** Moinho de bolas para beneficiamento do resíduo de gesso.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

#### 3.1.4 Resíduo de poliestireno expandido (EPS)

O resíduo de EPS utilizado foi proveniente do descarte de embalagens de eletrônicos e eletrodomésticos que seriam lançados em aterros. O material armazenado passou por processo de moagem a fim de ganhar propriedades físicas proporcionais às pérolas de EPS.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, partindo dos estudos de Santos (2008) e Schmidt (2012), o resíduo de EPS foi triturado em um triturador de grãos elétrico, conforme Figura 5.

**Figura 5.** Resíduo de EPS sendo triturado em triturador de grãos.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização do compósito no estado fresco

Para a determinação de consistência normal do compósito, foi utilizado o aparelho de Vicat modificado conforme Figura 6, recomendado pela norma NBR 12128/1991, no qual consiste em um suporte acoplado a uma haste móvel, cujo peso haste e sonda, devem pesar no total 35 g. A sonda cônica de alumínio penetra em um molde de formato de tronco cônico com diâmetro interno de base de 70 mm, 60 mm de diâmetro de topo e altura de 40 mm.

O ensaio de consistência normal determina a relação água/gesso para obtenção de uma fluidez da pasta que seja adequada à manipulação. Neste ensaio são dissolvidos 20 g de Citrato de Sódio P.A. em 1000 mL de água destilada, e desta solução, é transferido 10 mL para um recipiente e adicionado água destilada até completar 150 g. Posterior, é polvilhado uma quantidade de amostra de gesso sobre a água com retardador, deixado em repouso e transferida a pasta para o molde. A leitura da consistência normal é considerada quando for obtida uma penetração da sonda cônica de  $30 \pm 2$  mm.

**Figura 6.** Aparelho de Vicat modificado para ensaio de consistência normal.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Já para o ensaio de determinação do tempo de início e fim de pega foi realizado de acordo com a NBR 12128/1991, utilizando-se do aparelho de Vicat (Figura 7), constituído por um suporte e haste móvel, onde em sua extremidade está acoplada uma agulha de seção transversal de  $1 \text{ mm}^2$  e de comprimento de 50 mm. O molde idêntico ao aparelho de Vicat modificado foi utilizado no ensaio.

O ensaio de tempo de pega consiste em preparar uma amostra de acordo com a relação de água/gesso determinada no ensaio de consistência normal, porém, sem adicionar retardador, cronometrar e expressar os resultados em minutos e segundos do início (caracterizado pelo instante em que a agulha estaciona a 1 mm da base) e fim (caracterizado pelo instante em que a agulha não mais penetra na pasta, deixando uma leve impressão) de pega.

**Figura 7.** Aparelho de Vicat para determinação de tempo de início e fim de pega.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

### ***Produção das Pastas***

As pastas de gesso foram produzidas em duas etapas, a ***Etapa 1*** descreve os procedimentos do projeto piloto, onde foram utilizados gesso virgem, pérolas de EPS e aditivo (PVA). Já para ***Etapa 2***, além do gesso virgem, foram empregados o resíduo de gesso e de EPS e dispensado o aditivo.

### ***Etapa 1***

#### **3.2.2 Otimização do compósito gesso virgem-EPS-aditivo**

Em um primeiro momento foi considerado a incorporação de aditivo (PVA) como adesivo na finalidade de melhorar a interação entre o compósito de gesso virgem e EPS.

Para a otimização do compósito foi estudado o efeito da variação de aditivo, fixando os valores de gesso-poliestireno expandido e relação água/gesso sobre o comportamento mecânico dos compósitos.

Para o experimento, o arranjo adotado incluiu a adição de aditivo “PVA” em massa de 10g, 20g, 30g e 40g, e relação água/gesso de 0,7 para o compósito.

Para Dal Molin et al (2005), há uma importância na utilização de um número mais elevado de repetições, pois quando se faz uso de métodos estatísticos na avaliação de experimentos, um número insuficiente de amostras pode gerar incertezas que impossibilitem conclusões referentes ao teor ótimo de um estudo.

### ***Preparação dos compósitos I***

A preparação da massa de gesso e EPS ocorreu conforme NBR 12129/1991. Primeiramente, dissolveu-se o aditivo “cola branca” em água. Posteriormente, foi cronometrado um tempo de 1min para que em um recipiente polvilhou-se manualmente o pó de gesso sobre a água. Passado o tempo de 1 min, cronometrou-se novamente o tempo de 2min para que em repouso o pó de gesso polvilhado sobre a água iniciasse sua hidratação.

Após este tempo, foi acrescentado as pérolas de EPS, conforme Figura 8, e a massa foi homogeneizada por tempo cronometrado de 1min.

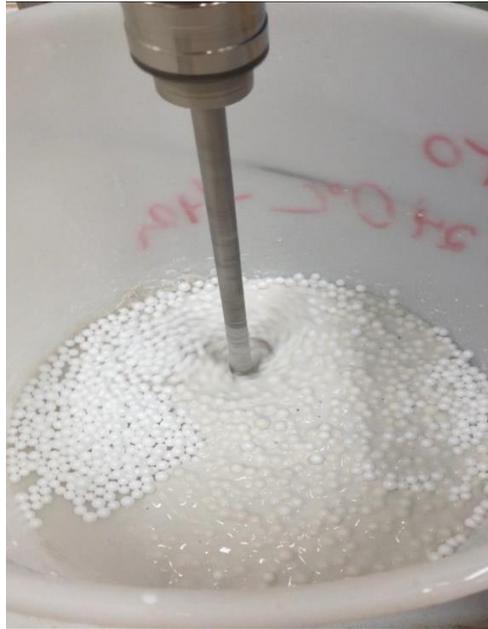
**Figura 8.** Pérolas de poliestireno expandido sendo acrescentadas durante hidratação do pó de gesso.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para a homogeneização da massa de gesso-poliestireno expandido foi utilizado um agitador mecânico Fisatom modelo 713D de rotação regulável para produtos semi-viscosos (Figura 9).

**Figura 9.** Homogeneização da massa de gesso/poliestireno expandido por meio de agitador mecânico.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

De acordo com a NBR 12129/1991, para a preparação dos corpos de prova, foram produzidos através de molde de três compartimentos, permitindo a moldagem simultânea de três corpos de prova cúbicos com dimensões 50 mm x 50 mm. O arranjo adotado de gesso-EPS-aditivo estão sumarizados conforme Tabela 6.

**Tabela 6.** Sumarização do processo de composição dos corpos de prova e número de repetições adotado.

	Nº de repetições	Teor de adição EPS (g)	Teor de adição PVA (g)
Gesso Virgem	6	0,0	0,0
		0,5	10,0
		1,0	20,0
		1,5	30,0
		2,0	40,0

		0,0	0,0
		0,5	10,0
Resíduo de Gesso	6	1,0	20,0
		1,5	30,0
		2,0	40,0

Fonte: Elaborada pela Autora, 2020.

A massa foi transferida para o molde metálico em duas camadas, adensando manualmente cada camada com uma espátula metálica de forma a evitar o aprisionamento de bolhas de ar. Após esse processo, o topo do molde foi rasado, sem, no entanto, alisar sua superfície.

Aproximadamente 1 hora após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram desmoldados. Este tempo foi suficiente para que adquirissem resistência ao manuseio.

Posteriormente, os exemplares foram devidamente identificados e armazenados em temperatura ambiente aguardando cura de 7 dias, até seu rompimento. De acordo com a NBR 12129/1991, a mesma não descreve o número mínimo de dias que os corpos de prova devem aguardar para rompimento, porém, em pesquisas como de Bonfim (2019), relacionadas à confecção de moldes de gesso adotou-se também neste estudo um período de 7 dias para análise dos ensaios de dureza superficial, compressão axial e massa específica.

## ***Etapa 2***

### 3.2.3 Estudo da otimização do compósito resíduo de gesso – resíduo de EPS

Nesta etapa foi estudada a otimização do compósito de resíduo de gesso obtido através do processo de moagem e calcinação, com adição do resíduo de EPS obtido através de moagem em triturador de grãos.

Adotou-se o efeito da variável de resíduo de poliestireno expandido, fixando o valor da relação água/gesso em 0,7.

Para o experimento, o arranjo adotado incluiu o percentual de adição de resíduo de EPS em 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 gramas junto a massa de resíduo de gesso.

## **Preparação dos compósitos II**

A preparação da massa de resíduo de gesso-EPS ocorreu conforme NBR 12129/1991. Primeiramente, foi cronometrado tempo de 1 min para que em um recipiente polvilhou-se manualmente o resíduo de gesso sobre a água. Passado o tempo de 1 min, cronometrou-se novamente o tempo de 2 min para que em repouso o pó de resíduo de gesso polvilhado sobre a água iniciasse sua hidratação.

Posterior este tempo, foi acrescentada a porcentagem de cada arranjo de resíduo de EPS conforme Figura 10, e a massa foi homogeneizada por tempo cronometrado de 1min. Para a homogeneização da massa de resíduo de gesso-EPS foi utilizado agitador mecânico.

**Figura 10.** Adição de resíduo de EPS na pasta de resíduo de gesso.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para a preparação dos corpos de prova de cada arranjo de resíduo de gesso-EPS foram realizadas 6 repetições. A massa foi transferida para o molde metálico em duas camadas, adensando manualmente cada camada com uma espátula metálica de forma a evitar o aprisionamento de bolhas de ar.

Aproximadamente 1 hora após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram desmoldados. Este tempo foi suficiente para que adquirissem resistência ao manuseio. Posteriormente, foram devidamente identificados e armazenados em

temperatura ambiente aguardando cura até análise de dureza superficial e compressão axial.

### 3.2.4 Caracterização do compósito no estado endurecido

#### 3.2.4.1 Determinação da massa específica

Este ensaio tem como objetivo determinar a relação entre a massa do corpo de prova e o volume do mesmo depois de endurecido, considerando a diminuição do seu peso conforme adicionado o EPS.

Para este ensaio foi pesado o corpo de prova em balança digital com precisão de 0,1 g e posterior utilizando paquímetro digital da marca Digimess com precisão de 0,03 mm, aferindo as medidas em três direções distintas para o cálculo de massa específica, conforme Figura 11 (a) e (b).

**Figura 11.** Corpo de prova sendo pesado e medido suas arestas para cálculo de massa específica.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O cálculo da massa específica é realizado pela Equação 1:

$$Me = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Na qual:

*Me* = massa específica, em quilogramas por metro cúbico.

*M* = massa do corpo de prova, em gramas.

*V* = volume do corpo de prova, em centímetro cúbico.

#### 3.2.4.2 Determinação das propriedades mecânicas

Nos ensaios de determinação das propriedades mecânicas, determinados pela NBR 12129/1991, os corpos de prova foram moldados de acordo com a **Preparação dos compósitos I e II** deste estudo, e após o endurecimento completo da pasta, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e armazenados em temperatura ambiente para posterior rompimento.

##### 3.2.4.2.1 Dureza superficial

Este ensaio de propriedade mecânica é amplamente utilizado em diversas áreas para especificação e comparação de materiais, consistindo em selecionar a face inferior de moldagem do corpo de prova para ensaio de penetração. Nesta face selecionada, uma esfera aplica carga inicial de 50N e, após 2 segundos aumenta-se essa carga para 500N, mantendo por 15 segundos, conforme Figura 12.

**Figura 12.** Ensaio de Dureza superficial no momento de aplicação de carga.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O ensaio que determina a dureza superficial dos corpos de prova cúbicos de gesso foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Concreto de ITAIPU (LTCl), seguindo os métodos estabelecidos pela NBR 12129 (ABNT, 1991). Utilizando a máquina universal de ensaios Wolpert, em suas especificações está determinado que sua carga máxima é de 29 toneladas e sua velocidade de carregamento axial máxima de 50 kgf/seg. Durante a realização do ensaio definiu-se aproximadamente 50 Newtons como carga inicial, em seguida esta carga foi elevada a um valor igual ou superior a 500 N.

Esta carga foi aplicada sobre uma esfera metálica com diâmetro de 10 mm que se situava de forma centralizada na parte superior do cubo, ao finalizar a aplicação de carga mediu-se a profundidade que a esfera penetrou com o auxílio de um medidor de deformação do tipo relógio comparador, com curso de 10 mm e precisão de 0,001 mm. Com os valores obtidos foi possível calcular a dureza superficial da pasta de gesso endurecida utilizando a seguinte Equação 2.

$$D = \frac{F}{\pi \times \phi \times t} \quad (2)$$

Sendo D=

$F = \text{carga em Newton.}$

$\emptyset = \text{diâmetro da esfera, em milímetros.}$

$t = \text{média da profundidade, em milímetros.}$

#### 3.2.4.2.2 Resistência à compressão axial

Após o ensaio de dureza superficial, a face do corpo de prova que não foi realizado o ensaio de penetração e tampouco a face rasada durante a moldagem é selecionada. Em seguida, no centro da prensa é aplicada uma carga continuamente numa razão de 250N/s a 750N/s até a ruptura do corpo de prova.

O valor da resistência à compressão R, em Mpa, é dado pela Equação 3:

$$R = \frac{P}{S}$$

Na qual R=

$P = \text{carga que produziu a ruptura do corpo de prova, em Newtons.}$

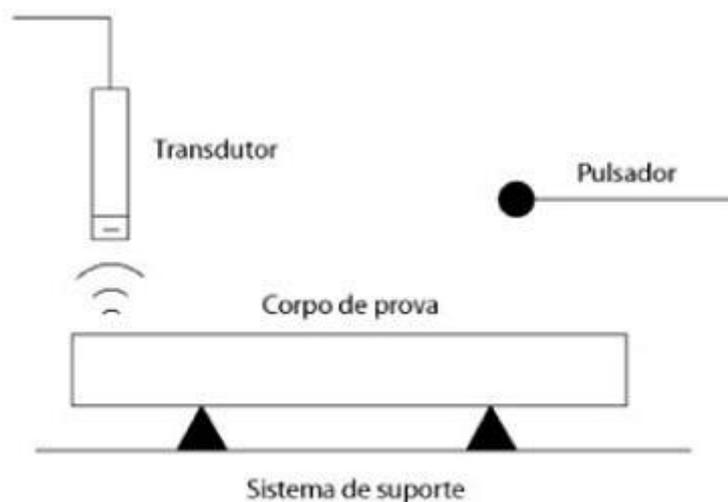
$S = \text{área seção transversal de aplicação da carga, em milímetros.}$

### 3.2.5 Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura

Para a avaliação do compósito foi utilizado Sistema Sonelastic, onde o mesmo permite a caracterização não destrutiva dos módulos elásticos e do amortecimento em atmosfera controlada, empregando a técnica de excitação por impulso (TEI).

Na técnica de excitação por impulso os módulos elásticos e o amortecimento são caracterizados a partir da resposta acústica emitida pela amostra após receber um leve impulso mecânico “pulsador” (Figura 13). Esta resposta acústica contém frequências naturais de vibração, que são proporcionais aos módulos de elasticidade, e apresenta uma taxa de atenuação que é proporcional ao amortecimento.

**Figura 13.** Esquema básico do posicionamento da amostra para medida das frequências de ressonância flexional usando o método de excitação por impulso.



Fonte: Sonelastic, 2020.

Para geometrias regulares como barras, a caracterização dos módulos elásticos e do amortecimento ocorre com a amostra sendo posicionada em um suporte apropriado e excitada com um leve impulso mecânico, que pode ser aplicado manualmente ou com um pulsador eletromagnético. Um captador acústico detecta a

resposta acústica que é processada pelo Software Sonelastic para o cálculo dos módulos de elasticidade e do amortecimento, conforme Figura 14.

**Figura 14.** Passo a passo da técnica de excitação por impulso.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para a análise, foram confeccionados dois corpos de prova de barra de secção transversal retangular com dimensões 2,5 X 2,5 X 15 cm conforme apresentado na Figura 15, e para cada traço, variando adição de EPS em: 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 gramas.

**Figura 15.** Barras de secção transversal.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para análise de módulo elástico dinâmico, as barras foram dispostas em uma mufla modelo ML1300 (Figura 16) aquecendo-as gradativamente em temperaturas de 25°C, 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 400°C, 500°C e 600°C. Conforme as temperaturas em que as barras foram expostas, realizou-se a técnica de excitação por impulso para módulo elástico dinâmico.

**Figura 16.** Mufla para módulo elástico dinâmico sob variação de temperatura.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

### 3.2.6 Análise acústica

Para a análise acústica do compósito, produziram-se 6 placas de 12cm X 12 cm com espessura de 20 mm e 40 mm respectivamente, conforme Figura 17. Estas placas tem a função como material de absorção, deixando o som do ambiente mais seco, sendo assim, diminuindo o número de reflexões através da absorção de energia sonora do material e da metragem de área aplicada.

**Figura 17.** Placas para ensaio acústico de 20 e 40 mm de espessura.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

### 3.2.6.1 Descrição da caixa piloto utilizada para análise acústica

A caixa piloto para o ensaio de análise acústica foi confeccionada no laboratório LADEMA (laboratório de Desempenho Estruturas e Materiais) da Unila (Foz do Iguaçu). A caixa piloto possui abertura de 40 cm X 40 cm em madeira MDF e seu interior forrado com espuma acústica, possui duas aberturas, a parte de cima (Figura 18) foi posicionada uma caixa de som modelo JBL charge 3 com a função de amplificador, e na parte de baixo foi fixado um decibelímetro digital com microfone para capturar a passagem de som através de uma passagem interna da caixa de 6 cm X 6 cm.

**Figura 18.** Parte de cima da caixa acústica com amplificador de som.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O intuito é que placa por ser de material poroso e parte dos materiais acústicos de absorção flexíveis, quando houver passagem do som em seu interior faz com que o som se “oblitere” lá dentro, conforme Figura 19.

**Figura 19.** Parte de cima da caixa acústica com amplificador de som.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DE GESSO VIRGEM E EPS COM ADITIVO (PVA)

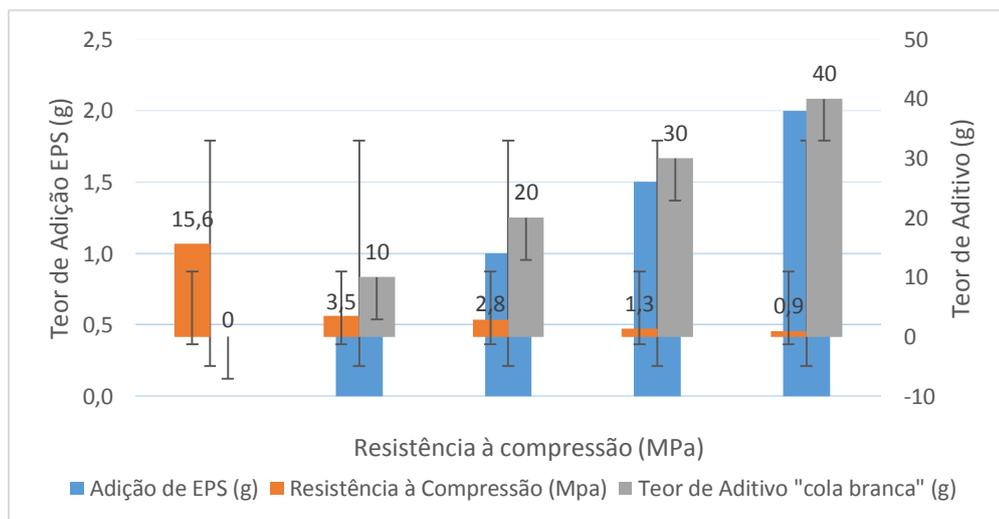
#### 4.1.1 Análise de resistência à compressão e dureza superficial

Observa-se que o aumento gradativo do aditivo faz com que a resistência reduza, e o pico máximo de 15,6 MPa se dá quando não é incorporado o aditivo, havendo uma perda significativa de resistência no valor de 0,9 MPa.

Da Silva Ribeiro e Serra (2014), apontam que em compósitos utilizando resíduos de papel e reforçados com pó de serragem e gesso têm como a utilização de aditivo “cola branca simples” apenas em pequena quantidade e como função de aglutinante.

A Figura 20 apresenta o gráfico de análise de resistência à compressão axial do compósito de gesso comercial e poliestireno expandido com adição gradativa de aditivo “cola branca simples” para comparação de desempenho.

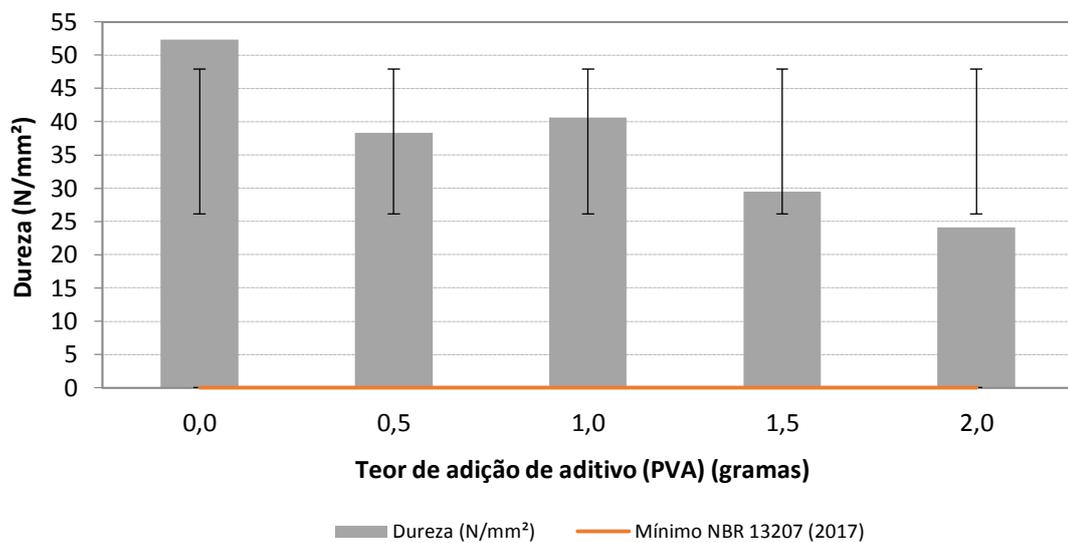
**Figura 20.** Comportamento da média de resistência à compressão axial dos compósitos.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O mesmo pode-se observar em relação a dureza superficial do compósito conforme observado na Figura 21. A NBR 13207/2017 - Gesso para construção civil – Requisitos, classifica como propriedades físicas e mecânicas da pasta de gesso o valor mínimo estabelecido de 20 N/mm<sup>2</sup> para a dureza superficial.

**Figura 21.** Dureza superficial (N/mm<sup>2</sup>) do compósito gesso-EPS em função do teor de adição de aditivo.



Os resultados obtidos corroboram com a literatura e por MARANGON (2008), pois é comum o aumento da dureza superficial do compósito quando a adição de PVA é realizada em baixas concentrações. Porém, o aumento gradativo quando em demasia de PVA, faz com que a dureza superficial da amostra adquira uma redução das propriedades em relação as amostras com concentração inferior.

A dureza superficial também possui variabilidade de acordo com a superfície analisada, pois com a adição de aditivos, mesmo estes garantindo maior trabalhabilidade e maior tempo de pega, inversamente, as partículas de EPS flutuam, afetando a distribuição das mesmas na pasta. Essa rugosidade superficial apresentada através de imagens fotográficas, demonstrou que a rugosidade em uma superfície do compósito, não é a mesma apresentada em outro lado (SAN-ANTONIO-GONZÁLEZ, 2016).

## 4.2 ANÁLISE FINAL DA COMPOSIÇÃO DE GESSO VIRGEM E RESÍDUO DE EPS X RESÍDUOS DE GESSO E EPS

### 4.2.2 Análise da caracterização do gesso no estado fresco

#### 4.2.2.1 Consistência normal e tempo de pega

Na análise de consistência normal e tempo de início e fim de pega das pastas de gesso virgem e resíduo de gesso, os resultados obtidos tanto para este estudo quanto demais literaturas, estão apresentadas na Tabela 7. Observou-se que todos os resultados basearam-se na normativa NBR 13207/2017, cujas mesmas estão de acordo com as respectivas especificações técnicas de tempo de início e fim de pega.

Constatou-se que o resíduo de gesso calcinado à 200°C por tempo de 4 horas, obteve resultados muito próximos ao estudo de Bonfim (2019). Já para o gesso virgem, o tempo de pega aproximou-se com estudos de Barbosa et.al (2014) e Hincapie e Cincotto (1997).

Os valores obtidos através do tempo de início e fim de pega deste estudo e do estudo de Bonfim (2019), Barbosa et.al. (2014) e Hincapie e Cincotto (1997), estão em conformidade pelo fator na relação água/gesso das pastas de gesso confeccionadas.

**Tabela 7.** Tempo de início e fim de pega das pastas de gesso virgem e resíduo de gesso em comparação à literatura de Bonfim (2019), Barbosa et al. (2014) e Hincapie e Cincotto (1997).

<i>Estudo</i>	<i>Especificações</i>	<i>a/g*</i>	<i>Início de pega (min)</i>	<i>Fim de pega (min)</i>	<i>Literaturas</i>
<i>Gesso virgem</i>	<i>Pega rápida</i>	<i>0,7</i>	<i>9</i>	<i>16</i>	<i>NBR 13207/2017</i>
<i>Resíduo de gesso</i>	<i>(calcinado 4h-200°C)</i>	<i>0,7</i>	<i>35</i>	<i>41</i>	<i>NBR 13207/2017</i>
<i>Gesso virgem</i>	<i>Pega rápida</i>	<i>0,7</i>	<i>9</i>	<i>15</i>	<i>Barbosa et.al., 2014</i>
	<i>Pega rápida</i>	<i>0,7</i>	<i>8</i>	<i>16</i>	<i>Hincapie e Cincotto, 1997</i>
	<i>Pega lenta</i>	<i>0,6</i>	<i>17</i>	<i>44</i>	<i>Bernhoeft et.al., 2011</i>
<i>Resíduo de gesso</i>	<i>(calcinado 8h-200°C)</i>	<i>0,6</i>	<i>8</i>	<i>27</i>	<i>Fiano e Pimentel, 2009</i>

(calcinado 1h-150°C)	0,6	5	13	Mesquita e Póvoas, 2014
(calcinado 4h-200°C)	0,7	33	45	Bonfim, 2019

\* Relação água/gesso da mistura das pastas de gesso.

Fonte: Elaborada pela Autora, 2020.

Para San-Antonio-González (2015), a incorporação progressiva de EPS no compósito, requer maiores quantidades de água para garantir maior trabalhabilidade da pasta de gesso. O volume crescente de resíduo e água, afeta o tempo de pega e aumenta a porosidade do compósito.

#### 4.2.3 Análise da caracterização do gesso no estado endurecido

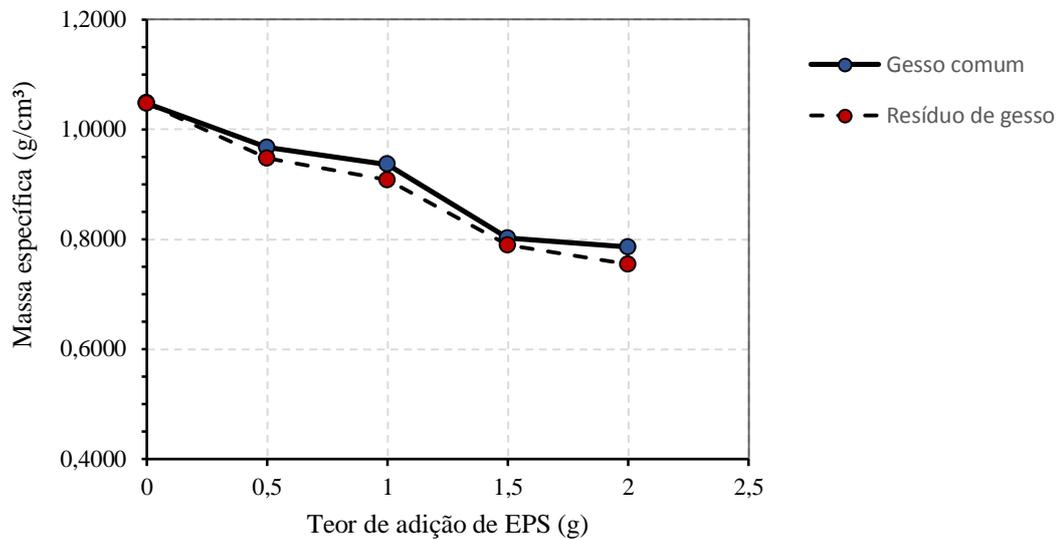
##### 4.2.3.1 Massa específica

Observou-se que o resíduo de gesso apresentou massa específica menor que o gesso virgem, isso deve-se ao fato da massa específica estar relacionada a perda de partículas finas durante o processo de calcinação do gesso, e conseqüentemente afetando no empacotamento de partículas e resultando em uma massa específica menor.

Pela semelhança nos resultados, evidenciou-se que o resíduo de gesso mesmo se tratando de um material reciclado, possui comportamentos de massa específica, dureza superficial e compressão axial muito similares ao gesso virgem.

Outro fator ponderante, foi conforme a adição gradativa de resíduo de EPS a massa específica e o seu peso diminuíram, cuja Figura 22 apresenta o comportamento do compósito em relação a sua massa específica.

**Figura 22.** Comportamento da massa específica das pastas de gesso virgem e resíduo de gesso com adição de resíduo de EPS.



Fonte: Elaborada pela Autora, 2020.

#### 4.2.3.2 Dureza superficial

As propriedades mecânicas analisadas foram dureza superficial e resistência à compressão axial após 7 dias de idade, em pastas de gesso comercial e em pastas de gesso reciclado. Para estas análises foram moldados 6 corpos de prova de 50 X 50 X 50 mm e relação de água/gesso fixada em 0,7. Os dados obtidos através do Excel e seus valores médios são apresentados na Tabela 8 e Figura 23.

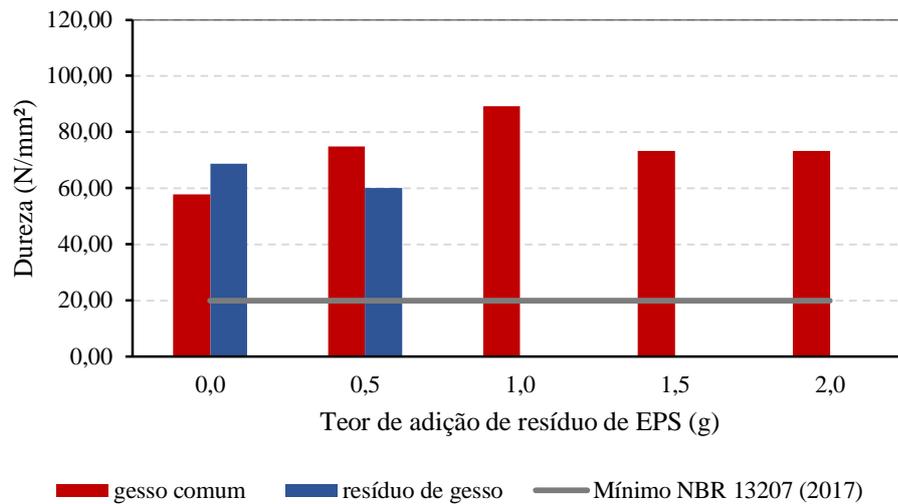
**Tabela 8.** Resistência à compressão axial e dureza superficial, aos 7 dias de idade, para as pastas de gesso comercial e gesso reciclado

<b>GESO COMERCIAL /RESÍDUO DE EPS</b>	<i>Compressão axial (MPa)</i>	<i>Dureza superficial (N/mm²)</i>
<i>Teor de adição de EPS (g)</i>		
0,0	16,9	57,88
0,5	11,0	74,78
1,0	12,5	89,10
1,5	6,60	73,28
2,0	6,60	73,28
<b>RESÍDUO DE GESO/RESÍDUO DE EPS</b>		
<i>Teor de adição de EPS (g)</i>		
0,0	9,80	68,64
0,5	4,82	60,01
1,0	3,40	sem dados

1,5	2,28	sem dados
2,0	1,14	sem dados

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

**Figura 23.** Comportamento das pastas de gesso comercial e reciclado à dureza superficial, aos 7 dias de idade, em função do teor de adição de resíduo de EPS.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Pode-se analisar que para o ensaio de dureza superficial das pastas de gesso comercial com adição de resíduo de EPS atenderam as exigências da NBR 13207/2017 onde o valor mínimo desejável é de 20 N/mm<sup>2</sup>. As análises demonstraram valores bem acima do valor mínimo exigido pela norma, e mais satisfatório com o teor de adição de 1,0 grama de resíduo de EPS, com valor de dureza superficial de 89,1 N/mm<sup>2</sup>. Estudo de Brandão (2015), dentre as pastas avaliadas a que apresentou maior resistência à dureza superficial foi a pasta com fator de relação água/gesso de 0,40 e adição de aditivo de 1,0%.

Porém, para as pastas de gesso reciclado constatou-se que a leitura somente foi obtida nos teores de (0,0 e 0,5g) de resíduo de EPS. Já os teores de 1,0; 1,5 e 2,0 g, a leitura dos valores não pode ser obtida pois os corpos de prova apresentaram grande susceptibilidade à deformação.

Conciliando este estudo com o estudo de San-Antonio-González (2015), as amostras com resíduo de EPS apresentam textura em favo de mel, demonstrando alta

rugosidade superficial devido à presença de EPS próximo à superfície (flutuam na matriz de gesso). Esse efeito afeta a dureza da superfície. Isso significa que, a adição progressiva de EPS diminui a dureza superficial do compósito.

#### 4.2.3.2 Resistência à compressão axial

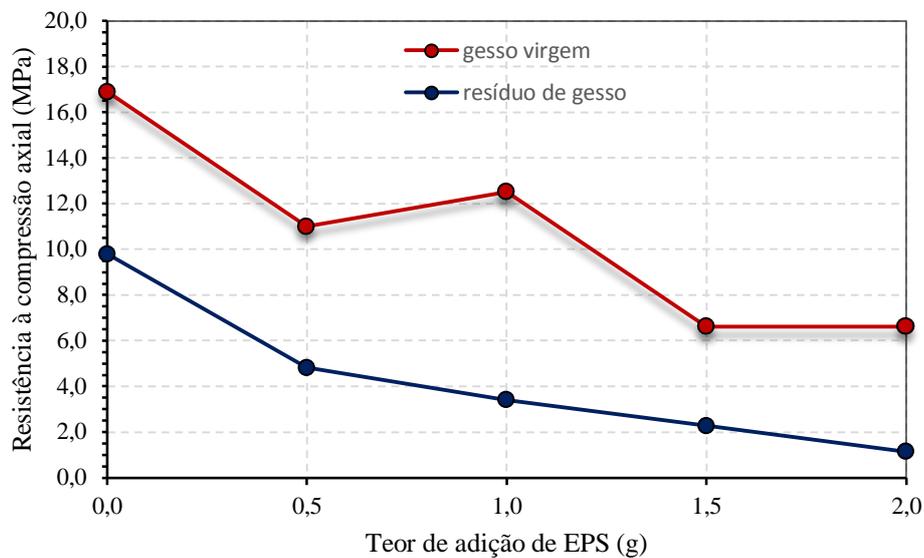
Na análise de compressão axial, os resultados dos ensaios de 7 dias de idade, apontaram que diante de todos os casos estudados, a adição de 0,5 e 1,0 grama de EPS na pasta de gesso comercial possuiu efeito positivo, apresentando resistência mecânica de 11 e 12,5 MPa em comparativo aos demais teores (1,5; 2,0 g).

Apesar de as pastas de gesso comercial apresentarem resistência à compressão, na atualização da norma NBR 12129 (ABNT, 1994) a resistência à compressão axial no valor de 8,4MPa exigida anteriormente como requisito de desempenho foi cancelada. A partir do ano de 2017 esta propriedade não possui limite para gesso destinado à construção civil.

Para os ensaios de adição de EPS de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 gramas na pasta de gesso reciclado, demonstrou-se efeito negativo, apontando decréscimo da resistência mecânica em todos os compósitos.

Na Figura 24 têm-se os resultados obtidos do compósito de matriz de gesso e incorporação de resíduo de EPS.

**Figura 24.** Evolução das pastas de gesso comercial e reciclado à compressão axial, aos 7 dias de idade, em função do teor de adição de resíduo de EPS.

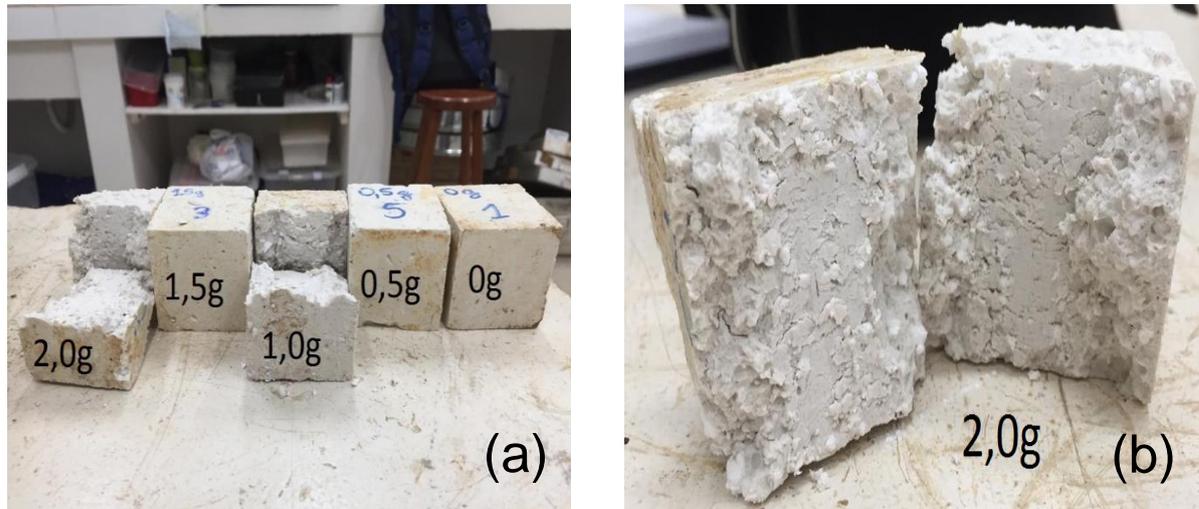


Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A NBR 11752/2016 expressa o valor de resistência à compressão do EPS de - 70 KPa, corroborando assim para a perda de resistência quando o mesmo é incorporado na pasta de gesso comercial ou reciclado.

O resíduo de EPS por ser um material extremamente leve e que não tende a ter propriedades ligantes contribui para outro fator na perda de resistência, ocorrendo no processo de adensamento e moldagem dos corpos de prova, onde o resíduo de EPS não apresenta uma completa homogeneização na pasta de gesso comum e reciclado, aumentando assim a porosidade do compósito. A Figura 25 (a) e (b) demonstra através do ensaio de compressão axial os corpos de prova rompidos, evidenciando a porosidade entre a estrutura.

**Figura 25.** Estrutura interna dos corpos de prova após ensaio de compressão axial, demonstrando textura em favo de mel e pouca interação entre as partículas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Outra possibilidade a ser considerada é a fraca interação entre o EPS e o gesso, apresentando uma tendência a aglomeração não dispersando de forma homogênea no compósito, tendo em vista que os corpos de prova apresentaram delaminação durante o ensaio (MEDEIROS, 2017).

Medeiros (2016) mostrou que o adensamento de resíduos como de EPS e EVA durante o processo de moldagem e homogeneização dos corpos de prova pode provocar uma variação na resistência à compressão, acarretando na diminuição da resistência dos compósitos e aumento de sua porosidade.

Ainda a NBR 11752/2016 menciona o valor de absorção de água de  $1 \text{ g/cm}^2 \times 100$  para o EPS, evidenciando que o mesmo possui baixa absorção de água na pasta de gesso comercial e reciclado. Não havendo esta absorção de água através do resíduo de EPS fica mais evidente que a resistência é diretamente proporcional à relação água/gesso.

Oliveira (2009) constatou que a resistência à compressão em ambos os compósitos com matriz de gesso e adição de vermiculita e EVA contribuiu negativamente, havendo um decréscimo nos valores analisados, como também o aumento da relação água/gesso elevou sua porosidade nas pastas, conferindo assim compósitos com resistências inferiores. Ainda, para se obter ganho de resistência à

compressão deve-se reduzir o percentual de EVA e a relação água/gesso à pasta de gesso.

Estudo de Rohden e Mecabô (2016) concluiu que a substituição de parte da pasta de gesso reciclado por resíduo de EPS reciclado apresentou módulo de finura, tempos de pega, dureza superficial e resistência a compressão que não atendem as exigências normativas. Porém, muito atrativas no quesito sustentabilidade e como elemento de acabamento.

Embora poderia se pensar que compósitos com resíduos mais finos de EPS poderiam obter melhores propriedades mecânicas, como de compressão axial, devido a sua granulometria, no estudo de San-Antonio-González (2015), não há diferenças significativas entre os resultados obtidos para diferentes combinações de tamanhos de partículas, no geral, as propriedades mecânicas diminuem com o aumento da adição de EPS.

#### 4.2.3.3 Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura

Para análise do módulo elástico dinâmico verificou-se o comportamento do compósito de gesso comercial e resíduo de gesso com variação de adições de resíduo de EPS. Para tal estudo, utilizou-se acréscimo de temperatura adotados primeiramente 25 °C (temperatura ambiente) e finalizando com temperatura de 600 °C onde houve o rompimento dos corpos de prova.

O Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura médios estão apresentados na Tabela 9 e na Figura 26, indicando grande redução nas pastas de gesso com a presença do resíduo de EPS.

**Tabela 9.** Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura de vigas aos 7 dias de idade, para as pastas de gesso comercial e gesso reciclado.

CP*	MEDIDAS (mm)			PESO (g)	MÓDULO ELÁSTICO DINÂMICO (GPa)								
	T (H)	W (L)	L		25 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
<b>0 g</b>	25,60	25,11	149,73	109,43	5,53	5,40	4,10	1,67	1,68	1,42	0,62	0,38	rompeu
<b>0,5 g</b>	24,76	25,08	149,54	94,29	3,66	2,93	0,84	rompeu					
<b>1,0 g</b>	25,15	25,40	149,87	80,11	3,24	1,97	0,75	rompeu					
<b>1,5 g</b>	24,97	24,50	150,37	72,25	2,29	1,26	0,44	rompeu					
<b>2,0 g</b>	25,18	25,35	151,57	55,20	1,20	0,47	0,16	rompeu					

<b>RG*</b>													
<b>0 g</b>	25,14	25,14	150,15	106,37	5,39	4,86	3,42	3,24	1,38	0,87	0,28	0,13	rompeu
<b>0,5 g</b>	24,39	24,86	148,77	80,82	4,56	2,29	1,69	0,94	rompeu				
<b>1,0 g</b>	25,06	25,15	155,04	78,09	3,73	2,54	1,18	0,76	rompeu				
<b>1,5 g</b>	24,77	25,02	147,86	63,90	3,43	2,42	1,11	0,69	rompeu				
<b>2,0 g</b>	25,24	25,19	153,71	55,21	3,43	1,85	0,98	0,42	rompeu				

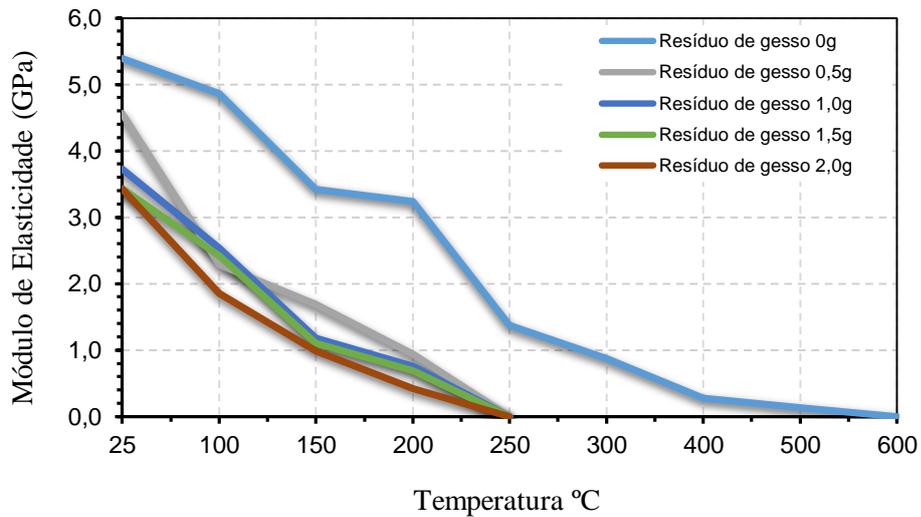
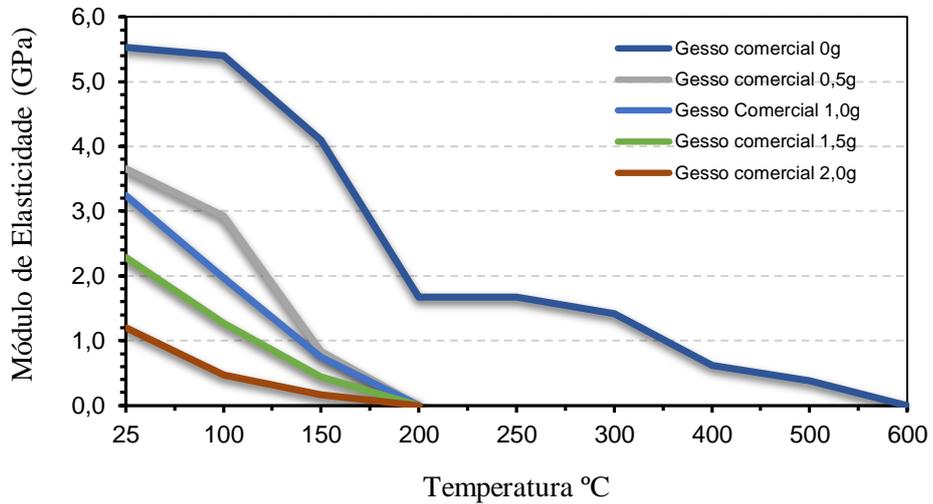
\*CP – Corpo de prova

\*GV – Gesso virgem

\*RG – Resíduo de gesso

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

**Figura 26.** Comportamento das pastas de gesso comercial e reciclado ao Módulo elástico dinâmico com e sem efeito de variação de temperatura, em relação ao teor de adição de resíduo de EPS.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

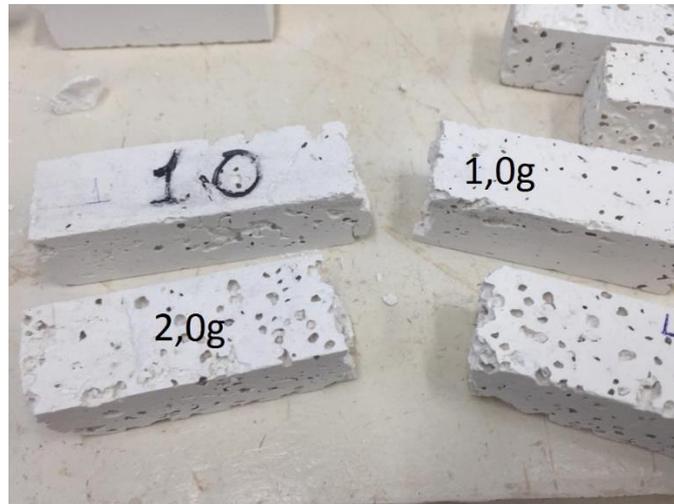
Observou-se tanto na pasta de gesso comercial quanto na pasta de resíduo de gesso que o módulo elástico dinâmico decresce conforme a adição do resíduo de EPS, isso se deve aos mesmos fatores apontados nas propriedades mecânicas de dureza superficial e compressão axial.

Pinto (2018) mostrou que a relação entre o módulo elástico dinâmico e a porcentagem de fibras no compósito está diretamente ligada a quantidade de água na mistura e com o aumento do teor de EPS utilizado. Quanto maiores estes fatores, menor será seu módulo elástico dinâmico.

Do mesmo modo, Camões et al. (2010) em resultados alcançados através da caracterização de diferentes granulações de cortiça e fibras têxteis resultantes da reciclagem de pneus usados, possibilitou verificar que compósitos obtidos através de moldagem apresentam diminuição da resistência à compressão, dureza superficial e módulo elástico dinâmico. Além disto, verificou-se que existe uma relação linear entre o módulo elástico dinâmico com a variação de teor de resíduo, verificando-se que quanto maior a quantidade de resíduo granular, menor é o módulo elástico dinâmico, resistência à compressão e dureza superficial do compósito.

Ambas as pastas não resistiram à temperatura de 600 °C, onde os dados não puderam ser aferidos. Os corpos de prova de gesso comercial com adição de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 gramas de EPS romperam-se em temperatura de 200°C e os corpos de prova de resíduo de gesso com as mesmas adições de EPS romperam-se em temperatura de 250°C. A Figura 27 apresenta o corpo de prova rompido após passar pelas altas temperaturas.

**Figura 27.** Amostras das vigas após rompimento pelo aquecimento e derretimento do EPS.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Assim, constatou-se que a pasta de resíduo de gesso com adição de resíduo de EPS obteve maiores valores de módulo elástico dinâmico quanto à temperatura que a pasta de gesso comercial.

Porém, o corpo de prova ao ser exposto pela faixa de temperatura (25°C a 600°C), observou-se que o mesmo derreteu, criando vazios no interior tanto na pasta de gesso comercial quanto na pasta de resíduo de gesso, ocasionando o enfraquecimento do corpo de prova.

Estudo de caso sobre o desempenho do fogo no isolamento exterior e sistemas de acabamento usando diferentes espessuras de poliestireno expandido, analisado por Schafer (1996), observou que no ensaio realizado pela *Factory Mutual Research* o EPS foi encapsulado em uma placa de gesso, formando uma parede. Ao final de 15 minutos o fogo atingiu o seu pico e observou-se que o incêndio produziu muito pouca propagação de chamas, entretanto a temperatura máxima atingida foi de 870°C. Posterior o ensaio, foi constatado que a placa de gesso resistiu ao fogo, porém o EPS tinha derretido quase por completo, criando canais e vazios pelos quais o ar incentiva a propagação de fogo.

#### 4.2.4 Análise de índice de absorção acústica

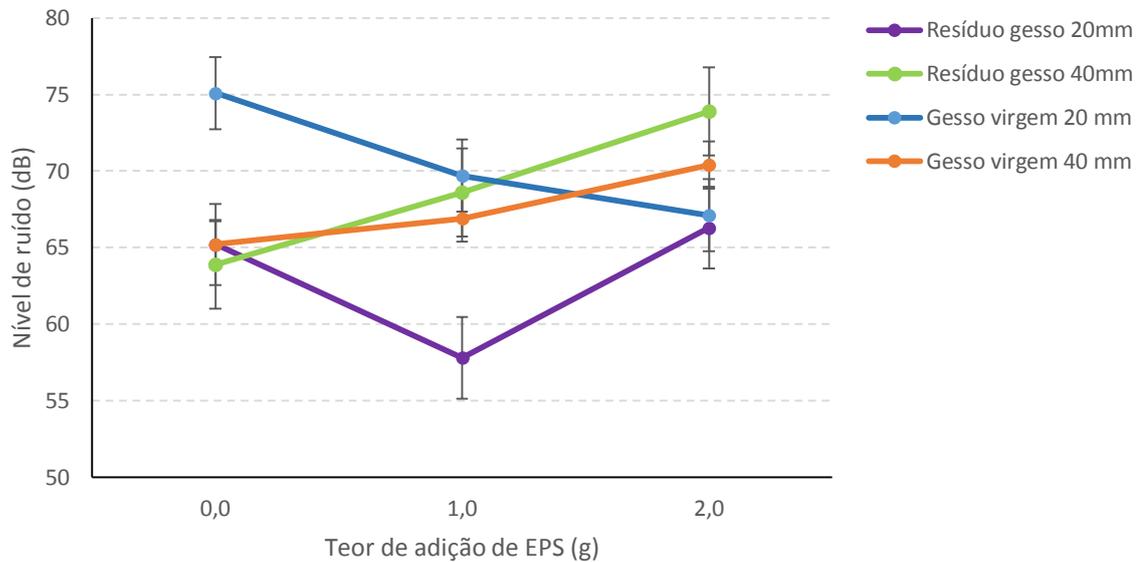
Para esta pesquisa, foi analisado o índice de absorção acústica, através da incorporação de resíduo de EPS na pasta de gesso. Foram confeccionadas duas placas com espessuras de 20 mm e 40 mm, e diferentes teores de adição de EPS, cujos dados de absorção acústica estão apresentados na Tabela 10 e Figura 28, e como referência de índice de ruído, utilizou-se a frequência de som em decibéis sem a colocação da placa, obtendo-se o valor de 81,6 dB.

**Tabela 10.** Índice de absorção acústica de diferentes espessuras de placas para gesso comercial e resíduo de gesso com adição de resíduo de EPS.

<b>GESSO COMERCIAL</b>	<i>Teor de Adição EPS (g)</i>	<i>Referência (dB)</i>	<i>Nível Sonoro (dB)</i>	<i>Absorvido (dB)</i>	
20 mm	0,0	81,6	75,1	6,50	
	1,0		69,7	11,9	
	2,0		67,1	14,5	
40 mm	0,0		65,2	16,4	
	1,0		66,9	14,7	
	2,0		70,4	11,2	
<b>RESÍDUO DE GESSO</b>					
20 mm	0,0			65,2	16,4
	1,0			57,8	23,8
	2,0		66,3	15,3	
40 mm	0,0		63,9	17,7	
	1,0		68,6	13,0	
	2,0		73,9	7,70	

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

**Figura 28.** Comportamento acústico das placas de gesso em relação à referência adotada.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Constatou-se que todas as placas confeccionadas em ambas as espessuras de 20 mm e 40 mm e teores de adição de EPS (0,0; 1,0 e 2,0 g) foram efetivas na diminuição do índice inicial de absorção de ruído de 81,6 dB.

A placa confeccionada de pasta de gesso comum sem adição de resíduo de EPS e com espessura de 20 mm obteve resultado de nível sonoro de 75,1 dB, valor de capacidade de absorção de ruído de 6,5 dB, inferior das demais placas.

Já a placa que obteve maior nível de absorção de ruído foi a confeccionada de resíduo de gesso com adição de 1,0 grama de resíduo de EPS, tendo o nível de absorção de 23,8 dB.

Constatou-se que na confecção das placas, a utilização de resíduo de EPS obtém a diminuição do nível sonoro e conseqüentemente traz maior conforto ambiental ao utiliza-las. O mesmo ocorre no estudo de Santos (2015), onde o cômodo construído com material de compósito de resíduo de mármore e EPS obteve maior absorção acústica que em cômodos onde não possuía resíduo em sua pasta.

Da mesma forma, constata-se que não é necessária uma placa com espessura maior que 20 mm para obter absorção de ruído satisfatória, e também, a utilização de resíduo de gesso e EPS tornam-se viáveis em termos de economia em material e leveza para a confecção de placas.

Wolff (2008), conclui em sua pesquisa que a utilização de EPS como agregado, representa não só uma possibilidade no reaproveitamento do material, mas também como uma alternativa no conforto térmico e acústico, pois o EPS incorporado à pasta, proporciona a incorporação de vazios, retendo assim a passagem do som pela diminuição de sua velocidade de propagação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A adição de PVA à pasta de gesso e EPS com a função de garantir maior interação entre as partículas, maior trabalhabilidade e maior tempo de pega, não são benéficos, pois as partículas de EPS flutuam na pasta de matriz de gesso, gerando uma perda muito expressiva de resistência à compressão e dureza superficial do material.
- Os tempos de início e fim de pega foram compatíveis com as demais literaturas estudadas sobre gesso e compósitos de gesso com adição de outros materiais. A relação água/gesso contribuiu para que os tempos de início e fim de pega tivessem intervalos ampliados, ficando mais evidente este processo quando é observado no resíduo de gesso, onde o mesmo perde grande parte dos seus teores de finos durante o processo de calcinação e moagem.
- A massa específica do compósito de resíduo de gesso em relação ao gesso virgem apresentou valores menores devido à perda de partículas finas durante o processo de beneficiamento do resíduo de gesso. Também, a influência da adição do teor de resíduo de EPS foi um fator influente na diminuição da massa específica.
- Nas propriedades mecânicas, a dureza superficial da pasta de gesso virgem mostrou-se satisfatória, demonstrando valores bem acima do valor exigido pela norma, o melhor resultado foi com a adição de teor de 1,0 g de resíduo de EPS, atingindo o valor de 89,1 N/mm<sup>2</sup>. Porém, para a pasta confeccionada com resíduo de gesso constatou-se que conforme a adição de EPS houve diminuição da sua dureza superficial. Para a resistência à compressão, a adição de resíduo de EPS foi mais influente no decréscimo de sua resistência. Ficou comprovado que não há uma boa aderência entre o EPS e as pastas de gesso, e o seu percentual de adição de EPS influenciou negativamente na resistência à compressão.
- O compósito apresentou decréscimo de resistência no módulo elástico dinâmico com acréscimo de temperatura, onde os compósitos com adição de resíduo de EPS não atingiram temperaturas acima de 250°C para seu rompimento. O rompimento deve-se aos fatores de relação água/gesso e no aumento do teor de EPS por utilizado.

- Na análise acústica, todas as placas confeccionadas trouxeram diminuição do nível sonoro, sendo o melhor resultado com adição de 1,0 g de resíduo de EPS. É incontestável que para fins de conforto ambiental, a utilização do compósito traz benefícios no aproveitamento do material EPS e em termos de economia circular.
- Em geral, os compósitos de matriz de gesso virgem e resíduo de gesso com adição gradativa de resíduo de EPS possuem maior leveza e seu comportamento acústico aprimora com a adição de EPS, porém, as propriedades mecânicas como dureza superficial, compressão axial e módulo elástico dinâmico diminuem com a adição gradativa de EPS, independentemente do tamanho das partículas.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Confeccionar e analisar as propriedades do compósito no estado fresco e endurecido com diferentes tamanhos de partículas para o gesso virgem e resíduo de gesso;
- analisar a interação de um aditivo capaz de aprimorar as propriedades mecânicas do compósito de matriz de gesso e EPS;
- Analisar a interação de diferentes tamanhos de partículas de resíduo de EPS, a fim de verificar se essas partículas melhoram as propriedades acústicas e térmicas do compósito.

## REFERÊNCIAS

ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Aplicações do EPS**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/03Aplicacoes.html>>. Acesso em: 06 out. 2019.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública de Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/>> Acesso em: 22 Julho 2018.

ABRECON. Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **O que é entulho**. Disponível em <<http://www.abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/>>. Acesso em 08 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 11752: **Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial - Especificação: Referências**. Rio de Janeiro, p. 4. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12128: **Gesso para construção: determinação das propriedades físicas da pasta**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12129: **Gesso para construção – determinação das propriedades mecânicas – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - BR 13207: **Gesso para construção civil – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica**, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014.

BARTHOLO JUNIOR, R. M. **A Importância do Gerenciamento de Risco em Resíduos Sólidos na Construção Civil**. Boletim do Gerenciamento, v. 6, n. 6, p. 31-41, 2019.

BERNHOEFT, L. F.; GUSMÃO, A. D.; TAVARES, Y. V. P. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno**. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 189-199, 2011.

BEZERRA, C. M. da S.. **Análise de planos de gerenciamento de resíduos da construção civil em obras do município de São Paulo e região**. 2019. 133f. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Administração- Gestão Ambiental e sustentabilidade) - Universidade Nove de Julho, São Paulo.

BIDONE, F. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. 1 ed. São Paulo: PROSAB, 51 p. 2001.

BLENGINI, Gian Andrea. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. **Building and Environment**, v. 44, n. 2, p. 319-330, 2009.

BONFIM, João Pedro de Oliveira. **Avaliação de Ciclos de Calcinação para o reaproveitamento de resíduos de gesso**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Integração Latino – Americana (UNILA) – Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, 2019.

BRANDÃO, Catharine Pereira. **Compósito com matriz de gesso e reforço de manta de sisal**. Dissertação em Engenharia Ambiental Urbana. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. 2015.

BRASIL-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PIB da Construção Civil fecha 2018 com retração de 2,5%. 2019**. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/pib-da-construcao-civil-fecha-2018-com-retracao-de-25/18503>>. Acesso em: 10 ago.2019.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos -PRNS Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Presidência da República, Departamento da Casa Civil**. Brasília, 2010. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 05 Jun.2019.

BRASIL. 2002. Resolução CONAMA nº 307 de 5 julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 10 ago. 2019.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 431 de 25 de Maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução no 307/2002. Disponível em: em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em: 10 set. 2019.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015.

BUSER, Martine; BOSCH-SIJTSEMA, Petra. Attributing value to waste: the difficult road to efficient waste management for renovation projects. **In: Paper Presented at the Proceeding of the 34th Annual ARCOM Conference**. ARCOM, 2018.

CALDERONI, Angelo et al. ENBD, the proprietary Eni Managed Pressure Drilling with Uninterrupted Mud Circulation: Technical Update after the First Year's Activity. **In: International Petroleum Technology Conference**. International Petroleum Technology Conference, 2009.

CAMARINI, Gladis; DOS SANTOS LIMA, Karla Danielle; PINHEIRO, Sayonara MM. Investigation on gypsum plaster waste recycling: an eco-friendly material. **Green Materials**, v. 3, n. 4, p. 104-112, 2016.

CAMÕES, Aires et al. Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. **8º Congresso Nacional de Mecânica Experimental Guimarães**, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. pág 104 – 110. 2010.

CAVALCANTE, C. F. B.; DE MIRANDA, A. C. P.. **Estudo sobre alternativas para gestão dos resíduos de gesso oriundos da construção civil**. EPCC– Encontro Internacional de Produção Científica, Outubro, 2013.

CATAI, Rodrigo Eduardo; PENTEADO, André Padilha; DALBELLO, Paula Ferraretto. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 2006. p. 4205-4216.

CRUZ, T. T.. **Uso da avaliação do ciclo de vida para a determinação na redução de emissões de gases do efeito estufa e do consumo de energia associados a reciclagem de EPS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá. 2015.

DAJIAN, Zhu. Background, pattern and policy of China for developing circular economy. **Chinese Journal of Population Resources and Environment**, Shanghai, China, 20 May 2013 v. 6, n. 4, p. 3-8.

DA SILVA FILHO, C. R. V; SOLER, F. D.. **Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei**. Editora Trevisan, 2019.

DA SILVA RIBEIRO, Juliana; SERRA, Juan Carlos Valdés. Compósitos Obtidos de Resíduos de Papel e Reforçados com Pó de Serragem e de Gesso. **E&S Engineering and Science**, v. 2, n. 1, p. 87-95, 2014.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho; KULAKOWSKI, Marlova Piva; RIBEIRO, José Luis Duarte. Contribuições ao planejamento de experimentos em projetos de pesquisa de engenharia civil. **Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre. vol. 5, n. 2 (abr./jun. 2005), p. 37-50, 2005.

DE ANDRADE QUEIROZ, C.; DE MELO, A. B.. Characterization of the thermal properties of reconstituted stone with the quartzite extraction waste for use in the coating of building facades. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 1, 2019.

DEGIRMENCI, Nurhayat; OKUCU, Arzu; TURABI, Ayse. Application of phosphogypsum in soil stabilization. **Building and environment**, Turkey, 22 August 2007, v. 42, n. 9, p. 3393-3398.

DE MELO ROCHA, Bárbara Florraine; FIGUEIREDO, Filipe Bittencourt; ALTRAN, Daniele Araujo. Estudo das propriedades físicas, mecânicas e aplicação do concreto leve com a utilização de agregados de poliestireno expandido-EPS. In: **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332. 2016. p. 36-43.

DEMIRKIR, Cenk; COLAK, Semra; AYDIN, Ismail. Some technological properties of wood–styrofoam composite panels. **Journal Composites Part B: Engineering**, Turkey, 23 July 2013 v. 55, p. 513-517.

DE OLIVEIRA, Thaís Mayra; POLISSENI, Antônio Eduardo. Reciclagem do gesso: Potencial de aplicação. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 8, n. 1, p. 40-45, 2013.

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 685-698, 2015.

DUTRA, Mônica Lüppges. **Uso de resíduos de gesso in natura e calcinado na produção de placas decorativas**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

EPD, Environmental Protection Department. What is Construction Waste? Disponível em: <https://www.epd.gov.hk/epd/misc/cdm/introduction.htm>. Acesso em: 10 Novembro de 2019.

ERBS, Alexandre.; NAGALLI, André.; DE CARVALHO, Karina Querne.; MYMRIN, Vsévolod.; PASSIG, Fernando Hermes.; MAZER, Wellington. Properties of recycled gypsum from gypsum plasterboards and commercial gypsum throughout recycling cycles. **Journal of cleaner production**, v. 183, p. 1314-1322, 2018.

European Commission (DG ENV), 2011. **Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste - SR1**. Final Report Task 2. A Project under the Framework Contract, France, ENV.G.4/FRA/2008/011. Disponível em: [https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/2011\\_CDW\\_Report.pdf](https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/2011_CDW_Report.pdf). Acesso em: 15 outubro 2019.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M.. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, p. 23-40, 2010.

Farias, Izaura Pereira. Resíduos sólidos na construção civil: a realidade nos canteiros de obra, na cidade de Teresina, Piauí. Rio Claro, SP, 2010. 134f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Instituto de Geociência e Ciências Exatas.2010.

FERNANDES, F., COSTA, R., GOMES, L., FERREIRA, J., CASTILHOS, A., & SILVA, J. **Tratamento biológico de lixiviados de resíduos sólidos urbanos. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário**/Coodenador: CASTILHOS JR, AB Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. (2014).

FERNANDEZ, Cristina Maria Dacach et al. Abordagens, conceitos e propostas para a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na literatura científica. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, n. 2018-12, 2018.

GAN, Vincent JL; CHENG, Jack CP. Developing an agent-based decision support system for construction waste management. **Department of Civil and Environmental Engineering**, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong. January, 2013.

GAWANDE, Amit et al. Utilization of waste plastic in asphaltting of roads. **Scientific Reviews & Chemical Communications**, v. 2, n. 2, p. 147-157, 2012.

GEISSDOERFER, Martin; SAVAGET, Paulo, BOCKEN, Nancy M.P., HULTINK, Erik Jan. The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, United Kingdom, December 2016, v. 143, p. 757-768.

GERALDO, Rodrigo H. Et al. Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. **Journal of cleaner production**, v. 164, p. 288-300, 2017.

GROTE, Zilmara V.; SILVEIRA, José L. Análise energética e exergética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor). **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 3, n. 3, 2010.

HINCAPIE, Angela Maria; CINCOTTO, Maria Alba. Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, p. 7-16, 1997.

INAGAKI, Yasuhito; KIUCHI, Shigeo. Converting waste polystyrene into a polymer flocculant for wastewater treatment. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, Japan, 21 September 2001, v. 3, n. 1, p. 14-19.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007-Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC**. Cambridge University Press, 2007.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica aplicada. **Consumo aparente de bens industriais**. São Paulo, 2019. Disponível em: <[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=35562&catid=3&Itemid=3](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=35562&catid=3&Itemid=3)>. Acesso em: 06 out. 2019

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JIMÉNEZ-RIVERO, Ana; GARCÍA-NAVARRO, Justo. Best practices for the management of end-of-life gypsum in a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Spain, 11 May 2017, v. 167, p. 1335-1344.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000.113p. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos sólidos como material de construção**. In: CASSA, J. C. S. Reciclagem de Entulho para a produção de materiais de construção. Salvador: Caixa Econômica Federal, 2001. p. 26-44.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. Contribuição para reformulação da Resolução CONAMA, v. 307, 2003.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.. **Gesso de construção civil**. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

JOHN, V. Mr.; CINCOTTO, M. A.. **Gesso de construção civil. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, p. 727-760, 2010.

JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. USP, texto técnico, p. 1-9. Disponível em. Acesso em: 24 nov. 2010.

JOHN, V. M.. **Materiais de construção e o meio ambiente. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: IBRACON, p. 97-121, 2010.

RYBICKA, J., TIWARI, A., DEL CAMPO, P.A, & HOWARTH, J. (2015). Capturing composites manufacturing waste flows through process mapping. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 251-261, 2015.

KAMEL, Djebbar; SIHEM, Aliouche; HALIMA, Chenini; TAHAR, Sehili. Decolourization process of an azoique dye (Congo red) by photochemical methods in homogeneous medium. **Desalination**, Algeria, 20 February 2009, v. 250, p. 76-86.

*KARPINSKI L. A., PANDOLFO A., REINEHR R., KUREK J. PANDOLFO L. Y GUIMARÃES J. (2009),* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental**. Porto Alegre, Brasil: Edipucrs.

KOCHEM, Keila. **Potencialidades de logística reversa do resíduo de gesso da indústria da construção civil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

KOPNINA, Helen. Consumption, waste and (un) sustainable development: Reflections on the Dutch holiday of Queen's day. **Environment Systems and Decisions**, New York, 21 August 2014, v. 34, n. 2, p. 312-322.

KORKAC, R.F., MEININGER, R., Yost, P.A.. Beneficial reuse of aggregate mineral fines and scrap new construction wallboard. In: Power, J.F., Dick, W.A. (Eds.), **Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-products**. SSSA Book Series, 6. ed., USA: 2000, cap. 21, pp. 583–604.

LAPA, José Silva. Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

LEME, Marcio Montagnana Vicente, ROCHA, Mateus Henrique, LORA, Elexto Eduardo Silva, VENTURINI, Osvaldo José, LOPES, Bruno Marciano, FERREIRA, Cláudio Homero. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. **Journal Resources, Conservation and Recycling**, Brazil, 4 April 2014, v. 87, p. 8-20, 2014.

LIMA, Adriana Sampaio; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 169-176, 2013.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil**. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 2009.

MACARTHUR, Ellen et al. Towards the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, p. 23-44, 2013.

MAIA, Mariele Corrêa dos Reis. **Proposta de modelo de gestão consorciada de resíduos da construção civil (RCC) na Unidade de Gerenciamento do Rio São João-MG (MB 13)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. 2019.

MARANGON, Antônio dos Santos. Compósitos de PVA/Caulinita e PVA/Caulinita funcionalizada. **Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 90p**, 2008.

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011.

MARCONDES, F. C. S.. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil-estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MAZONI, E M.. **Caracterização física e mecânica de concreto leve com EPS reciclado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2019.

MEDEIROS, M. C. I.. **Gestão do conhecimento aplicada ao processo de projeto na construção civil: estudos de caso em construtoras**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, Diogo Cavalcanti Bezerra de. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósito de gesso, sisal e papel**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MEDEIROS, Mellyne Palmeira. **Desempenho térmico de blocos de vedação com uso de gesso e de resíduos poliméricos**. Dissertação de Estruturas e Materiais. Universidade Federal da Paraíba. 2016.

MEMON, Saima Q. BHANGER, M.I., KHUHAWAR, M.Y.. Sorption behavior of impregnated Styrofoam for the removal of Cd (II) ions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Pakistan, 10 February 2006 v. 279, n. 1-3, p. 142-148.

MENESES, U. T. B. D., ARANTES NETO, A. A., CARVALHO, E. D. A., MAGNANI, J. G. C., & AZEVEDO, P. O. D. D. (2006). **A cidade como bem cultural: áreas envoltórias e outros dilemas, equívocos e alcance da preservação do patrimônio ambiental urbano**. [Debate]. *Patrimônio: atualizando o debate*.

MESQUITA, A. S. G. Análise da Geração de resíduos da Construção Civil em Teresina, Piauí. **HOLOS**, ano 28, v.02. 2012.

MESQUITA, L. S. P., & PÓVOAS, Y. V. (2014). Influência de aditivo retardador de pega na pasta de gesso com resíduo de gesso calcinado. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 15.

- MIRANDA, C. A.. **Modelo para a gestão de resíduos de construção e demolição: uma solução para as empresas de construção civil (Ilha de São Miguel-Açores)**. 2009. Tese de Doutorado.
- NAGALLI, André. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. **Oficina de Textos**, 2016.
- NASCIMENTO, FJ de F.; PIMENTEL, L. L. **Reaproveitamento de resíduo de gesso**. Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas. 2010.
- NAUSTDALSLID, Jon. Circular economy in China—the environmental dimension of the harmonious society. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, Norway, 16 May 2014 v. 21, n. 4, p. 303-313.
- OCHARÁN, JL. S.; PACHECO, E. B. A. V.. **Análise swot da logística reversa de pós-consumo para a reciclagem do poliestireno expandido (isopor) no estado de Santa Catarina**. Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- OLIVEIRA, J.C. de. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis**. 2007. 167 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- OLIVEIRA, M. P.. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e Vermiculita: Otimização de misturas e propriedades termomecânicas**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2019, UFBA.
- OLIVEIRA, L.S. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica, PPMEC, Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2013.
- OROZOCO, Margarita María Dueñas; FREDERICO, Fábio Henrique. Estimativa da Quantidade de Resíduos de Construção Civil Gerados no Município de Ji-Paraná/Ro. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre/RS. 2015.
- ORTIZ, Oscar; PASQUALINO, Jorgelina C.; DIEZ, Gloria. The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective. **Resources, conservation and recycling**, v. 54, n. 11, p. 832-840, 2010.
- PES, Á. Liderazgos transformadores para alcanzar los ODS. **Revista Icade**. Revista de las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales, nº108, p. 01-09, Madrid: septiembre-diciembre 2019.
- PEREIRA, Emiliano dos Santos. **Construção Civil na UFAM: uma proposta para redução de resíduos**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- PINHEIRO, S. M. M. **Gesso Reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 97-125p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PINHEIRO, Sayonara MM; CAMARINI, Gladis. Characteristics of gypsum recycling in different cycles. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 7, n. 3, p. 215, 2015.

PINTO, Carolina del Pilar Carvalho. **Estudo do uso do compósito de gesso e fibra de sisal como isolamento térmico na construção civil**. Dissertação em Engenharia Civil. Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia. 2018.

PINTO, T. P. (Coord.) Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP, **São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP**, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**, Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189 p. 1999.

PUCCI, Ricardo Basile. **Logística de resíduos da construção civil atendendo à resolução CONAMA 307**. 2006, 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PLASTIVIDA. **Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos. Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plástico no Brasil**. 2013. Disponível em: [http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao\\_IRMP2011.pdf](http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP2011.pdf) Acesso em: 06 de out. 2019.

RAMADAN, Khaled Z.; AL-KHATEEB, Ghazi G.; TAAMNEH, Madhar M. Mechanical properties of styrofoam-modified asphalt binders. **International Journal of Pavement Research and Technology**, Jordan, 27 November 2020, v. 13, n. 2, p. 205-211.

RAMLII, Anita; BAKAR, A.; RATNASARI, D. Effect of calcination method on the catalytic degradation of polystyrene using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supported Sn and Cd catalysts. **Journal of Applied Sciences, Malaysia**, 2011, v. 11, p. 1346-1350, 2011.

RIBEIRO, Bárbara Maria Giacom; MENDES, Carlos André Bulhões. Situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios da sustentabilidade ambiental. **In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais**. 2016.

RODRIGUES, Sidnei Castilhos; PEIXOTO, José Antonio Assunção; DE SOUZA XAVIER, Leydervan. Formação de cadeia verde de suprimento a partir da gestão sustentável de resíduos industriais- Um exemplo no setor de reciclagem. **Sistemas & Gestão**, v. 8, n. 1, p. 44-57, 2013.

ROHDEN, Abrahão Bernardo; MECABÔ, Rodolfo Antônio. Placas para forro produzidas com compósito de gesso e EPS reciclados. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 17, n. 2, p. 60-73, 2016.

SAFIUDDIN, M., JUMAAT, M. Z., SALAM, M. A., ISLAM, M. S., & HASHIM, R. (2010). Utilization of solid wastes in construction materials. **International Journal of Physical Sciences**, 5(13), 1952-1963.

SAN-ANTONIO-GONZÁLEZ, A., MERINO, M. D. R., ARREBOLA, C. V., & VILLORIA-SÁEZ, P. Lightweight material made with gypsum and extruded polystyrene waste with enhanced thermal behaviour. **Construction and Building Materials**, 93, 57-63, 2015.

SAN-ANTONIO-GONZÁLEZ, A., MERINO, M. D. R., ARREBOLA, C. V., & VILLORIA-SÁEZ, P. Lightweight material made with gypsum and EPS waste with enhanced

mechanical strength. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 28, n. 2, p. 04015101, 2016.

SANTOS, Reginaldo Dias dos. **Estudo térmico e de materiais de um compósito à base de gesso e EPS para construção de casas populares**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SANTOS, A. L. **Environmental diagnosis of the management and destination of the the construction & demotition waste (CDW): analysis of the builders associatede to the SINDUSCON/RN and company's active collectors in the town and companies active**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Estratégia; Qualidade; Gestão Ambiental; Gestão da Produção e Operações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SANTOS, Natanaeyfle Randemberg Gomes dos. **Caracterização mecânica, térmica e acústica de um compósito que utiliza rejeitos de mármore, granito e EPS para a fabricação de blocos para a construção civil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2015.

SCHAFER, B.L., "Discussion Paper on the Fire Perfomance of Exterior Insulation and Finish Systems Using Different Thicknesses of Expanded Plystyrene", Exterior Insulation Finish Systems (EIFS): Materials, Properties, and Perfomance, ASTM STP 1269, Peter E. Nelson and Richard e. Kroll, EDs., **American society for Testing and Materials**, 1996.

DA SILVA RIBEIRO, Juliana; SERRA, Juan Carlos Valdés. Compósitos Obtidos de Resíduos de Papel e Reforçados com Pó de Serragem e de Gesso. **E&S Engineering and Science**, v. 2, n. 1, p. 87-95, 2014.

SILVA, Wilson Marques et al. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição e sua utilização como base, sub-base e mistura betuminosa em pavimento urbano em Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 15, p. 1-9, 2010.

SILVA, Deoclebson Pereira, da; DE SANTANA, Clóvis Veloso; RIBEIRO, Leila Cristina Nunes. Avaliação de Desempenho Mecânico de Parede com Blocos Fabricados com Gesso. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**. Vol.4 No.1, 2019.

SILVA, DEBORAH GRASIELLY CIPRIANO DA; SANTANA, CLÓVIS VELOSO DE; PÓVOAS, YEDA VIEIRA. Production of components with plaster residue and sodium citrate: physical, mechanical, rheological analysis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 33-43, abr./jun. 2019.

SCHMIDT, P. N. S. **A qualidade de placas de circuito impresso confeccionadas a partir de poliestireno reciclado**. Dissertação mestrado (engenharia mecânica) – Faculdade de engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá 2012.

SUN, Hong; ZHANG, Ze; SONG, Limin. Study on production of an auxiliary agent of coagulation using waste polystyrene foam and its application to remove phenol from coking plant effluent. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, China, 7 April 2010, v. 29, n. 4, p. 494-498.

TACHIZAWA, Takeshy; POZO, Hamilton; ABDOUNI, Naim. Proposta de Modelo de Central de Serviços Socioambientais Compartilhados/Proposal of the Model of Central of the Social and Environmental Sharing Services. **Revista FSA (Centro Universitário Santo Agostinho)**, v. 13, n. 3, p. 28-57, 2016.

TAVARES, Y. V. P.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; SCHMITZ, I. B. T. A.; JOHN, V. M. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 103-119, 2010.

TEN BRINK, Patrick; SCHWEITZER, Jean-Pierre; WATKINS, Emma; JANSSENS, Charlorre; DE SMET, Michiel; LESLIE, Heather; GALGANI, François. Circular economy measures to keep plastics and their value in the economy, avoid waste and reduce marine litter. **E- Journal Economics Discussion Papers**, Germany, 10 January 2018, nº 3.

TENÓRIO, Jamilly Souza et al. Gerenciamento dos resíduos do gesso da construção civil: uma análise sobre a cidade de MACEIÓ. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 4, n. 1, p. 137, 2017.

TESSARI J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.

TROVÃO, Ana Paula Milagres. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

WANG, C. et al. One-step synthesis of unique silica particles for the fabrication of bionic and stably superhydrophobic coatings on wood surface. **Advanced Powder Technology**, v. 25, n. 2, p. 530-535, mar. 2014.

WOLFF, Paulo Sérgio. **Resistência, densidade e desempenho termo-acústico do concreto com espuma de poliestireno expandido (EPS) aplicado às construções**. Dissertação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2008.

WYPYCH, George. **Handbook of polymers**. ChemTec Publishing, 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier, Toronto: 2016, cap 1, pp 01-03.

WU, Zezhou et al. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Journal Waste Management**, China, 6 May 2014, v. 34, n. 9, p. 1683-1692.

YEHEYIS, M.; HEWAGE, K.; ALAM, M.S.; ESKICIOGLU, C.; SADIQ, R.; An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 2012, v.15, n.1, p81-91.

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Gasparin, Paula Graziela

Obtenção e avaliação de compósito à base de resíduo de gesso e poliestireno expandido / Paula Graziela Gasparin; orientador(a), Reinaldo Aparecido Bariccatti; coorientador(a), Edna Possan, 2020.

84 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2020.

1. Resíduo de gesso. 2. Resíduo de poliestireno expandido. 3. Compósito. 4. Economia circular. I. Bariccatti, Reinaldo Aparecido. II. Possan, Edna. III. Título.