

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALINE STALDONI

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE GESSO RECICLADO
EM REVESTIMENTOS INTERNOS.

São Leopoldo
2022

ALINE STALDONI

Estudo de viabilidade técnica da utilização de gesso reciclado em revestimentos internos.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

São Leopoldo

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo o incentivo a apoio durante toda a graduação principalmente nesta etapa final e pela ajuda na preparação dos resíduos.

Ao meu namorado Victor Gabriel dos Santos Prado pela companhia, apoio e por entender algumas ausências.

Ao meu colega de laboratório Jeferson Alcantara Sentena pela companhia nos dias de preparação das amostras e realização dos ensaios e pela paciência por me explicar e ensinar diversos procedimentos.

Ao meu orientador pelas consultorias e indicações de qual o melhor caminho a seguir com a pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho André Machado Fonseca, Rodrigo Silveira da Silva e Luis Carlos Souza Monteiro pela ajuda na preparação dos resíduos.

RESUMO

O gesso é um material que devido as suas funcionalidades vem sendo utilizado cada vez mais nos canteiros de obras. Com isso, cresce também a quantidade de resíduos gerados desse tipo de material e a preocupação com um descarte ambientalmente correto. Com o objetivo de reduzir a quantidade de resíduos que são encaminhados à destinação final este trabalho busca desenvolver uma alternativa tecnicamente viável para a reciclagem de resíduos de gesso provenientes de obras de reformas e demolições. Foram coletados resíduos de gesso de origem diferente em duas obras. Após a coleta os resíduos passaram pelas etapas de remoção de impurezas, trituração manual, secagem, moagem e calcinação gerando os resíduos RGA (primeira obra), RGB e RGC (segunda obra). A calcinação foi feita a 150°C, 170°C e 190°C pelos tempos de 2hs e 4hs. Após essas etapas foram moldados os corpos de prova e realizados os ensaios de granulometria, tempo de pega, dureza superficial, resistência a tração na flexão (RT) e resistência a compressão (RC) onde foi analisada a influência do tempo, da temperatura, da granulometria e do tipo de resíduo estudado. Feitas as análises, os melhores resultados obtidos foram com o resíduo RGC calcinado a temperatura 150°C pelo tempo de duas horas. Foi possível perceber, de forma geral, que: O aumento no tempo de calcinação tende a melhorar as propriedades de resistência a tração e compressão e a diminuir a dureza superficial; As temperaturas estudadas afetaram de formas distintas os diferentes tipos de resíduos; A diferença granulométrica entre as amostras não causou influência significativa nos ensaios de RT e RC e que o resíduo RGB possui melhor desempenho que o resíduo RGA. Os resultados obtidos indicam que o gesso pode ser reciclado e reutilizado na construção civil, porém, mais estudos são indicados para que se atenda plenamente as exigências da norma.

Palavras-chave: gesso; resíduo de gesso; resíduo de construção e demolição; reciclagem de gesso; placas de gesso.

ABSTRACT

Gypsum is a material that due to its functionalities has been increasingly used in construction sites. As a result, the amount of waste generated from this type of material and the concern with environmentally correct disposal also grows. In order to reduce the amount of waste that is sent to the final destination, this work seeks to develop a technically viable alternative for the recycling of gypsum waste from renovation and demolition works. Gypsum residues of different origin were collected in two works. After collection, the waste went through the steps of removing impurities, manual crushing, drying, grinding and calcination, generating RGA (first work), RGB and RGC (second work) waste. The calcination was carried out at 150°C, 170°C and 190°C for 2hs and 4hs. After these steps, the specimens were molded and the granulometry, setting time, surface hardness, flexural tensile strength (RT) and compressive strength (RC) tests were carried out, where the influence of time, temperature, granulometry and the type of residue studied. After the analyses, the best results were obtained with the RGC residue calcined at 150°C for two hours. It was possible to perceive, in general, that: The increase in the calcination time tends to improve the properties of resistance to traction and compression and to decrease the surface hardness; The temperatures studied affected the different types of waste in different ways; The granulometric difference between the samples did not cause significant influence in the RT and RC tests and that the RGB residue has better performance than the RGA residue. The results obtained indicate that gypsum can be recycled and reused in civil construction, however, more studies are indicated to fully meet the requirements of the standard.

Keywords: gipsum; gypsum plaster waste; construction and demolition waste; gypsum plaster recycling; gypsum plasterboards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da produção da gipsita	16
Figura 2 – Fluxograma programa experimental.....	31
Figura 3 - Resíduo de gesso RGA	33
Figura 4 - Resíduo de gesso RGB/RGC	33
Figura 5 - Ferramentas utilizadas para preparar as amostras.....	34
Figura 6 - Etapa de remoção da camada de tinta	35
Figura 7 - Resíduo de gesso após trituração manual.....	36
Figura 8 - Esferas utilizadas no processo de moagem.....	37
Figura 9 - Resíduo de gesso aderido ao cilindro	38
Figura 10 - Resíduo RGA – Peneirado (a) Peneirado após agitação (b)	39
Figura 11 - Material durante o processo de calcinação.....	41
Figura 12 - Medição da profundidade de impressão.	43
Figura 13 - Ensaio de resistência a tração na flexão sendo realizado.	45
Figura 14 - Curva granulométrica RGA.	47
Figura 15 - Curva granulométrica RGB.	48
Figura 16 - Tempo de início e fim de pega em minutos	49
Figura 17 - Influencia da temperatura no tempo de pega RGA e RGB.	51
Figura 18 - Influência da temperatura no tempo de pega RGC.....	51
Figura 19 - Comparativo entre tempo de pega do RGB e RGC.	52
Figura 20 - Comparativo entre tempos de pega do RGA e RGB.....	53
Figura 21 - Corpos de prova prontos para a realização dos ensaios.	53
Figura 22 - Dureza superficial em N/mm ²	55
Figura 23 - Influência da temperatura na dureza superficial RGA e RGB.....	56
Figura 24 - Influência da temperatura na dureza superficial RGC.....	56
Figura 25 - Comparativo RGB e RGC DS em N/mm ²	57
Figura 26 - Comparativo RGA e RGB DS em N/mm ²	58
Figura 27 - Resistência a compressão em MPa.....	59
Figura 28 - Influencia da temperatura na resistência a compressão RGA e RGB.....	60
Figura 29 - Influencia da temperatura na resistência a compressão RGC.	61
Figura 30 - Comparativo resistência a compressão RGB e RGC.....	61
Figura 31 - Comparativo RGA e RGB RC em MPa.....	62
Figura 32 - Resistência a tração na flexão em MPa.....	63

Figura 33 - Influencia da temperatura na resistência a tração na flexão RGA e RGB.	64
Figura 34 - Influencia da temperatura na resistência a tração na flexão RGC	65
Figura 35 - Comparativo de resistência a tração na flexão RGB e RGC.....	65
Figura 36 - Comparativo RGA e RGB RT em MPa	66
Figura 37 - Comparativo RT e RC em MPa para o RGA.....	68
Figura 38 - Comparativo RT e RC em MPa para o RGB.....	68
Figura 39 - Comparativo RT e RC em MPa para o RGC	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos físicos do gesso para construção civil	19
Tabela 2 – Propriedades físicas do gesso comercial	20
Tabela 3 – Resultados dos ensaios realizados por GERALDO et al (2017)	26
Tabela 4 – Resultados dos ensaios realizados por FERNANDES (2016).....	27
Tabela 5 – Resultados dos ensaios realizados por SOUZA (2018)	28
Tabela 6 – Resultados dos ensaios realizados por ERBS (2016).....	29
Tabela 7 – Resultado dos ensaios realizados por CAMARINI (2017).....	30
Tabela 8 - Nomenclatura das amostras	40
Tabela 9 - Perdas de massa durante o processo de calcinação	46
Tabela 10 - Tempo de pega das amostras.....	48
Tabela 11 - Dureza superficial.....	54
Tabela 12 - Resistência a compressão	59
Tabela 13 - Resistência a tração na flexão	63
Tabela 14 - Análise geral dos resultados	66

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CaO	Óxido de cálcio
CaSO ₄ .1/2H ₂ O	Sulfato de cálcio hemi-hidratado
CaSO ₄ .2H ₂ O	Sulfato de cálcio di-hidratado
CCDM	Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais
CDRA	Construction and Demolition Recycling Association
cm	Centímetros
DNPM	Departamento Nacional de produção Mineral
DS	Dureza superficial em N/mm ²
GC	Gesso comercial
hs	Horas
H ₂ O	Molécula de água
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
Kg	Kilo
KOH	Hidróxido de potássio
m	metro
mm	milímetro
MME	Ministério de Minas e Energia
MPa	Mega Pascal
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
RC	Resistência a compressão em MPa
RCC	Resíduo de Construção civil
RGA	Resíduo de gesso A
RGB	Resíduo de gesso B
RGC	Resíduo de gesso C
RT	Resistência a tração na flexão em MPa
s	Segundos
%	Porcentagem
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema	12
1.2 Delimitação do tema.....	12
1.3 Problema	12
1.4 Objetivos	12
1.4.1 Objetivo geral	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
1.5 Justificativa	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Extração da gipsita no Brasil	15
2.2 Fabricação do gesso	17
2.3 Propriedades do gesso	18
2.4 Aplicações e uso de gesso	20
2.5 Reciclagem do gesso	21
2.5.1 Quantidade de resíduo de gesso gerado no Brasil	22
2.6 Reciclagem do gesso e suas propriedades	23
3 METODOLOGIA	31
3.1 Materiais Utilizados	32
3.1.1 Gesso comercial.....	32
3.1.2 Resíduos de gesso.....	32
3.1.3 Água	34
3.2 Preparação das amostras	34
3.3.1 Trituração manual	35
3.3.2 Secagem	36
3.3.3 Trituração mecanizada.....	36
3.3.4 Calcinação.....	39
3.4 Caracterização do gesso reciclado	41
3.4.1 Granulometria a laser	41
3.4.2 Tempos de pega	42
3.4.3 Dureza Superficial	42
3.4.4 Resistência a compressão	44
3.4.5 Resistência a tração na flexão	44

4. RESULTADOS.....	45
4.1 Calcinação	45
4.2 Granulometria a laser.....	47
4.3 Tempo de pega	48
4.4 Dureza superficial	54
4.5 Resistência a compressão	58
4.6 Resistência a tração na flexão	62
4.7 Análise geral	66
5. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma área em constante desenvolvimento e crescimento e a cada dia surge a necessidade de novas construções para atender a demanda da nossa sociedade seja no âmbito industrial, residencial ou comercial. E para que seja possível tal desenvolvimento uma grande quantidade de insumos naturais é utilizada. Segundo o professor Vahan Agopyan da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em entrevista ao Globo Ciência (2013), a construção civil gera um consumo de 40% a 70% de toda a matéria prima produzida no planeta. Se levarmos em consideração que o planeta é uma fonte finita de matéria prima e se seguirmos nesse ritmo de consumo, dentro de alguns anos não haverá mais fontes de onde poderemos obter esses recursos naturais.

Levando em conta esses aspectos é necessário repensar nossos métodos de construção e com isso surge a necessidade de desenvolver técnicas para que ocorra um melhor aproveitamento da matéria prima evitando assim o desperdício e que seja feito um reaproveitamento dos resíduos gerados. Ainda segundo o professor Vahan Agopyan (2013), são gerados cerca de 500kg de entulho para cada ser humano, totalizando 3,5 milhões de toneladas por ano tornando a construção civil a indústria mais poluente do planeta.

Como se pode observar, principalmente nas obras de reformas e demolições, para que se tenha um andamento mais rápido dos serviços os resíduos são gerados sem qualquer forma de controle não havendo um devido cuidado para que não ocorra a mistura de diferentes tipos de materiais. Isso pode fazer com que seja inviável a reciclagem ou reutilização dos mesmos pois matérias como o gesso, por exemplo, não devem ser misturados com resíduos de argamassa a fim de evitar a contaminação que pode prejudicar as propriedades físicas do gesso. Além disso, essa falta de triagem faz com que não se saiba o quanto de cada tipo de resíduo está sendo gerado na obra.

1.1 Tema

Este trabalho visa estudar a possibilidade de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) para posterior utilização na obra onde o resíduo foi gerado.

1.2 Delimitação do tema

Uso de resíduo de gesso reciclado proveniente de desmanches de forro de gesso realizados em obra para aplicação em revestimentos internos.

1.3 Problema

Com o propósito de resolver um problema observado em obras, mais especificamente na obra de reforma de um prédio público comercial localizado na cidade de Porto Alegre/RS, esta pesquisa busca encontrar uma alternativa de uso que seja ecologicamente e tecnicamente viável a grande quantidade de resíduo de gesso (placas de forro) gerado pelas demolições realizadas no interior do prédio durante o decorrer dos serviços.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade técnica da utilização de gesso reciclado proveniente da construção civil, para o uso em pastas de revestimento interno de alvenarias através da avaliação de diferentes fatores que podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas do material em estudo.

1.4.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral os objetivos específicos deste trabalho concentram-se em:

- a) Analisar a influência de diferentes tempos de calcinação nas propriedades do gesso endurecido.

- b) Analisar a influência de diferentes temperaturas de calcinação nas propriedades do gesso endurecido.
- c) Analisar a influência da granulometria nas propriedades do gesso endurecido.
- d) Testar diferentes resíduos e comparar suas propriedades.

1.5 Justificativa

Com o objetivo de minimizar o descarte incorreto de resíduos, sejam eles domésticos ou industriais, promover e correta destinação dos mesmos e desenvolver novas tecnologias para o seu posterior reaproveitamento, a reciclagem é um assunto que precisa ser estudado. Em 2001 mais de 80% dos municípios brasileiros depositavam seus resíduos em espaços a céu aberto, próximos de rios ou em áreas de proteção ambiental trazendo com si, além do problema ambiental, problemas de cunho social que a má gestão do lixo acarreta como, por exemplo, a presença de catadores estando entre eles crianças (MONTEIRO et al., 2001). Como exemplo de problemas ambientais causados pela deposição inadequada dos RCC podemos citar o assoreamento de rios e córregos, o entupimento do sistema de drenagem urbana, que pode vir a causar enchentes, e o comprometimento da paisagem local (CABRAL, MOREIRA, 2011).

Além dos resíduos domésticos há também os resíduos industriais que trazem sérias conseqüências ambientais e de saúde para a população. No Brasil, as prefeituras municipais não têm responsabilidade sobre esse tipo de atividade e prevalece o princípio do “poluidor-pagador”. O estado interfere apenas através de seus órgãos de controle ambiental exigindo que seja feito, por parte dos geradores de resíduos perigosos (Classe I e II), o correto manuseio, estocagem, transporte e destinação final adequada. Porém, apenas uma pequena parte recebe esse destino (MONTEIRO et al., 2001). De acordo com o artigo 3º, inciso IV, da Lei 6.938/81, “IV – poluidor, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental”.

A reciclagem de materiais de construção em geral ainda é pouca no Brasil quando comparada a países de primeiro mundo, a exceção seria a forte reciclagem

feita pelas indústrias de cimento e aço em seus fornos (ÂNGELO; ZORDAN; JOHN, 2010). Além disso, a indústria brasileira na construção civil muitas vezes aplica tecnologias na execução de obras novas que favorecem o desperdício. No Brasil, o índice de resíduos gerados numa nova construção é em torno de 300kg/m² de área construída, já em países desenvolvidos esse índice não passa de 100kg/m² (MONTEIRO et al., 2001). De acordo com ÂNGELO; ZORDAN; JOHN (2010) a reciclagem dos RCC vem se tornando uma importante aliada seja para atenuar o impacto ambiental ou reduzir os custos da obra. Para que um material reciclado possa ser utilizado é necessário um criterioso estudo para garantir o sucesso desse produto, pois a reciclagem também pode gerar impactos ambientais tornando-o ainda mais impactante que o produto original. Porém, devemos ficar atentos, pois, o processo de reciclagem de um resíduo contaminado com outros materiais produzirá um insumo de qualidade inferior, por isso é importante que seja feita uma atenta separação dos diferentes tipos de resíduos para que possamos criar reciclados de boa qualidade (CABRAL; MOREIRA, 2011).

ÂNGELO; ZORDAN; JOHN (2010) criaram uma metodologia multidisciplinar de pesquisa e desenvolvimento pela qual um novo produto ou material confeccionado a partir de resíduos deve passar para que se estabeleça como uma alternativa ambientalmente segura ao mercado. Essa metodologia consiste nas seguintes etapas: Identificação e quantificação dos resíduos disponíveis, com a coleta de dados sobre quantidade nacional gerada, locais de produção e periculosidade analisando assim qual sua posição dentro do cenário econômico, social e político; Caracterização do resíduo, análise das características físico-químicas e das propriedades através de ensaios de laboratório; Custos do resíduo, análise dos custos de licenças ambientais, transporte, armazenamento e outros devem ser considerados para a viabilidade econômica da reciclagem do resíduo; Seleção das aplicações e serem desenvolvidas, viabilidade técnica; Avaliação do produto quanto ao seu desempenho e durabilidade; Análise de desempenho ambiental e por último desenvolvimento do produto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O gesso é um material classificado como aglomerante aéreo e é obtido através de processos de extração e tratamento da gipsita, nome popular do mineral sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que através do aquecimento a temperaturas próximas de 160°C sofre uma desidratação parcial perdendo até 25% de sua água combinada e dá origem ao hemidratado que conhecemos como gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) (CDRA, 2001, MME 2009). Tais processos constituem basicamente em britagem, desidratação ou calcinação, trituração e peneiramento (SOUZA, 2013). A gipsita, que dá origem ao gesso, é um mineral encontrado na natureza composto por sulfato de cálcio (CaSO_4) e água (H_2O) (CDRA, 2021).

Os termos “gipsita” e “gesso” muitas vezes na lida popular são utilizados como sinônimos, porém, gipsita é mais adequado quando queremos nos referir ao mineral em estado natural. Já o termo gesso é mais condizente de ser utilizado quando queremos nos referir ao material já em estado calcinado (DNPM, 2001).

2.1 Extração da gipsita no Brasil

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2001) o minério de gipsita se originou entre a era paleozóica e cenozóica através da formação de bacias sedimentares oriundas da evaporação de sua fase líquida formando camadas e bolsões intercalados com sedimentos.

No Brasil podemos encontrar os principais depósitos de gipsita em bacias sedimentares localizadas na região norte e nordeste, como por exemplo, a Bacia Amazônica localizada nos estados de Amazonas e Pará, Bacia do Meio Norte ou Parnaíba (Maranhão e Tocantins), Bacia Potiguar do Rio Grande do Norte, Bacia do Recôncavo na Bahia e Bacia Sedimentar do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco) sendo esta última a mais importante economicamente constituindo o “Polo Gesseiro do Araripe” (DNPM, 2001).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2001) a reserva brasileira de gipsita possui cerca de 1.668.570.905 toneladas tendo predominância no estado da Bahia (43%), seguida do Pará (35%), Pernambuco (18%), Maranhão (2,7%), Tocantins (0,6%), Ceará (0,3%), Piauí (0,2%) e por fim o estado do Amazonas com 0,1%. De acordo com SINDUSGESSO (2012, apud

FERNANDES, 2016, p. 37) Pernambuco concentra 94% da produção nacional, cerca de 1,3 milhões de toneladas/ano sendo 61% dessa quantidade utilizada para a fabricação de blocos e placas, 35% para uso em revestimentos e 4% para demais usos. De acordo com o Ministério de Minas e Energia – MME (2009) a produção brasileira de gipsita já atingiu valores na casa de dois milhões de toneladas por ano e acredita-se que até 2030 esse valor seja duplicado. Porém, é necessário que sejam feitos investimentos para expandir a produção sendo tais investimentos estimados em R\$:561 milhões até 2030.

O processo de extração da gipsita consiste em diversas etapas que podem ser observadas no fluxograma a seguir:

Figura 1 – Fluxograma da produção da gipsita



Fonte: MME,2009

Além da produção para o uso nacional, o Brasil também é um exportador de gipsita tendo como maiores compradores países próximos como Argentina, Paraguai, Venezuela, Uruguai, Equador entre outros (DNPM, 2001).

2.2 Fabricação do gesso

O processo de obtenção do gesso passa por diversas etapas até a entrega do produto final. Tem início na extração e preparação do minério de gipsita seguida da calcinação, moagem, encilhamento e acondicionamento (PINHEIRO, 2011).

De acordo com BALTAR et al (2004) o processo de obtenção do gesso através do beneficiamento da gipsita é dividido em diversas operações, começando pela catação manual da gipsita. O material selecionado é britado e rebritado, caso necessário, e seguido ou não de peneiramento. A etapa seguinte consiste na calcinação do material que em seguida é armazenado em silos para estabilização térmica. Após estabilizado o gesso passa pelo processo de moagem para se adequar as especificações do mercado e é ensacado para distribuição.

Segundo PINHEIRO (2011) depois de extraídos, os blocos de gipsita são fragmentados e encaminhados para a britagem, normalmente feita por britadores de mandíbula na própria mina, onde seu tamanho é reduzido mais ainda para que possa ser transportado até as usinas. Chegando nas usinas o material após homogeneização sofre um novo processo de britagem para gerar fragmentos com diâmetro inferior a 100mm os quais são encaminhados para o processo de moagem que irá gerar grãos de tamanho adequado a calcinação.

A calcinação é o processo pelo qual, através do aquecimento da gipsita em fornos, ocorre a desidratação do minério podendo ter diferentes características dependendo dos processos e equipamentos disponíveis (PINHEIRO, 2011).

A fabricação do gesso ocorre através da calcinação da gipsita em fornos que podem variar em forma e tamanho. “Basicamente existem quatro tipos: panela, marmita, rotativo tubular e marmitas rotativas.” (DNPM, 2001). É importante que o material britado apresente uma granulometria uniforme, caso contrário a gipsita não terá uma desidratação por igual (BALTAR et al, 2004). O armazenamento em silos promove uma estabilidade e homogeneização dos constituintes do gesso (hemi-hidratados e anidritas) gerando um gesso de maior qualidade (PINHEIRO, 2011).

Segundo o DNPM (2001) a calcinação da gipsita pode ser realizada basicamente de duas maneiras, a primeira consiste na calcinação a pressão atmosférica no qual é obtido o gesso beta e a segunda maneira é a calcinação feita em equipamento fechado com pressão mais elevada que a atmosférica, pode ocorrer

injeção de vapor ou desidratação em meio aquoso, gerando assim um gesso mais nobre, com alto controle da qualidade e de valor elevado denominado gesso alfa.

Segundo PINHEIRO (2011) a calcinação da gipsita por via úmida se dá em fornos sob pressão do vapor de água conhecidos como autoclaves gerando o gesso tipo alfa, que é utilizado em moldes de precisão e em serviços odontológicos. Outra forma de realizar a calcinação é por via seca na qual os fornos estão sob pressão atmosférica, desse processo resulta o gesso tipo beta utilizado na construção civil.

Após a etapa de calcinação o gesso passa por um processo de moagem fina e peneiramento que pode ser denominado pulverização, esse processo tem o objetivo de deixar o gesso na granulometria adequada e de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 13207 (SOUZA, 2013). O material final obtido através das etapas de processamento deve ser acondicionado em embalagens estanques como sacos de papel Kraft multifoliados ou sacos plásticos para que fique protegido da umidade do ar (PINHEIRO, 2011).

Os diferentes tipos de gesso podem ser obtidos em função da temperatura utilizada no momento da calcinação, pois essa variação proporciona diferentes características ao gesso beta diretamente relacionadas com a sua utilização, podendo ser formados, por exemplo, o gesso de fundição (gesso rápido) ou o gesso de revestimento (gesso lento) (DNPM, 2001).

De acordo com DNPM (2001) “[...] existem ainda o gesso cerâmico, que é uma variedade mais nobre do gesso de fundição, e o gesso *filler*, que corresponde à fração de finos que se recupera dos vapores que são lançados na atmosfera, durante a etapa de calcinação.”

De acordo com SOUZA (2013) o gesso de construção pode ser encontrado, de forma geral, em quatro diferentes tipos divididos em dois grupos, sendo eles gesso fino (para revestimento ou fundição) e gesso grosso (para revestimento ou fundição).

2.3 Propriedades do gesso

Conforme JOHN; CINCOTTO (2003, p. 3) a composição das placas de gesso acartonado é composta por vários elementos “A parcela predominante é de gesso natural hidratado (gipsita), papel (referencias mencionam entre 4 a 12%), fibras de vidro, vermiculita, argilas (até 8 %), amido, potassa (KOH) [...]”

Referente às propriedades do gesso a ABNT NBR 13.207:2017 determina quais os requisitos que o gesso deve ter para a sua utilização na construção civil no que se refere a fabricação de elementos e componentes e ao revestimento de superfícies. Nas propriedades físicas e mecânicas a norma determina que a massa unitária mínima deve ser de 600g/cm^3 , a dureza deve ser igual ou superior a 20 N/mm^2 e a aderência mínima deve ser de $0,2\text{ MPa}$.

O tempo de pega deve obedecer ao estabelecido pela norma conforme a seguinte tabela:

Tabela 1 – Requisitos físicos do gesso para construção civil

Ensaio	Tempo de pega min	
	Início	Fim
Gesso para fundição	≤ 10	≤ 20
Gesso para revestimento (sem aditivos)	≥ 10	≥ 35
Gesso para revestimento (com aditivos)	≥ 4	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 13.207 (2017)

Quanto a análise da granulometria via seca de acordo com a ABNT NBR 13.207:2017, o gesso para fundição deve ter uma granulometria mínima de pelo menos 90% passante pela peneira de abertura $0,29\text{mm}$ e o gesso para revestimento deve ter um mínimo de 90% de seus grãos passantes pela peneira de abertura $0,21\text{mm}$.

No que diz respeito aos requisitos químicos o gesso sem aditivos para a construção civil deve possuir uma porcentagem máxima de 1,3% de água livre, água de cristalização variando de 4,2 a 6,2%, um teor mínimo de 38% de óxido de cálcio (CaO) e mais de 53% de anidrido sulfúrico (SO₃).

CAMARINI (2017) realizou ensaios em laboratório para determinar as propriedades do gesso comercial (GC) que utilizaria em sua pesquisa e os resultados constam na tabela a seguir.

Tabela 2 – Propriedades físicas do gesso comercial

Propriedade	UC	Norma
Massa específica - ρ (kg/m ³)	2,566	ABNT NBR NM 23:2000 ⁽²⁴⁾
Massa unitária - M_u (kg/m ³)	613,69	ABNT NBR 12127:1991 ⁽²⁶⁾
Superfície específica - S (m ² /kg)	806,028	ABNT NBR NM 76:1998 ⁽²⁵⁾
Módulo de Finura - MF	0,14	ABNT NBR 12127:1991 ⁽²⁶⁾
Diâmetro máximo característico - ϕ_{max} (mm)	0,212	ABNT NBR 7211:2009 ⁽²⁷⁾

Fonte: CAMARINI, 2017

2.4 Aplicações e uso de gesso

O gesso é um material que tem sido cada vez mais utilizado devido as suas propriedades, como por exemplo, o peso relativamente baixo, o endurecimento rápido e a facilidade em deixar sua superfície lisa (SEBANELLA, 2014).

O gesso, de forma geral, é um material bastante utilizado por diversos setores dentre eles a indústria, a agricultura e a construção civil. Na indústria grande parte da gipsita é utilizada para a fabricação do cimento. Ela é aplicada junto ao clínquer em proporções que variam de 3% a 5% em peso com o objetivo de retardar o tempo de pega do cimento (MME, 2009). De acordo com DNPM (2001, p. 1) “Na indústria, de um modo geral, a gipsita é utilizada como carga para papel, na fabricação de tintas, discos, pólvora, botões de fósforos, no acabamento de tecidos de algodão, e como distribuidor e carga de inseticidas”. Assim como também pode ser utilizada para obter produtos como o ácido sulfúrico, enxofre, cloreto e carbonato de cálcio. Além disso, por possuir certa resistência ao fogo o gesso também é utilizado na confecção de portas corta fogo, para vedar lâmpadas em minas de carvão e quando associado ao amianto, como isolante para cobertura de tubulações e caldeiras (DNPM, 2001).

No setor agrícola a gipsita é utilizada na forma de pó como nutriente, como condicionador de solos corrigindo o sódio em excesso nos argilominerais e como corretor de acidez superficial em solos com alto teor de alumínio que acaba por prejudicar o sistema radicular das plantas (MME, 2009). Segundo o DNPM (2001) a gipsita é também amplamente utilizada na agricultura como corretivo de solos alcalinos reagindo com o carbonato de sódio e dando origem a substâncias como o carbonato do cálcio e o sulfato de sódio. Também serve para corrigir solos deficientes em enxofre.

O maior mercado da gipsita é encontrado após ela passar pelo processo de calcinação e transformar-se em um hemidratado o qual conhecemos como gesso,

podendo ser utilizado na construção civil para confeccionar forros, blocos, paredes (placas drywall) e revestimento de alvenarias. Na indústria, pode ser utilizado como moldes de ortopedia e odontologia, ou ainda, como isolante térmico e acústico quando combinado com outros materiais (MME, 2009).

Cerca de 80% da gipsita minerada é utilizada para produtos manufaturados, como por exemplo, as placas drywall sendo estas compostas de aproximadamente 90% gesso e 10% papel (CDRA, 2021).

Entre os usos do gesso está a produção de placas e molduras, para isso deve ser utilizado o gesso de fundição que possui um tempo de início de pega menor do que o gesso de revestimento. O gesso de revestimento é indicado para esta finalidade (revestimento) por possuir um tempo de início de pega mais lento permitindo maior trabalhabilidade na massa (FERNANDES, 2016).

2.5 Reciclagem do gesso

De acordo com SEBANELA (2014), as opções para reduzir o impacto ambiental causado pelos resíduos de gesso devem estar centradas em três aspectos, sendo eles a redução dos resíduos gerados, a reciclagem para reinserção nos processos produtivos e a reutilização dos mesmos. Essas ações quando combinadas reduzem a extração do minério de gipsita e diminuem a quantidade de resíduo descartado em local impróprio

Considerando que as placas de gesso para paredes drywall são compostas de aproximadamente 90% de gesso é possível afirmar que grande parte desse material pode ser reciclado se forem separadas as partes (CDRA, 2021).

De acordo com GERALDO et al (2017), a idéia principal de reciclar o gesso do mesmo modo que o material é preparado, sem moagens adicionais ou outras mudanças, é importante para que pequenos recicladores com poucos recursos disponíveis possam fazer tal processo além de existir uma preocupação em evitar um gasto a mais de energia com outro processo de moagem. Além disso, a prática da reciclagem evita a contaminação da água e do solo e economiza recursos naturais reduzindo assim os impactos ambientais negativos causados pela utilização do gesso (GERALDO et al, 2017).

A necessidade de reciclar o gesso não é um problema exclusivamente brasileiro. Segundo a CDRA (2021), apesar das vastas utilizações do gesso reciclado

a maioria das placas drywall da America do Norte ainda é depositada em aterros sanitários. Dentre os desafios que impedem a reciclagem podem ser citados a falta de coleta adequada, a não separação dos materiais, as baixas taxas cobradas pelos aterros para disposição dos resíduos e a necessidade de uma reeducação ambiental da população.

Segundo a CDRA (2021), quando o gesso é depositado em aterros sanitários ocorrem reações químicas e biológicas que podem gerar impactos ambientais negativos. Em contato com a água, o sulfato encontrado no gesso se dissolve e pode contaminar o solo e as águas subterrâneas. Além disso, outro problema biológico que pode ocorrer é a transformação para o sulfeto de hidrogênio (H₂S), um gás com cheiro semelhante a ovo podre. Por causa desse odor, em algumas áreas de Vancouver (Canadá) o gesso foi banido de aterros sanitários.

A empresa Sebanella, com sede em Canoas/RS, atua desde 2012 na reciclagem dos resíduos de gesso oferecendo serviços de coleta, processamento dos resíduos (moagem) e encaminhamento para o reaproveitamento. Atende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Conforme dados fornecidos pela empresa no período de 2012 a 2020 foram produzidas por eles 101.581 toneladas de gesso moído refinado, o que equivale a 180.186 metros cúbicos de resíduos de gesso removidos do meio ambiente.

A incineração do gesso é um processo que não se mostra viável, pois pode ocorrer a liberação de um gás tóxico, o dióxido de enxofre (SEBANELLA, 2014).

2.5.1 Quantidade de resíduo de gesso gerado no Brasil

O gesso é um material que possui um elevado grau de desperdício devido as suas propriedades físicas e mecânicas como, por exemplo, o endurecimento rápido e sua baixa resistência mecânica. Isso gera muitos resíduos nas obras tanto de demolição quanto de construção sendo muitos desses resíduos e/ou desperdícios gerados por técnicas inadequadas na hora realizar os serviços em obra (FERNANDES, 2016). Durante a execução dos processos construtivos há perdas consideráveis devido aos cortes necessários para que as peças se adéquem a obra, a indústria brasileira estima que a perda é de 5% (JOHN; CINCOTTO, 2003)

De acordo com JOHN et al. (2004), é estimado que o setor da construção civil produza mais de 60 mil toneladas de resíduo de gesso na região metropolitana de são

Paulo e 88% desse resíduo é devido as perdas na aplicação da pasta de gesso como revestimento sobre alvenarias, sendo o restante desse montante composto por placas de gesso (8%) e componentes pré fabricados (4%).

Além dos resíduos gerados em obra há também os resíduos provenientes de fábricas que trabalham com produtos de gesso além das que fabricam o gesso em si, como por exemplo, fábricas de placas para forro e fábricas de placas drywall. Há também os resíduos gerados por eventuais danos no transporte ou armazenamento e erros durante o processo produtivo (FERNANDES, 2016). É estimado pelos fabricantes de gesso em pó uma perda de 30% da massa de gesso em desperdícios (JOHN; CINCOTTO, 2003)

Segundo MARQUES NETO (2003, apud IPEA, 2012, p. 31), em uma análise detalhada do resíduo de construção civil gerado na cidade de São Carlos (São Paulo) pode-se observar que 1% do seu total é formado por resíduos de gesso.

De acordo com estudo feito por FERNANDES (2016) que analisou o processo produtivo de elementos pré-fabricados, como placas de forro e molduras, em fábricas da grande Florianópolis existe uma perda estimada pelos fabricantes de 5% de gesso no processo de fabricação desses elementos. Tal perda ocorre por se tratar de um processo mais artesanal que acaba gerando resíduos próprios do processo além dos resíduos que sobram os baldes onde é preparada a pasta de gesso.

2.6 Reciclagem do gesso e suas propriedades

O processo de reciclagem do gesso consiste basicamente nos processos de moagem e calcinação. A etapa de moagem é realizada em um triturador no qual o resíduo de gesso é passado até que atinja a granulometria adequada para ser considerado gesso fino. Quando encaminhado para calcinação o gesso é distribuído em bandejas numa camada com cerca de 1cm de espessura e passa pelo processo de secagem em temperaturas que podem variar de 50°C a 350°C. Após calcinado é resfriado, homogeneizado e embalado (SEBANELLA, 2014).

É através da calcinação que o gesso se transforma em gesso reciclado ou gesso sustentável, pois é esta etapa a principal responsável por dar ao gesso as características necessárias para que retorne ao início dos processos produtivos minimizando assim o uso de um recurso natural não renovável (SEBANELLA, 2014).

A calcinação basicamente consiste no processo de desidratação do minério onde o gesso passa de sua forma di-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para sua forma hemi-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) fazendo assim a reversibilidade do processo (VASQUES et al, 2019).

“[...] a obtenção do gesso do tipo β ocorre em função da reação de transformação do sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$)” PINHEIRO (2011). Conforme pode ser observado na revisão bibliográfica a temperatura de calcinação afeta as propriedades da pasta de gesso reciclado e do gesso reciclado no estado endurecido.

A calcinação em diferentes tempos e temperaturas já foi estudada por alguns autores, FERNANDES (2016) testou três diferentes temperaturas em sua pesquisa (140, 170 e 200° C) e as relacionou com três diferentes tempos de calcinação (1, 2 e 4hs) tendo seus melhores resultados obtidos na temperatura de 200°C pelo tempo de 2 e 4hs. Já PINHEIRO (2011) analisou as temperaturas de 120, 150 e 200°C por períodos que variavam de 1 a 24hs. ERBS (2016) manteve a temperatura de 180 °C pelo período de 24 horas. De acordo com a pesquisa realizada por VASQUES et al (2019) o tempo de calcinação deve ser o suficiente para que a amostra perca 75% de sua água de cristalização convergindo totalmente a sua forma hemi-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), o que no caso representou uma perda de 15,7% de sua massa. Foram testadas as temperaturas de 125, 150 e 175°C e o melhor resultado em eficiência energética foi a temperatura de 150°C pelo tempo de 2 horas (VASQUES et al, 2019). GERALDO et al (2017) também utilizou a temperatura de 150°C pelo período de 1h. LI et al (2021) analisou temperaturas específicas que variavam de 130 a 200°C pelo tempo fixo de 3 horas, seu melhor resultado foi obtido na temperatura de 165°C.

O local onde serão armazenados os resíduos de gesso deve ser protegido para evitar que o material tenha contato com a água além de possuir licença da prefeitura municipal para receber tais resíduos (SOUZA, 2013).

De acordo com CAMARINI (2017) o processo de reciclagem do gesso para sua utilização na forma di-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é simples e se restringe a moagem do material.

VASQUES et al. (2019), desenvolveu um estudo para analisar as propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil. Foram utilizados resíduos de gesso liso para forro (RGL) e resíduos de gesso drywall do tipo

standard (RGD) assim como foi utilizado gesso comercial para fundição (GC) como valor de referência para as análises. Foram removidas as impurezas dos resíduos e os mesmos foram triturados. A etapa seguinte constituiu na secagem das amostras a uma temperatura de 40°C. Foi determinado que o tempo do processo de calcinação para o material seria de 2 horas a 150°C.

De acordo com análises feitas por VASQUES et al, (2019), pode-se observar que referente à análise granulométrica do pó de gesso suas amostras apresentaram em mais de 90% da sua composição grãos com diâmetro menor que 0,150 mm. Quanto à massa unitária os valores obtidos foram de $636,0 \pm 4,2 \text{ kg/m}^3$ para o gesso comercial, $465,7 \pm 10,0 \text{ kg/m}^3$ para o RGL e $500,0 \pm 3,5 \text{ kg/m}^3$ para o RGD. No ensaio de tempo de pega realizado para as amostras de gesso reciclado RGLcal e RGDcal foi observado um tempo de início de pega de 12 e 7 minutos respectivamente e um tempo de fim de pega de 19 para o RGLcal e de 11 minutos para o RGDcal. Na análise da dureza superficial, aos 28 dias a amostra de RGL atingiu o valor de $(18,2 \pm 2,8 \text{ MPa})$ e a amostra de RGD valores próximos a 15MPa. No ensaio de resistência a compressão enquanto que o GC atingiu valores entre 15 e 16MPa, as amostras de RGL ($8,7 \pm 0,6 \text{ MPa}$) e RGD ficaram com valores próximos aos 8MPa. Por fim, foi realizado o ensaio de resistência a tração na flexão no qual foi encontrado de resistência entre 5 e 6MPa para o GC, próximo a 4MPa para o RGL e entre 3 e 4MPa para o RGD. Os resultados da pesquisa de VASQUES et al, (2019) sugerem que ambos os resíduos de gesso podem ser reutilizados na construção civil.

GERALDO et al (2017), desenvolveu um estudo com o objetivo de analisar as propriedades químicas e mecânicas, além dos tempos de pega, do gesso reciclado após 1 (RGP-1), 3 (RGP-2) e 5 (RGP-3) ciclos de reciclagem, determinando assim a “reciclabilidade do gesso”. O processo constituiu na coleta, secagem e moagem até que 80% das partículas fossem passante pela peneira 0.297mm. As amostras foram calcinadas a 150°C pelo período de uma hora.

De acordo com estudo feito por GERALDO et al (2017), pode-se observar que a densidade aparente foi consideravelmente menor nas amostras de gesso reciclado, tendo o CGP atingido o valor de 746 Kg/m^3 e amostras RGP-1 e RGP-2 atingido os valores de 429 Kg/m^3 e 384 Kg/m^3 respectivamente. A densidade específica das amostras ficou com valores próximos, indo de 2550 Kg/m^3 até 2600 Kg/m^3 . Já na análise do módulo de finura a amostra RGP-2 apresentou o valor de 0,38 e a amostra RGP-3 0,41, valores mais elevados do que amostra de referência que apresentou

0,06. Os valores aproximados dos ensaios para determinar as propriedades físicas e mecânicas podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios realizados por GERALDO et al (2017)

Amostra	RF 28 dias (MPa)	RC 28 dias (MPa)	DS 28 dias (MPa)
CGP	3,7	7,2	23
RGP-1	4,3	10	27
RGP-2	4,2	12,5	30

Fonte: Adaptado de GERALDO et al (2017)

Seus resultados indicaram que as propriedades químicas do gesso e sua reatividade não foram alteradas ao longo dos ciclos de reciclagem, representando um elevado potencial de reciclagem.

FERNANDES (2016) realizou um trabalho cujo objetivo era produzir gesso gerado de resíduos de revestimento (GR) e de resíduos de placas de forro (GP) através dos processos de calcinação e moagem. Após recolhidos os resíduos, ambos foram homogeneizados e triturados até que se obtivesse um material passante na peneira 2mm. Cada um dos resíduos utilizados passou pelo processo de calcinação nas temperaturas de 140°C, 170°C e 200°C permanecendo na estufa pelo tempo de 1h, 2h e 4h em cada temperatura. A etapa seguinte constituiu na análise e comparação das propriedades físicas, químicas e mecânicas das diferentes amostras.

Os resultados do estudo realizado por FERNANDES (2016) podem ser observados na tabela abaixo adaptada de sua pesquisa.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios realizados por FERNANDES (2016)

Amostra	MU (Kg/m ³)	MF	Início de pega (min aprox.)	Fim de pega (min aprox.)	RC (MPa) aos 28 dias	Dureza superficial média 28 dias (N/mm ²)	RF (MPa) aos 28 dias
GC	703,12	0,625	20	30	9,22	19,16	3,55
GP1	-	-	-	-	-	-	-
GP2	265,40	-	11	19	3,88	-	-
GP3	242,00	-	18	27	3,94	5,98	-
GP4	255,80	-	21	30	4,14	5,16	-
GP5	237,00	-	24	33	3,35	-	-
GP6	253,50	-	24	33	2,68	-	-
GP7	244,88	-	26	38	3,19	-	-
GP8	253,11	0,325	29	44	3,73	6,43	1,73
GP9	253,66	-	24	35	3,34	-	-
GR1	-	-	-	-	-	-	-
GR2	-	-	3	8	3,29	-	-
GR3	399,20	-	19	30	4,15	10,51	2,54
GR4	403,40	-	17	25	6,09	9,67	2,25
GR5	371,40	-	21	30	6,06	-	-
GR6	368,59	-	27	39	4,65	-	-
GR7	368,59	-	31	53	5,68	-	-
GR8	391,87	-	18	28	5,57	-	-
GR9	389,37	0,775	26	40	5,87	10,02	2,30

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de FERNANDES (2016)

De acordo com a análise dos resultados feita por FERNANDES (2016), pode ser observado que ocorre uma relação direta entre tempo e temperatura de calcinação e a resistência a compressão dos gessos reciclados. Assim como conforme o fator água/gesso é reduzido aumenta-se a resistência, sendo diretamente proporcionais as resistências a compressão e a tração na flexão.

SOUZA (2018) realizou uma pesquisa com o objetivo de fazer o aproveitamento do resíduo do pó mineral de gipsita na confecção de argamassas de revestimento. Foram feitos quatro traços utilizando cimento, resíduo, areia ou caulim cujas proporções e resultados dos ensaios podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios realizados por SOUZA (2018)

Molde	Traço	Trabalhabilidade (mm)	Tempo de pega	Massa específica seca (g/cm ³)	Absorção de água (%)	RC (MPa)
1	1:1:6 (cimento, resíduo e areia)	210	02:00hs	1,88	8,47	4,26
8	1:2:6 (cimento, resíduo e areia)	170	02:20hs	1,86	9,43	2,39
4	1:2:4 (cimento, resíduo e caulim)	240	02:40hs	1,36	24,7	0,78
13	1:2:5 (cimento, resíduo e caulim)	235	02:25hs	1,32	27,4	0,31

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de SOUZA (2018)

De acordo com análises feitas por SOUZA (2018), os resultados foram considerados aceitáveis e o resíduo de gipsita poderia ser utilizado na fabricação de argamassas de revestimento.

ERBS (2016) desenvolveu um estudo com o objetivo de analisar as propriedades dos resíduos de sobras de corte de gesso acartonado e gesso comum ao longo de cinco ciclos de reciclagem. Os resíduos foram previamente triturados e moídos e passaram pelo processo de calcinação numa temperatura de 180°C pelo período de 24hs em cada uma das etapas. Além das amostras de gesso reciclado puro (GR-1 a GR-5) e gesso comum (GC-1 a GC-5) foram feitas misturas em porcentagens variadas (25%, 50% e 75% de gesso comum) dos tipos de gesso analisados. Para os ensaios foi mantida uma relação a/g de 0,7 e os resultados aproximados podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios realizados por ERBS (2016)

Amostra	MF	MU (Kg/m ³)	Início de pega (min.)	Fim de pega (min.)	RF 28 dias (MPa)	RC 28 dias (MPa)	DS (N/mm ²)
GR-1	1,60	675,68	43	60	3,1	6	30
GR-2	1,39	775,75	35	55	2,3	12	30
GR-3	1,20	677,94	45	53	2,3	9	37
GR-4	1,81	778,05	43	57	2,5	7,2	43
GR-5	1,92	672,49	49	60	1,5	4	39
GC	2,58	653,93	10	20	3,2	7	45
GC-1	2,90	645,47	2	40	2,5	9,9	31
GC-2	2,70	630,26	13	24	2,8	9,9	37
GC-3	2,36	520,20	13	36	2,7	8,8	51
GC-4	2,74	518,58	13	27	2,7	3,9	51
GC-5	2,95	511,20	10	24	2,6	4,2	38
GR75GC25-1	-	-	20	42	3,0	8	31
GR50GC50-1	-	-	15	43	2,6	7,3	49
GR25GC75-1	-	-	11	41	2,8	10,2	55
GR75GC25-2	-	-	28	54	2,9	10,1	28
GR50GC50-2	-	-	17	33	2,7	9	28
GR25GC75-2	-	-	15	25	3,3	10	30
GR75GC25-3	-	-	28	54	2,3	9	35
GR50GC50-3	-	-	18	33	2,3	8,8	49
GR25GC75-3	-	-	25	35	2,2	8,1	41
GR75GC25-4	-	-	33	54	2,6	7	37
GR50GC50-4	-	-	23	47	2,5	7,5	39
GR25GC75-4	-	-	18	32	2,9	7	41
GR75GC25-5	-	-	38	57	1,9	5,2	41
GR50GC50-5	-	-	18	48	1,7	5,9	28
GR25GC75-5	-	-	27	32	2,0	6,5	37

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de ERBS (2016)

Segundo análise dos resultados feita por ERBS (2016) “Foi verificada a reversibilidade das reações durante os ciclos de reciclagem, comprovando a viabilidade técnica do processo utilizado nesta pesquisa até o terceiro ciclo de reciclagem”.

CAMARINI (2017) realizou um trabalho com o objetivo de avaliar a utilização do resíduo de gesso na forma di-hidratada (RGR) na fabricação de placas de forro através da influência granulométrica. Após recolhido o material, a preparação do resíduo constituiu na moagem e peneiramento com peneira de malha 4,76mm. Uma nova etapa de peneiramento desse material foi feita e a quantidade de resíduo passante na peneira 0,425mm foi classificada como fração fina (RGR-F) e o retido fração grossa (RGR-G). Utilizando diferentes teores desses resíduos em mistura com o gesso comercial (GC) foram produzidas pastas para a determinação das

propriedades. A relação água gesso foi de 0,9. Os resultados obtidos por CAMARINI (2017) podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 7 – Resultado dos ensaios realizados por CAMARINI (2017)

Amostra	Espalhamento (mm)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)	DS (N/mm ²)	RC (Mpa)	RF (Mpa)
GC	145	31	52	5,54	3,35	1,64
GC RF (2,5%)	104	10	22	5,54	3,96	2,02
GC RF (5%)	74	8	16	5,76	3,36	1,81
GC RF (7,5%)	42	6	13	-	-	-
GC RF (10%)	40	5	11	-	-	-
GC RG (2,5%)	108	12	24	6,07	3,26	1,60
GC RG (5%)	84	9	19	6,99	2,92	1,73
GC RG (7,5%)	56	7	16	-	-	-
GC RG (10%)	39	5	10	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de CAMARINI (2017)

Segundo análises feitas por CAMARINI (2017) pode-se concluir que a adição de resíduo de ambas granulometrias melhorou algumas propriedades físicas e mecânicas das pastas, porém a trabalhabilidade foi reduzida. Com os resultados obtidos foi possível determinar a viabilidade da utilização de resíduo de gesso di-hidratado na pasta para produção de componentes (CAMARINI, 2017).

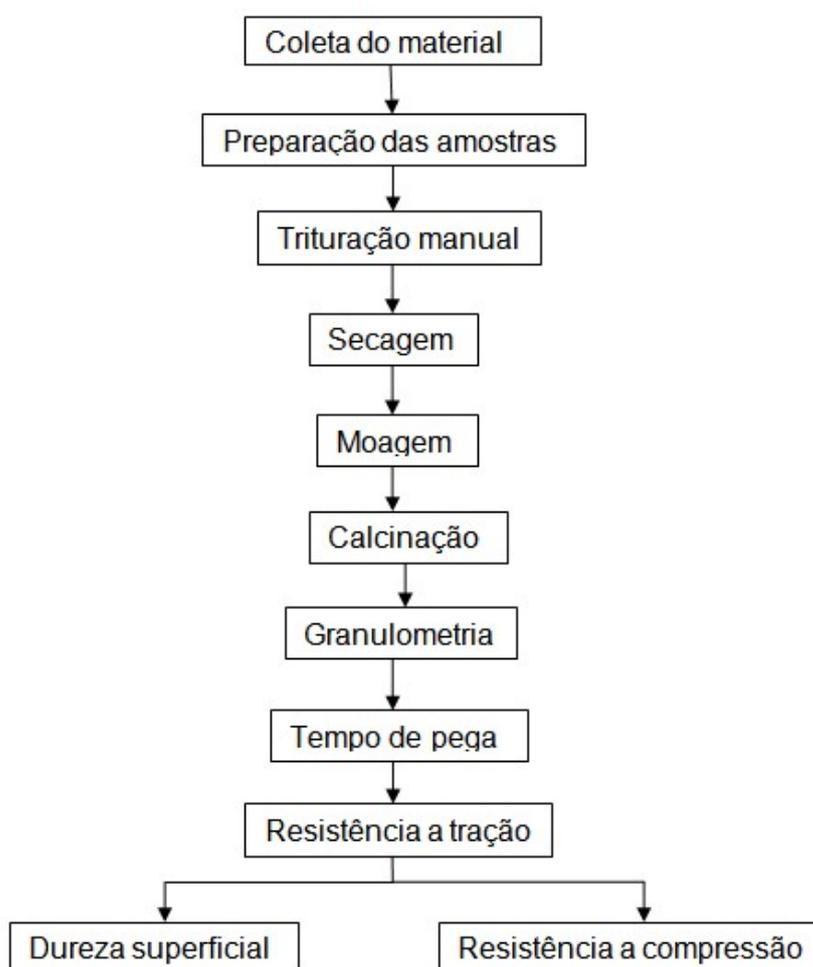
A reciclagem dos resíduos de placas drywall já é realizada em vários locais na América do Norte e o produto resultante é utilizado em diversas aplicações, como por exemplo, confecção de novas placas drywall, utilização na indústria cimenteira, produção de fertilizantes, aplicação direta em solos e na compostagem (CDRA, 2021).

De acordo com SEBANELLA (2014) quando o resíduo de gesso é submetido somente a moagem ele já pode ser utilizado no setor agrícola como fertilizante e corretivo de solos e também já está apto a ser utilizado na indústria cimenteira como retardador de pega.

3 METODOLOGIA

O programa experimental foi desenvolvido para que seja possível atingir os objetivos gerais e específicos determinados neste trabalho e tem como base a revisão bibliográfica realizada. Definiram-se os fatores de controles a serem ensaiados e quais variáveis devem ser testadas com o objetivo de se atingir os melhores resultados. Foi estabelecida também a metodologia dos ensaios a serem realizados. O Programa experimental está simplificado no fluxograma a seguir.

Figura 2 – Fluxograma programa experimental



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados para esta pesquisa estão descritos a seguir.

3.1.1 Gesso comercial

O gesso comercial (GC) foi utilizado como padrão de referência nos ensaios realizados. O material adquirido foi produzido pela IGE – Indústria de Gessos Especiais LTDA localizada em Araripina/PE e está classificado pela empresa como supergesso fundição. Sua composição consiste em sulfato de cálcio hemidratado tipo beta ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) e o tempo de pega não foi informado na embalagem.

3.1.2 Resíduos de gesso

Os resíduos de gesso utilizados nesta pesquisa foram coletados em duas obras da cidade de Porto Alegre/RS sendo ambos resíduos provenientes do desmanche de forros de prédios comerciais. Para diferenciação, os resíduos serão nomeados como resíduo de gesso A (RGA), coletado na obra de reforma do edifício sede do Banrisul e que consiste em placas de gesso perfuradas, e resíduo de gesso B (RGB) com grãos passantes na peneira 0,297 e C (RGC) com grãos passantes na peneira 0,075mm, coletados na obra de reforma do prédio das promotorias especializadas do Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul sendo estes resíduos compostos por placas de gesso lisas. Na etapa de coleta dos materiais foram selecionados os pedaços que possuísem a menor quantidade possível de sisal ou metais como, por exemplo, arames e parafusos aderidos às placas a fim de evitar a contaminação. O material selecionado foi acondicionado em sacos plásticos e estocado em local coberto para ser utilizado no programa experimental.

Figura 3 - Resíduo de gesso RGA



Fonte: Registrada pela autora.

Figura 4 - Resíduo de gesso RGB/RGC



Fonte: Registrada pela autora.

3.1.3 Água

A água utilizada nesta pesquisa para a composição das pastas de gesso foi a fornecida pela rede pública de abastecimento da cidade de São Leopoldo/RS.

3.2 Preparação das amostras

Os resíduos recolhidos em obra antes de serem encaminhados ao laboratório para que fossem feitas as análises e ensaios passaram por um processo de preparação. Com o auxílio de marreta e talhadeira foi feito o processo de remoção manual para que fossem retiradas impurezas maiores que mesmo após seleção pudessem ter vindo aderidas as placas de forro de gesso, como por exemplo, fios de sisal envoltos em pasta de gesso usado para a junção das placas e algum outro material que seja utilizado na fixação dos forros à laje e paredes dos prédios.

Após essa etapa foi realizada em ambas as amostras uma limpeza fina com pincel para que fosse removida toda a poeira depositada na superfície do gesso devido ao tempo em que ficaram expostos exercendo sua função de revestimento assim como foi feito, com o auxílio de espátula metálica e lixa, a remoção da camada superficial de tinta que foi aplicada sobre as placas de forro.

Figura 5 - Ferramentas utilizadas para preparar as amostras



Fonte: Registrada pela autora.

Figura 6 - Etapa de remoção da camada de tinta



Fonte: Registrada pela autora.

Essa etapa de preparação é importante, pois visa fazer a remoção da maior quantidade possível de impurezas presentes no gesso utilizado para esta pesquisa. Após a limpeza das amostras obteve-se 40,3kg do resíduo RGA e foi coletada uma quantidade de 2,569kg de resíduos durante o processo de limpeza. Já do resíduo RGB/RGC foi obtida uma quantidade de 40,1kg de material limpo e 1,946kg de resíduos gerados durante o processo. Com isso pode-se perceber que mesmo após a seleção inicial o resíduo RGA possuía uma maior quantidade de impurezas aderidas em suas placas. Além disso, durante o processo de limpeza pode-se notar que o resíduo RGA possui na composição de suas placas algumas fibras internas muito finas misturadas ao gesso não sendo possível fazer a remoção delas.

As impurezas eram constituídas basicamente por poeira, tinta, sisal e pó de gesso. Durante o processo foi gerada também uma certa quantidade de poeira de gesso que ficou no ar e não foi possível ser coletada.

3.3.1 Trituração manual

Com o objetivo de fazer uma redução prévia do tamanho do resíduo de gesso coletado foi feita uma trituração manual com o auxílio de um martelo até que o resíduo ficasse num tamanho adequado para ser triturado no equipamento moinho de bolas. De acordo com trabalhos realizados por FERNANDES (2016) e VASQUES et al (2019)

o tamanho aproximado de 2 centímetros já é suficiente. Porém, para agilizar o processo de secagem e moagem nessa pesquisa foi adotado o tamanho aproximado de 1 centímetro para os pedaços de gesso.

Figura 7 - Resíduo de gesso após trituração manual



Fonte: Registrada pela autora.

3.3.2 Secagem

Após passar pelo processo de trituração manual as amostras foram colocadas em uma estufa a temperatura de 100°C para secagem e remoção do excesso da umidade. Esse processo auxilia para que a moagem ocorra de forma adequada e com melhor resultado. As amostras permaneceram na estufa até a constância de massa conforme foi observado no trabalho realizado por FERNANDES (2016); VASQUES et al (2019) e LI et al (2021). Neste trabalho devido a alta umidade dos resíduos foi necessário o tempo de estufa de 75 horas.

3.3.3 Trituração mecanizada

A trituração mecanizada tem o objetivo de reduzir o tamanho dos grãos de gesso reciclado até a finura desejada. FERNANDES (2016) e PINHEIRO (2011)

utilizaram em suas pesquisas o moinho de martelos regulado para produzir grãos com finura inferior a 1,10. GERALDO et al (2017) também fez o uso de moinho de martelos e produziu um pó de gesso com 80% de suas partículas passantes na peneira 0,297mm. Já ERBS (2016) utilizou o moinho de bolas e VASQUES et al (2019) com o mesmo tipo de moinho o utilizou por 10 minutos para obter grãos 90% passantes na peneira 0,150mm.

Conforme revisão bibliográfica feita, foi determinado que esta pesquisa utilizaria grãos passantes na peneira 0,29mm e 0,075mm para ambos os resíduos a fim de demonstrar uma possível relação entre a finura e o tempo de calcinação e como o tamanho de grão reage frente a diferentes temperaturas de calcinação. O equipamento utilizado foi um moinho de bolas no qual era colocado 3kg de esferas cerâmicas, sendo 1kg da esfera com menor diâmetro e 2kg da esfera com maior diâmetro, e 1,5kg do resíduo a ser moído. O tempo de moagem utilizado para ambos o resíduos foi de uma hora e quarenta minutos.

Figura 8 - Esferas utilizadas no processo de moagem



Fonte: Registrada pela autora.

O resíduo de gesso RGA, mesmo após a constância de massa na estufa, apresentava um aspecto úmido e durante a moagem no moinho de bolas o pó gerado se aderiu a superfície cerâmica do jarro e das bolas utilizadas para a moagem gerando uma crosta de pó de gesso. O gesso foi retirado do moinho com o auxílio de uma espátula e peneirado. Durante o peneiramento devido à aderência entre as partículas

foi necessário o uso de um pincel para auxiliar na passagem pela malha da peneira. Pode-se observar também que mesmo após o peneiramento se fosse feito um agitação suave do recipiente as partículas de gesso se juntavam em pequenas esferas de pó. Por estes motivos apenas a granulometria passante pela peneira 0,29 vai ser utilizada no estudo do resíduo RGA.

Figura 9 - Resíduo de gesso aderido ao cilindro



Fonte: Registrada pela autora.

Figura 10 - Resíduo RGA – Peneirado (a) Peneirado após agitação (b)



Fonte: Registradas pela autora.

O resíduo de gesso RGB apresentou uma menor aderência entre as partículas durante o processo de moagem e com esse material foi possível trabalhar nas duas granulometrias previamente estipuladas de material passante na peneira 0,297mm (RGB) e material passante na peneira 0,075mm que será denominado RGC.

3.3.4 Calcinação

Com o objetivo de se obter os melhores resultados com o material que está sendo trabalhado e com base na revisão bibliográfica realizada essa pesquisa avaliou três diferentes temperaturas de calcinação, sendo elas: 150°C, 170°C e 190°C e dois diferentes tempos de calcinação estipulados em 2hs e 4hs para os resíduos RGA e RGB e o RGC será avaliado nas três temperaturas somente pelo período de 2hs.

De acordo com FERNANDES (2016) e PINHEIRO (2011) as amostras foram dispostas em bandejas numa camada de até 2cm de espessura com o objetivo de

gerar uma calcinação mais uniforme ao material. A nomenclatura de cada uma das amostras após o processo de calcinação está descrita na tabela a seguir.

Tabela 8 - Nomenclatura das amostras

Resíduo	Passante	Temperatura de calcinação (°C)	Tempo de calcinação (hs)	Nomenclatura
GC	-	-	-	GC
RGA	0,297	150	2	RGA2.150
		150	4	RGA4.150
		170	2	RGA2.170
		170	4	RGA4.170
		190	2	RGA2.190
		190	4	RGA4.190
RGB	0,297	150	2	RGB2.150
		150	4	RGB4.150
		170	2	RGB2.170
		170	4	RGB4.170
		190	2	RGB2.190
		190	4	RGB4.190
RGC	0,075	150	2	RGC2.150
		170	2	RGC2.170
		190	2	RGC2.190

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 11 - Material durante o processo de calcinação.



Fonte: Registrada pela autora.

Após a calcinação o material foi retirado da estufa, resfriado a temperatura ambiente, homogeneizado e armazenado em recipientes fechados (sacos plásticos lacrados com fita) até que fossem realizados os ensaios para a determinação das propriedades.

3.4 Caracterização do gesso reciclado

3.4.1 Granulometria a laser

Conforme trabalho realizado por FERNANDES (2016) a granulometria das amostras pode ser feita a laser através do uso de um granulômetro onde é possível identificar as partículas de menor dimensão. O ensaio do presente trabalho foi

realizado no Laboratório de Caracterização e Valorização dos Materiais da Unisinos campus São Leopoldo fazendo o uso do equipamento Microtrac FLEX 10.6.1. Tal ensaio foi realizado com as amostras de RGA e RGB antes de passarem pelo processo de calcinação.

3.4.2 Tempos de pega

De acordo com a NBR 12.128 (ABNT, 2019) o ensaio de consistência normal determina a relação de água/gesso necessária para que as amostras preparadas tenham a fluidez adequada a manipulação. Para a realização desse programa experimental não será realizado o ensaio de consistência normal e todas as pastas serão moldadas com relação a/g = 0,7 replicando experimentos realizados por PINHEIRO (2011) e ERBS (2016) que através de suas revisões bibliográficas também adotaram este mesmo valor.

Segundo a NBR 12.128 tempo de início de pega é o tempo necessário para que a agulha do aparelho Vicat se afaste 1mm da base onde se encontra a pasta e tempo de fim de pega é o tempo decorrido desde que o gesso entrou em contato com a água até o momento em que a agulha do aparelho deixa de marcar a superfície da pasta. O ensaio para a determinação dos tempos de pega foi realizado em todas as amostras seguindo os procedimentos determinados na norma NBR 12.128 (ABNT, 2019).

3.4.3 Dureza Superficial

Dureza, de acordo com CCDM – UFSCAR (2020), pode ser definida como uma propriedade mecânica dos materiais e é caracterizada pela resistência que um material possui a riscos ou deformações permanentes. Dureza é definida pela NBR 12.129 (ABNT, 2019) como “profundidade de impressão de uma esfera, sob uma carga fixa, em corpo de prova”. O ensaio consiste em cálculo realizado através da profundidade de impressão da esfera sob uma carga determinada e após deve ser medida a profundidade de impressão da esfera nos corpos de prova e usar os dados obtidos na seguinte equação para determinação da dureza.

$$D = \frac{F}{\pi \cdot \phi \cdot t}$$

Onde: D = Dureza em N/mm^2

F = Carga, em N

\varnothing = Diâmetro da esfera, em mm

t = Média de profundidade, em mm

Os ensaios para a determinação da dureza superficial foram realizados de forma adaptada a NBR 12.129 (ABNT, 2019) e de acordo com a NBR 13.279 (ABNT, 2005) fazendo a utilização das sobras não danificadas dos corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm utilizados no ensaio de resistência à tração na flexão.

Para a realização do ensaio foi utilizado o seguinte equipamento: Prensa MTS Landmark 647 hydraulic wedge grips com a qual, seguindo as orientações da NBR 12.129 (ABNT, 2019), foi aplicada através de uma esfera de aço duro de 10mm de diâmetro uma carga de 50N, aumentada em 2s para 500N por 15s. Para medir a profundidade de impressão com maior precisão foi utilizado o seguinte equipamento: Starret AV300+ - Galileo com sistema IK 5000 QUADRA-CHEK versão 2.96.x no Laboratório de Metrologia da Unisinos campus São Leopoldo.

Figura 12 - Medição da profundidade de impressão.



Fonte: Registrada pela autora.

3.4.4 Resistência a compressão

De acordo com a NBR 12.129 (ABNT, 2019) resistência a compressão é “carga de ruptura em relação a área superficial de um corpo de prova”. Os ensaios para a determinação da resistência a compressão foram realizados de forma adaptada a NBR 12.129 (ABNT, 2019) e de acordo com a NBR 13.279 (ABNT, 2005) fazendo a utilização das sobras não danificadas dos corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm utilizados no ensaio de resistência à tração na flexão.

Segundo estudos publicados por FERNANDES (2016), ERBS (2016) e a NBR 12.129 (ABNT, 2019) o valor de resistência a compressão pode ser calculado em função da carga de ruptura, pela seguinte equação:

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

Onde: R = Resistência a compressão em MPa

P = Carga de ruptura, em N

S = Área da seção transversal de aplicação de carga, em mm²

Foram moldados 6 corpos de prova para cada uma das amostras de gesso reciclado calcinado e para o gesso comercial, sendo 3 amostras rompidas aos 7 dias e 3 amostras rompidas aos 28 dias. A velocidade da aplicação de carga para a realização do ensaio foi de 0,07mm/s.

3.4.5 Resistência a tração na flexão

Os ensaios de resistência a tração na flexão foram realizados com base nos procedimentos descritos na NBR 13.279 (ABNT, 2005) com a utilização de corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm. De acordo com a NBR 13.279 (ABNT, 2005) a resistência a tração na flexão pode ser calculada através da seguinte equação:

$$R_f = \frac{1,5 * Ft * L}{40^3}$$

Onde: R_f = Resistência a tração na flexão, em MPa

F_t = Carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N

L = Distância entre os suportes, em mm

Figura 13 - Ensaio de resistência a tração na flexão sendo realizado.



Fonte: Registrada pela autora.

Foram moldados 6 corpos de prova para cada uma das amostras de gesso reciclado calcinado e para o gesso comercial, sendo 3 amostras rompidas aos 7 dias e 3 amostras rompidas aos 28 dias. A velocidade da aplicação de carga para a realização do ensaio foi de 0,007mm/s.

4. RESULTADOS

4.1 Calcinação

Pode ser observado durante o processo de calcinação uma perda de massa significativa nas amostras conforme já havia sido apontado em trabalhos realizados

por VASQUES et al (2019) e FERNANDES (2016). A perda de massa das amostras está demonstrada na tabela 9.

Tabela 9 - Perdas de massa durante o processo de calcinação

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda
RGA2.150	3030	3015	0,50%
RGA4.150	3030	2906	4,09%
RGA2.170	3030	3000	0,99%
RGA4.170	3030	2897	4,39%
RGA2.190	3030	2969	2,01%
RGA4.190	3030	2828	6,67%
RGB2.150	3030	3013	0,56%
RGB2.170	3030	3013	0,56%
RGB4.170	3030	2952	2,57%
RGB4.190	3030	2898	4,36%
RGC2.170	2100	2050	2,38%
RGC2.190	2100	2038	2,95%

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se observar (tabela 9) que em todas as amostras cujos dados foram coletados apresentaram perda de massa e essa perda foi influenciada pelo tempo e temperatura de calcinação sendo quanto mais alta a temperatura e maior o tempo de permanência maior foi a perda de massa. As amostras que apresentaram as maiores perdas foram as que ficaram pelo tempo de 4 horas na temperatura de 190°C. Comparando as amostras de RGA e RGB pode-se observar que o resíduo RGA foi o que apresentou maiores perdas de massa para todos os tempos e temperaturas analisadas.

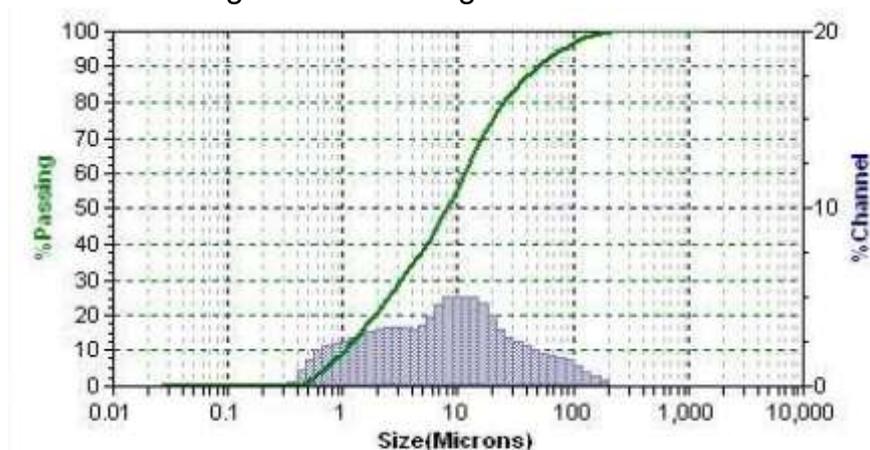
Com relação a granulometria também pode-se notar uma diferença percentual na perda de massa durante a calcinação. Se compararmos as amostras RGB2.170 e RGC2.170 ambas foram calcinadas a 170°C pelo período de duas horas, porém, RGB2.170 apresentou uma perda de massa de 0,56% e RGC2.170 uma perda de massa de 2,38%.

Conforme revisão bibliográfica apresentada essa redução de massa se deve ao processo de desidratação do minério convergindo de sua forma di-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para a forma hemi-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) (VASQUES, 2019). Acredita-se que a pouca redução de massa, quando comparada a outros trabalhos já realizados se deve as impurezas presentes em ambas as amostras de gesso reciclado que podem ter interferido no processo de calcinação.

4.2 Distribuição granulométrica

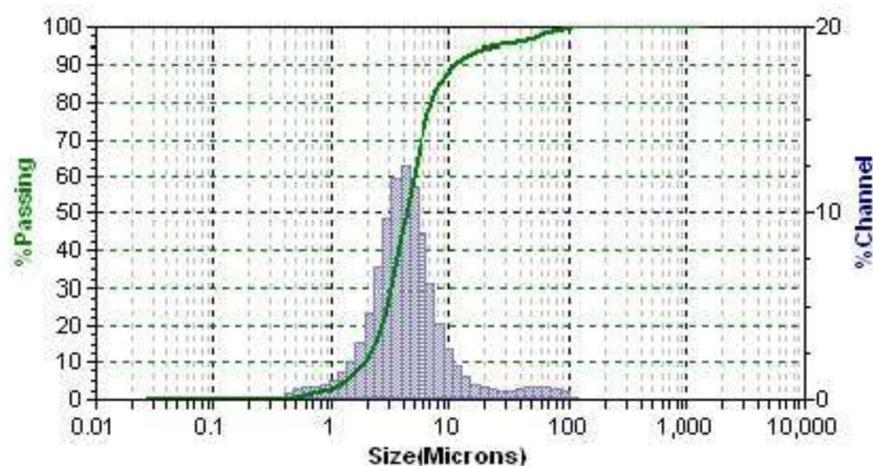
Os resultados da distribuição granulométrica realizada por granulometria a laser podem ser observados nas figuras 14 e 15 que apresentam o percentual de massa correspondente aos variados tamanhos de partículas presentes nos gessos analisados.

Figura 14 - Curva granulométrica RGA.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 15 - Curva granulométrica RGB.



Fonte: Acervo pessoal.

Fazendo uma análise dos gráficos e tabela fornecida no ensaio pode-se perceber que o RGA possui $D_{90}=49,63\mu\text{m}$ e $D_{50}=8,08\mu\text{m}$, já o RGB possui $D_{90}=10,90\mu\text{m}$ e $D_{50}=4,21\mu\text{m}$. Devido a amostra RGC ser do mesmo material que a amostra RGB porém somente a parcela passante na peneira 0,075mm o ensaio de granulometria a laser não foi realizado nesta amostra.

4.3 Tempo de pega

Com o objetivo de determinar umas das propriedades físicas da pasta de gesso foi realizado o ensaio de tempo de pega. A relação a/g adotada foi de 0,7 para todas as amostras. Após a realização desse ensaio foram moldados os corpos de prova para posterior realização dos ensaios remanescentes.

Para a realização do ensaio de tempo de pega foi utilizado foi um aparelho do modelo Vicat convencional, molde em formato cônico, placa de vidro e um cronômetro e os resultados foram expressos em minutos conforme tabela 10.

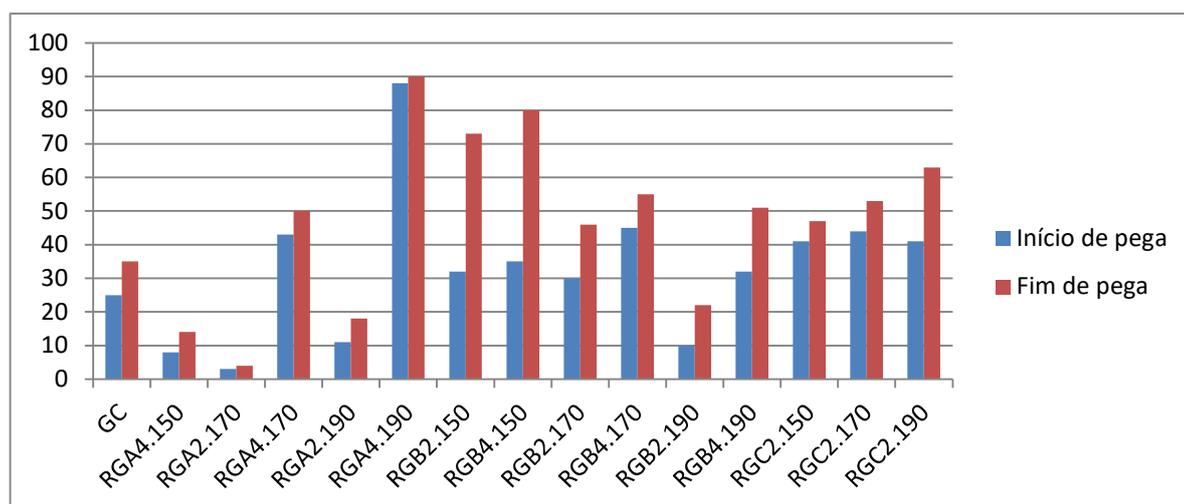
Tabela 10 - Tempo de pega das amostras

Amostra	Início de pega (min.)	Fim de pega (min.)
GC	25	35
RGA2.150	-	-

RGA4.150	8	14
RGA2.170	3	4
RGA4.170	43	50
RGA2.190	11	18
RGA4.190	88	90
RGB2.150	32	73
RGB4.150	35	80
RGB2.170	30	46
RGB4.170	45	55
RGB2.190	10	22
RGB4.190	32	51
RGC2.150	41	47
Amostra	Início de pega (min.)	Fim de pega (min.)
RGC2.170	44	53
RGC2.190	41	63

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 16 - Tempo de início e fim de pega em minutos



Fonte: Elaborado pela autora.

A amostra RGA2.150 que foi calcinada na temperatura de 150°C pelo tempo de 2 horas reagiu instantaneamente não sendo possível de ser colocada no molde do aparelho vicat para a realização do ensaio de tempo de pega. Para a moldagem dos

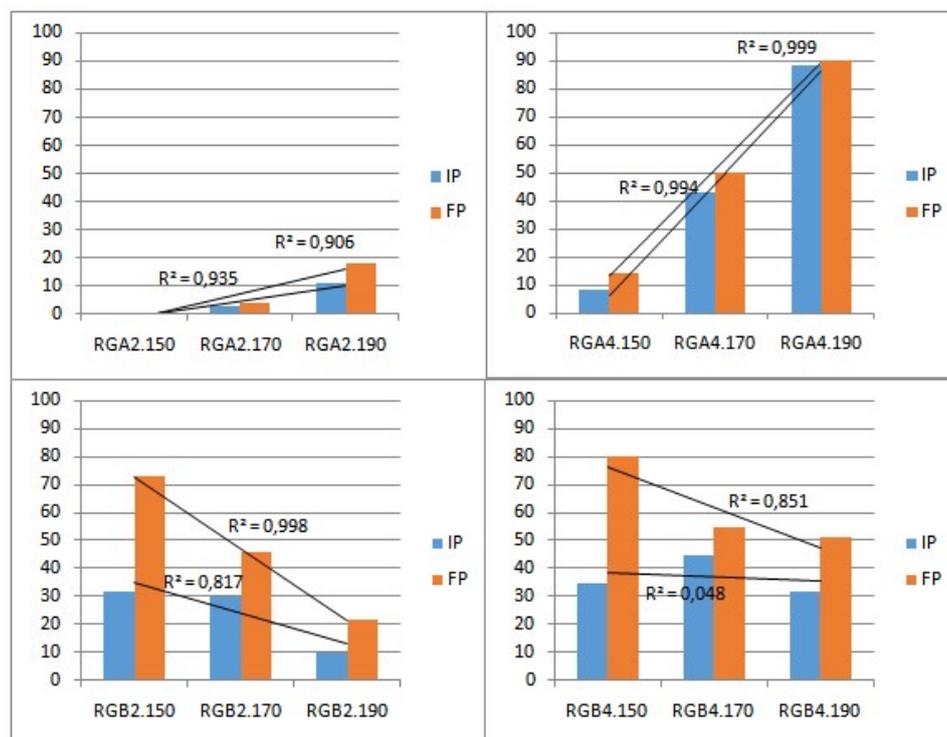
corpos de prova foi utilizado um retardador de pega na concentração de 1,5% da massa de gesso reciclado em pó nas amostras onde se fez necessário.

A NBR 13.207 (2017) estabelece tempos de pega máximos e mínimos para os gessos a fim de classificá-los determinando assim que gessos para fundição devem ter um tempo de pega inicial igual ou inferior a 10 minutos e tempo de pega final igual ou inferior a 20 minutos. Já para o gesso de revestimento (sem aditivo) o tempo de pega inicial deve ser igual ou superior a 10 minutos e o tempo de pega final deverá ser de 35 minutos ou mais.

Levando em consideração esses valores estabelecidos em norma, as amostras de gesso reciclado RGA4.170, RGA4.190, RGB2.150, RGB4.150, RGB2.170, RGB4.170, RGB4.190, RGC2.150, RGC2.170 e RGC2.190 podem ser classificadas como gesso para revestimento e as amostras RGA4.150 e RGA2.170 podem ser classificadas como gesso para fundição. As amostras RGA2.190 e RGB2.190 também poderiam ser classificadas como gesso para fundição, porém, RGA2.190 apresentou tempo de pega inicial igual a 11 minutos e RGB2.190 apresentou tempo final de pega igual a 22 minutos estando assim próximas dos valores estabelecidos pela norma.

Fazendo uma análise geral dos resultados obtidos (figura 16) pode-se notar que em todas as três temperaturas estudadas, para os resíduos RGA e RGB, as amostras que ficaram pelo período de 4 horas apresentaram maiores tempos de pega, tanto inicial quanto final, quando comparadas as amostras que ficaram nas mesmas temperaturas pelo período de 2 horas. Isso nos mostra uma influência direta no tempo de pega do gesso em função do tempo que o material ficou no processo de calcinação sendo o resíduo RGA mais afetado que o RGB. Com relação ao tempo de duração da pega (tempo entre o início da pega e o final da pega) pode-se notar que nas amostras do resíduo RGA esse intervalo foi consideravelmente menor do que o tempo de duração de pega das amostras do RGB. Com o material RGA esse intervalo variou de 1 a 7 minutos e já no material RGB o intervalo variou de 10 a 45 minutos conforme a amostra.

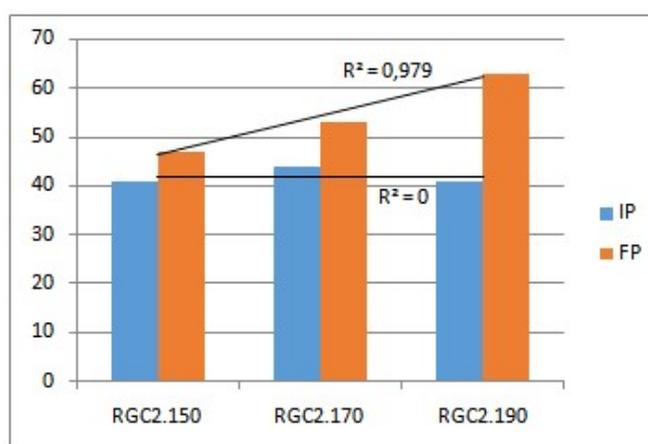
Figura 17 - Influência da temperatura no tempo de pega dos resíduos RGA e RGB



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação à influência da temperatura no processo de calcinação foi possível observar (figura 17) que para o tempo de 2 e 4 horas do RGA os tempos de pega, tanto inicial quanto final, aumentaram com o aumento da temperatura. Já o RGB, no tempo de 2 horas, sofreu redução nos tempos de pega com o aumento da temperatura. O tempo final de pega do RGB para o período de 4 horas também sofreu essa redução.

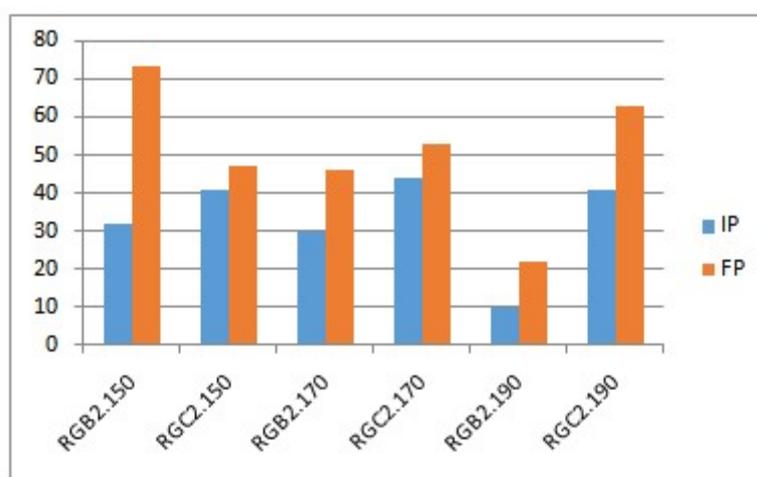
Figura 18 - Influência da temperatura no tempo de pega do resíduo RGC



Fonte: Elaborado pela autora.

Fazendo uma análise em separado do RGC por este ser do mesmo material que o RGB e possuir apenas os grãos passantes na peneira 0,075mm pode-se perceber (figura 18) que o tempo de início de pega se manteve praticamente inalterado frente a variação de temperatura no processo, porém, o tempo final de pega aumentou com o aumento da temperatura apresentando comportamento similar ao RGA.

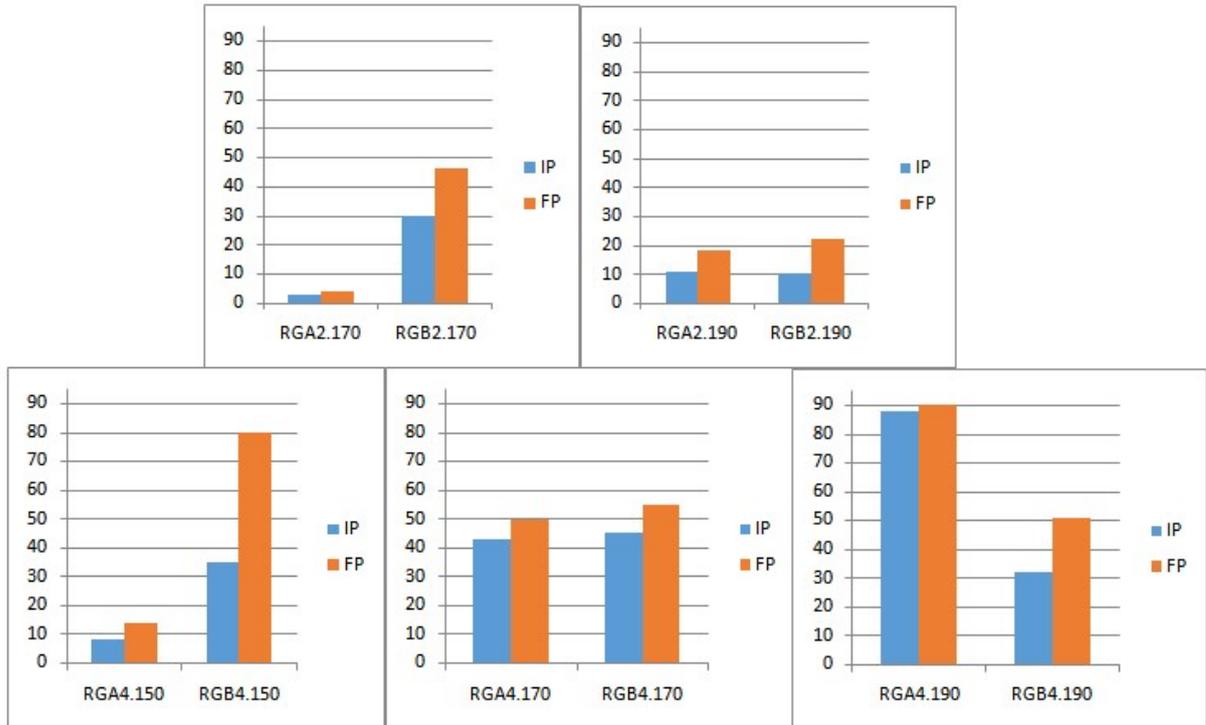
Figura 19 - Comparativo entre tempo de pega dos resíduos RGB e RGC



Fonte: Elaborado pela autora.

Agora fazendo um comparativo entre RGB e RGC que são do mesmo material, porém com granulometrias diferentes, pode-se perceber (figura 19) que RGC2.170 e RGC2.190 apresentaram maiores tempos de pega quando comparados a RGB2.170 e RGB2.190 respectivamente indicando uma tendência a aumento no tempo de pega quando comparadas essas duas amostras. Tal ocorrido pode vir a indicar que uma distribuição granulométrica mais uniforme e fina proporciona um tempo de pega mais elevado. Os valores obtidos no ensaio da amostra RGB2.150 se mostraram destoantes dos demais, considerando a baixa amostragem aplicada, recomenda-se que o ensaio dessa amostra seja refeito para confirmação dos valores.

Figura 20 - Comparativo entre tempos de pega dos resíduos RGA e RGB.



Fonte: Elaborado pela autora

Comparando diretamente RGA e RGB (figura 20) nos mesmos tempos e temperaturas de calcinação, com exceção das amostras que ficaram na temperatura de 190°C pelo período de 4hs, pode-se notar que de forma geral as amostras de RGB apresentaram tempo de pega maior ou igual às amostras de RGA.

Figura 21 - Corpos de prova prontos para a realização dos ensaios.



Fonte: Registrada pela autora.

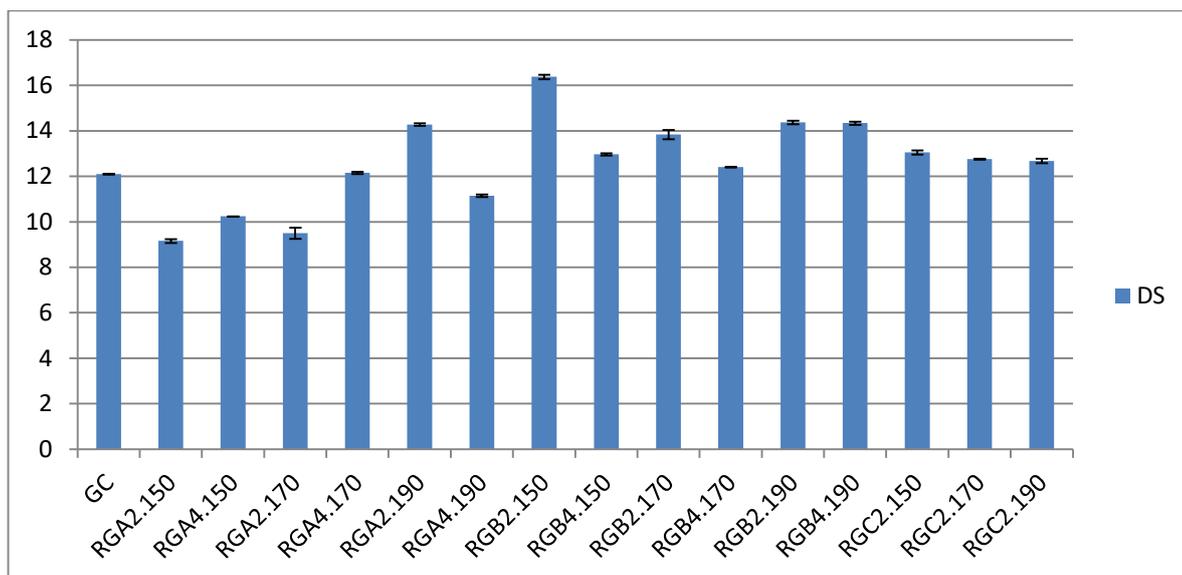
4.4 Dureza superficial

O ensaio de dureza superficial foi realizado aos 28 dias e os resultados podem ser consultados na tabela 11 e na figura 22 a seguir.

Tabela 11 - Dureza superficial

Amostra	DS (N/mm ²)	DP
GC	12,1	0,01
RGA2.150	9,16	0,08
RGA4.150	10,24	0,0046
RGA2.170	9,5	0,2463
RGA4.170	12,16	0,05
RGA2.190	14,28	0,06
RGA4.190	11,15	0,06
RGB2.150	16,38	0,0995
RGB4.150	12,97	0,0509
RGB2.170	13,84	0,21
RGB4.170	12,41	0,0041
RGB2.190	14,37	0,08
RGB4.190	14,34	0,07
RGC2.150	13,06	0,09
RGC2.170	12,76	0,023
RGC2.190	12,68	0,1

Fonte: Elaborado pela autora.

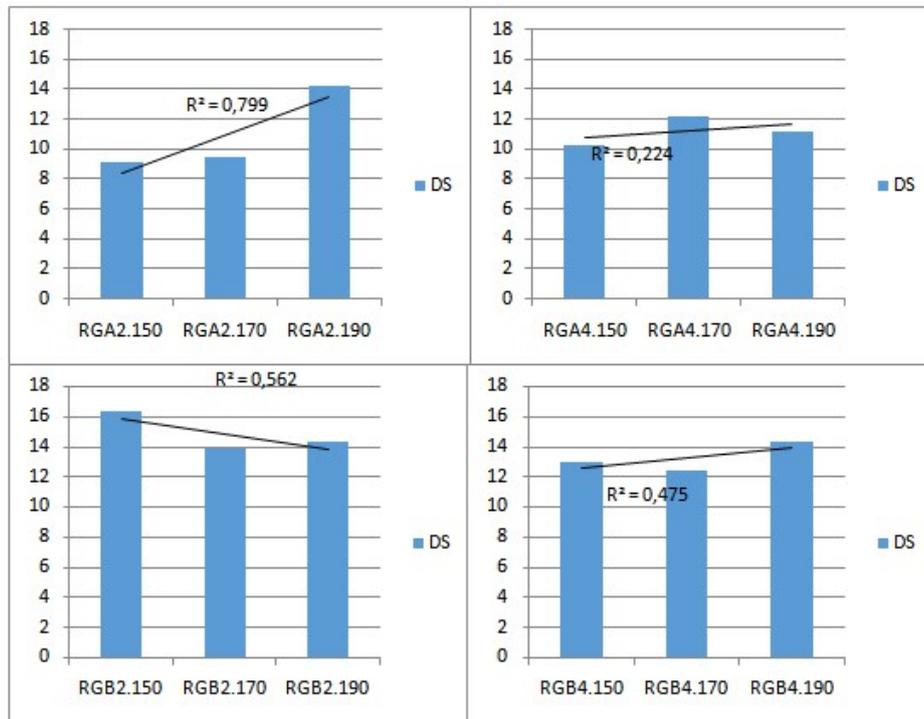
Figura 22 - Dureza superficial em N/mm²

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a NBR 13.207 (ABNT, 2017) o gesso utilizado na construção civil deve apresentar uma dureza superficial igual ou superior a 20N/mm². Fazendo uma análise das amostras estudadas e dos resultados obtidos (figura 22) a amostra que apresentou maior dureza superficial e se aproximou do valor estabelecido em norma foi a amostra RGB2.150 que atingiu o valor de 16,38N/mm² sendo este o melhor resultado do resíduo RGB. As demais amostras de gesso reciclado ficaram com valores entre 9,16 e 14,37N/mm² e o melhor valor obtido com o resíduo RGA foi com a amostra RGA2.190 que atingiu a dureza superficial de 14,28N/mm². O gesso comercial utilizado como referência apresentou dureza superficial de 12,10N/mm² estando fora dos padrões determinados pela norma.

Analisando a influência do tempo durante o processo de calcinação e sua relação com a dureza superficial (figura 22) podemos notar, de acordo com os resultados obtidos, que as amostras que ficaram pelo período de 4hs não apresentaram melhorias significativas em sua dureza superficial quando comparadas as amostras que ficaram pelo período de 2hs. Em fato, as amostras de RGB que ficaram pelo tempo de 4hs apresentaram resultados inferiores às amostras de RGB que ficaram pelo tempo de 2hs.

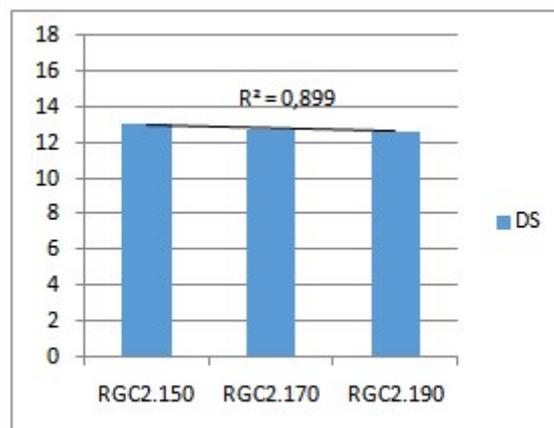
Figura 23 - Influência da temperatura na dureza superficial RGA e RGB.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já na análise da influência da temperatura de calcinação com relação a dureza superficial (figura 23) percebe-se que para o resíduo RGA as temperaturas de 170°C e 190°C apresentam melhores resultados do que a temperatura 150°C. Já no resíduo RGB os melhores resultados foram encontrados na temperatura de 150°C apresentando uma tendência a queda com o aumento da temperatura.

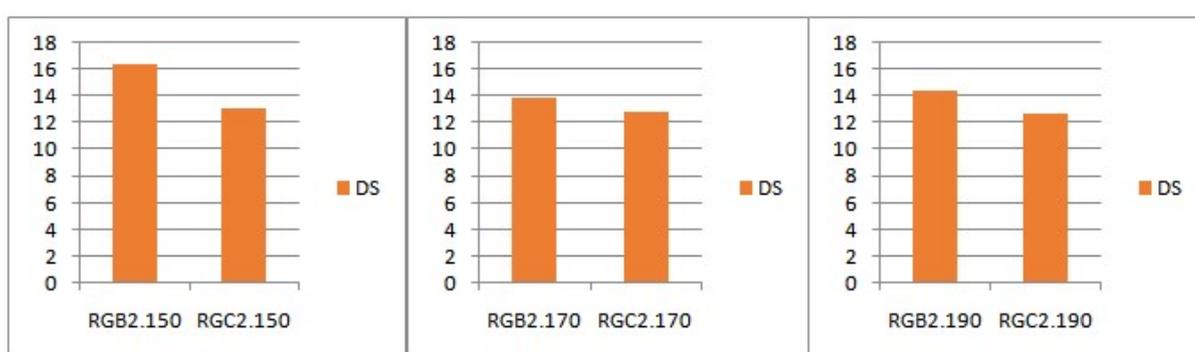
Figura 24 - Influência da temperatura na dureza superficial RGC.



Fonte: Elaborado pela autora.

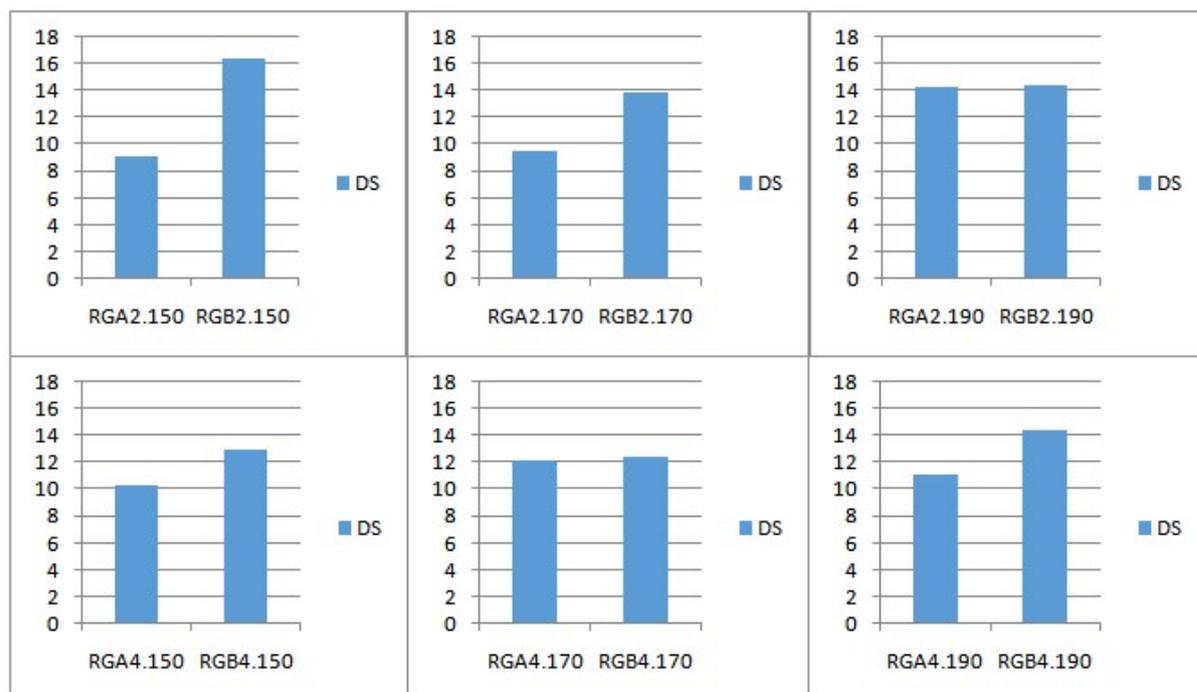
As amostras RGC2.150, RGC2.170 e RGC2.190 mesmo com as diferentes temperaturas durante o processo de calcinação apresentaram valores semelhantes de dureza superficial com variação inferior a 2,5% em relação a média apresentando apenas uma leve declividade. Essa queda da dureza superficial com o aumento da temperatura em RGB e RGC pode ser em função de, por se tratar de uma temperatura mais baixa e num tempo relativamente curto, ainda ter água presente na mostra que veio a favorecer a dureza superficial.

Figura 25 - Comparativo RGB e RGC DS em N/mm²



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação a diferença de granulometria as amostras RGC2.150, RGC2.170 e RGC2.190 que possuem apenas grãos passantes na peneira 0,075mm todas apresentaram resultados de dureza superficial inferior aos obtidos por suas amostras equivalentes em tempo e temperatura que possuíam granulometria passante na 0,297mm.

Figura 26 - Comparativo RGA e RGB DS em N/mm²

Fonte: Elaborado pela autora.

Fazendo um comparativo entre os gessos reciclados RGA e RGB (figura 26) e comparando as amostras que passaram pelo processo de calcinação no mesmo tempo e temperatura pode-se observar que em todos os casos as amostras de RGB apresentaram dureza superficial superior em relação às amostras de RGA. Os resultados obtidos no ensaio de dureza superficial foram semelhantes aos valores encontrados por FERNANDES (2016) e CAMARINI (2017).

4.5 Resistência a compressão

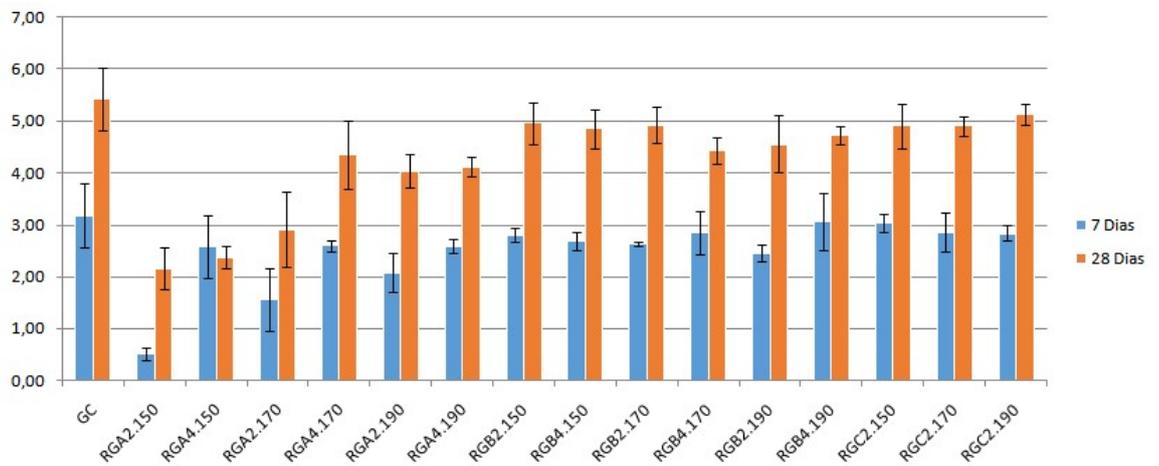
Os resultados podem ser observados na tabela 12 e figura 27.

Tabela 12 - Resistência a compressão

Amostra	RC (MPa) 7 Dias	DP (MPa)	RC (MPa) 28 Dias	DP (MPa)
GC	3,18	0,61	5,43	0,61
RGA2.150	0,50	0,12	2,16	0,40
RGA4.150	2,58	0,60	2,38	0,21
RGA2.170	1,55	0,60	2,92	0,72
RGA4.170	2,60	0,11	4,36	0,66
RGA2.190	2,08	0,38	4,04	0,32
RGA4.190	2,59	0,14	4,11	0,19
RGB2.150	2,8	0,13	4,95	0,4
RGB4.150	2,68	0,17	4,85	0,38
RGB2.170	2,64	0,04	4,92	0,35
RGB4.170	2,85	0,42	4,43	0,26
RGB2.190	2,45	0,16	4,56	0,55
RGB4.190	3,07	0,55	4,73	0,17
RGC2.150	3,03	0,18	4,9	0,44
RGC2.170	2,85	0,38	4,9	0,2
RGC2.190	2,84	0,14	5,13	0,2

Fonte: Elaborado pela autora.

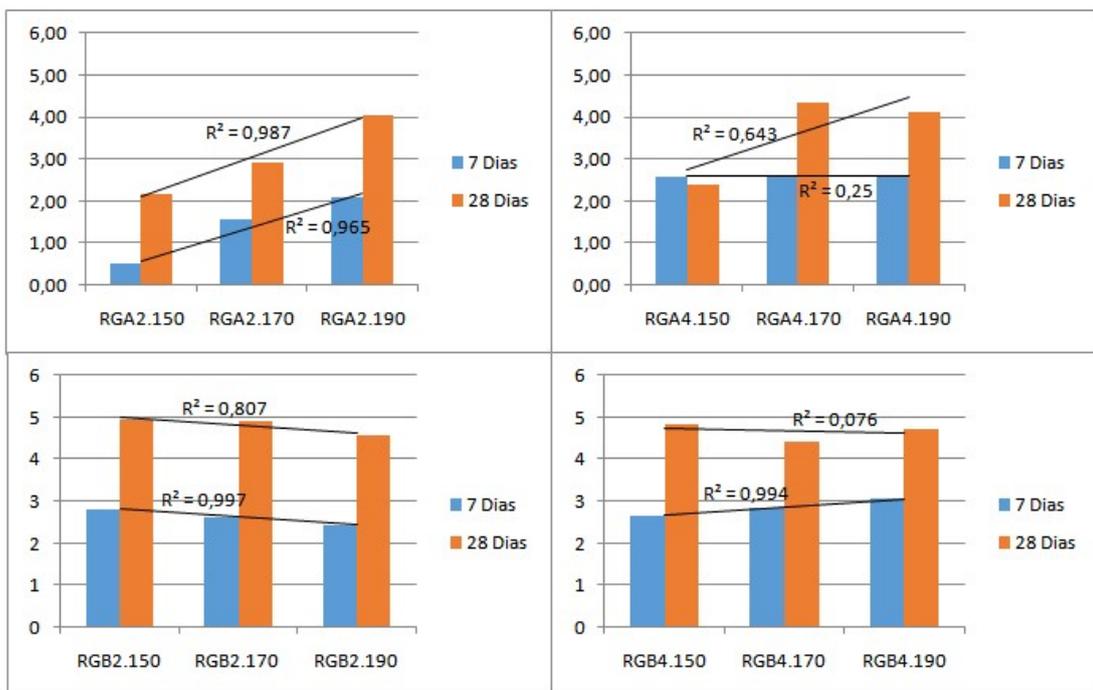
Figura 27 - Resistência a compressão em MPa



Fonte: Elaborado pela autora.

Fazendo uma análise geral dos resultados (tabela 12 e figura 27) podemos observar que os resíduos de gesso RGB e RGC apresentaram valores de resistência próximos aos atingidos pelo gesso de referência GC que atingiu 3,18 MPa de resistência a compressão aos 7 dias e 5,43 MPa aos 28 dias. O maior valor obtido aos 28 dias foi com o RGC2.190 que atingiu 5,13 MPa. Em relação a influência do tempo de calcinação na resistência a compressão podemos notar que para as amostras de RGA nas três temperaturas e para o RGB na temperatura 190°C o acréscimo de duas horas no processo melhorou a resistência a compressão para o período de 7 e 28 dias.

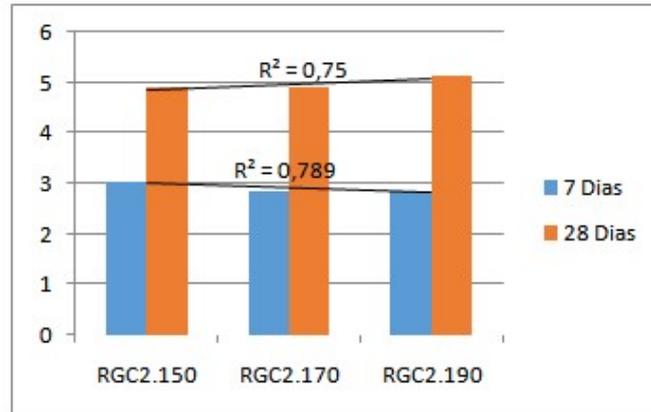
Figura 28 - Influência da temperatura na resistência a compressão RGA e RGB



Fonte: Elaborado pela autora.

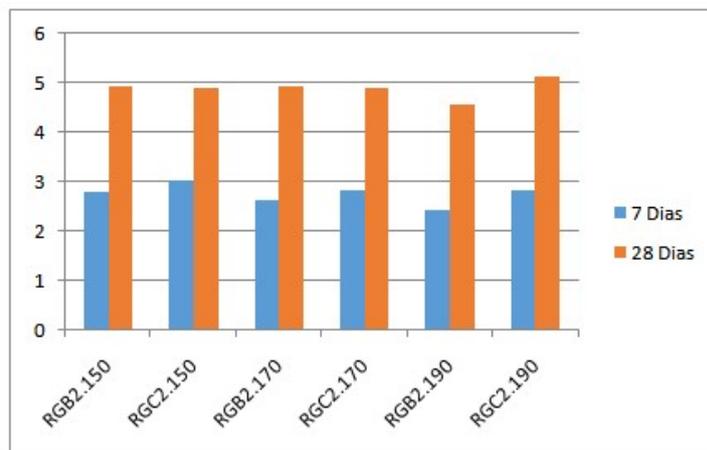
Fazendo uma análise dos gráficos (figura 28) podemos perceber que para o resíduo RGA no tempo de 2hs o aumento de temperatura proporcionou uma melhora na resistência a compressão dos CP's, já para o resíduo RGB, no mesmo tempo de 2hs, houve uma leve perda de resistência com o aumento da temperatura. No período de 4hs, para ambos os resíduos, não houve resultados conclusivos.

Figura 29 - Influencia da temperatura na resistência a compressão RGC.



Fonte: Elaborado pela autora.

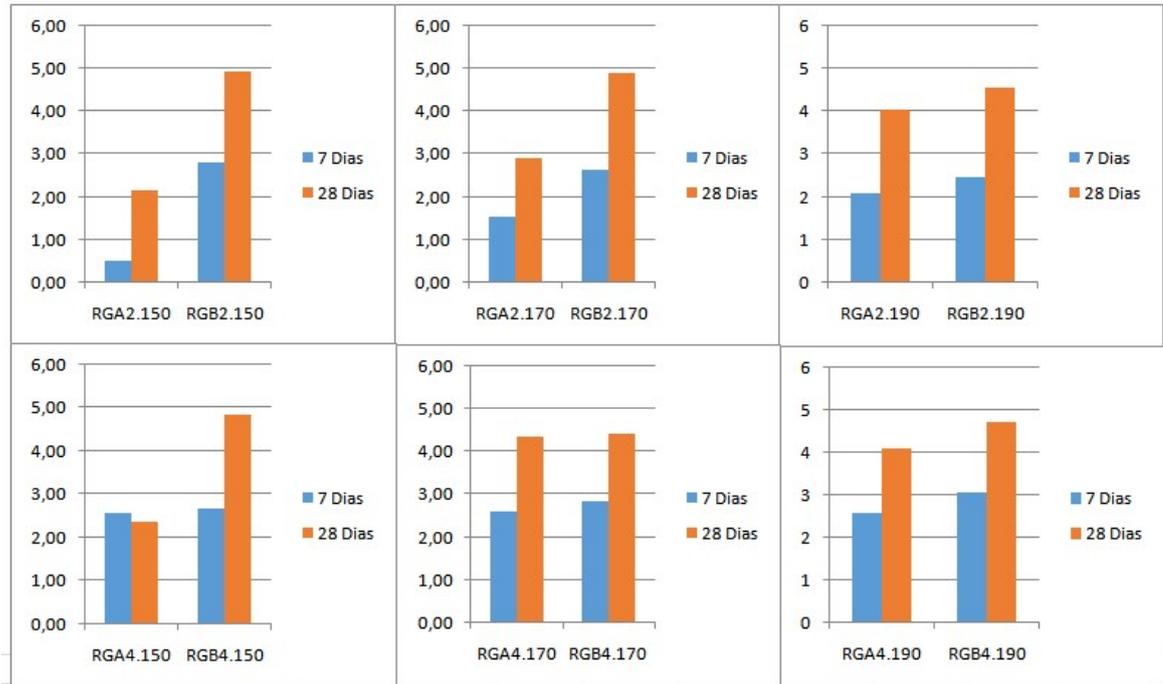
Figura 30 - Comparativo resistência a compressão RGB e RGC.



Fonte: Elaborado pela autora.

O resíduo RGC não sofreu influência significativa na sua resistência a compressão com o aumento da temperatura no processo de calcinação conforme pode ser observado na figura 29 e seus valores ficaram muito próximos aos encontrados em suas amostras correspondentes do RGB (figura 30).

Figura 31 - Comparativo RGA e RGB RC em MPa



Fonte: Elaborado pela autora.

Fazendo um comparativo entre os gessos reciclados RGA e RGB (figura 31) e comparando as amostras que passaram pelo processo de calcinação no mesmo tempo e temperatura pode-se observar que em todos os casos as amostras de RGB apresentaram resistência a compressão superior em relação às amostras de RGA tanto para 7 quanto para 28 dias.

4.6 Resistência a tração na flexão

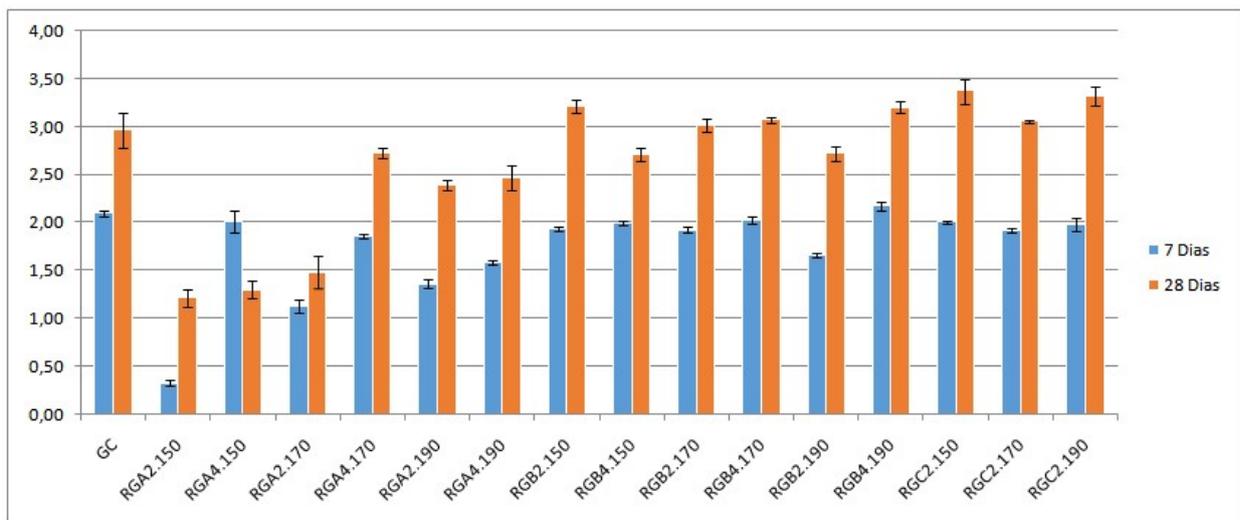
Os resultados podem ser observados na tabela 13 e figura 32.

Tabela 13 - Resistência a tração na flexão

Amostra	RT (MPa) 7 Dias	DP (MPa)	RT (MPa) 28 Dias	DP (MPa)
GC	2,09	0,03	2,96	0,19
RGA2.150	0,33	0,03	1,21	0,09
RGA4.150	2,01	0,11	1,30	0,09
RGA2.170	1,13	0,06	1,48	0,17
RGA4.170	1,86	0,02	2,72	0,05
RGA2.190	1,36	0,05	2,39	0,05
RGA4.190	1,58	0,02	2,47	0,13
RGB2.150	1,93	0,02	3,21	0,07
RGB4.150	1,99	0,02	2,71	0,07
RGB2.170	1,92	0,03	3,01	0,07
RGB4.170	2,02	0,04	3,07	0,03
RGB2.190	1,66	0,02	2,72	0,08
RGB4.190	2,17	0,05	3,20	0,06
RGC2.150	2,00	0,01	3,37	0,13
RGC2.170	1,92	0,02	3,05	0,02
RGC2.190	1,98	0,07	3,32	0,10

Fonte: Elaborado pela autora.

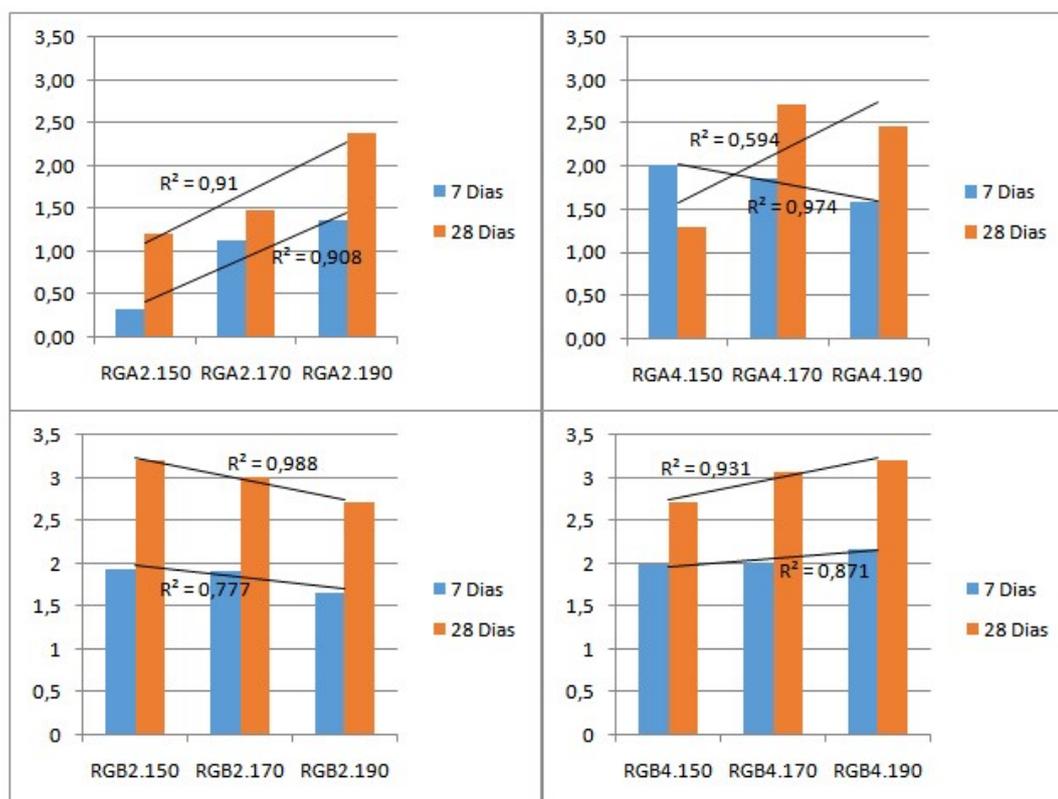
Figura 32 - Resistência a tração na flexão em MPa



Fonte: Elaborado pela autora.

O gesso comercial (GC) utilizado como referência nesta pesquisa atingiu o valor de 2,96MPa de resistência a tração na flexão aos 28 dias. Tal valor foi superado pelas amostras de RGB RGB2.150, RGB2.170, RGB4.170, RGB4.190 e pelas amostras de RGC. Analisando a forma como o tempo de calcinação afeta a resistência a tração na flexão das amostras (figura 32) podemos notar que, com exceção da amostra RGB que foi calcinada na temperatura de 150°C, o aumento de tempo de 2 para 4hs melhorou a resistência das amostras aos 7 e 28 dias.

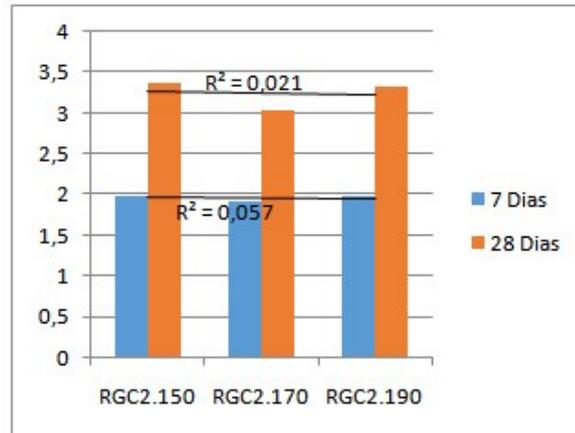
Figura 33 - Influencia da temperatura na resistência a tração na flexão RGA e RGB.



Fonte: Elaborado pela autora.

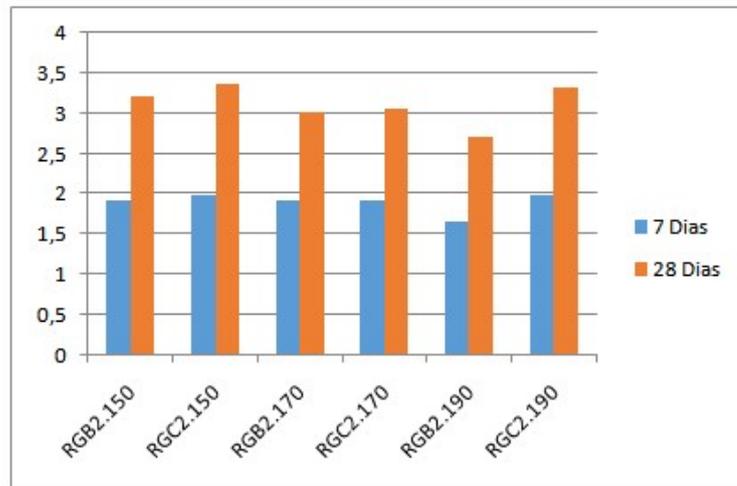
Com relação à influência da temperatura no processo nota-se (figura 33) que em RGA2 há um aumento de resistência com o aumento da temperatura, esse aumento também pode ser percebido, de forma mais sutil, em RGB4. Já em RGB2 podemos notar (figura 33) uma tendência a uma perda de resistência com o aumento da temperatura. Em RGA4 os resultados não foram conclusivos.

Figura 34 - Influencia da temperatura na resistência a tração na flexão RGC



Fonte: Elaborado pela autora.

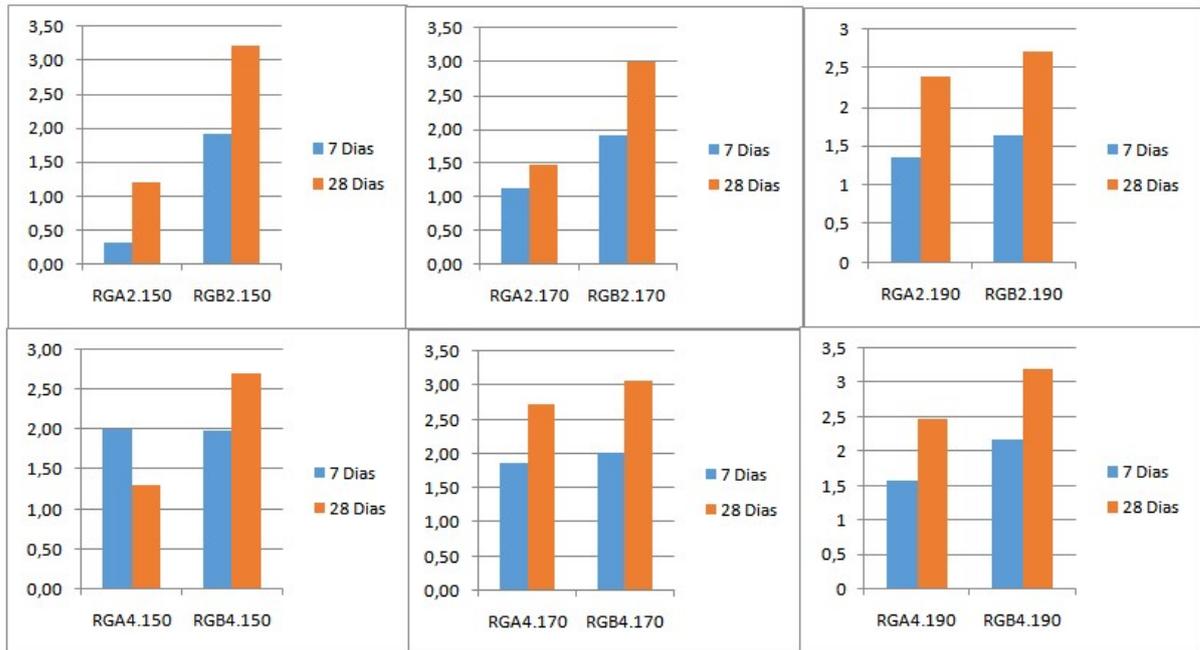
Figura 35 - Comparativo de resistência a tração na flexão RGB e RGC



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o resíduo RGC pode-se dizer que não houve influência na resistência a tração na flexão com o aumento de temperatura (figura 34) e seus valores ficaram muito próximos aos encontrados em suas amostras correspondentes do RGB (figura 35) tendo um leve aumento na resistência aos 28 dias conforme indicado no gráfico.

Figura 36 - Comparativo RGA e RGB RT em MPa



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando as amostras de gesso reciclado RGA e RGB que passaram pelo processo de calcinação num mesmo tempo e temperatura (figura 36) pode-se observar que em todos os casos as amostras de RGB apresentaram resistência a tração na flexão superior ou muito próxima em relação às amostras de RGA tanto para 7 quanto para 28 dias.

4.7 Análise global dos resultados

Na tabela 14 estão apresentados de forma global os resultados obtidos com os ensaios realizados.

Tabela 14 - Análise global dos resultados

Amostra	Tempo de Pega		DS (N/mm ²)	RC 28 dias (MPa)	RT 28 dias
	IP (min)	FP (min)			
GC	25	35	12,1	5,43	2,96
RGA2.150	x	x	9,16	2,16	1,21
RGA4.150	8	14	10,24	2,38	1,30
RGA2.170	3	4	9,5	2,92	1,48
RGA4.170	43	50	12,16	4,36	2,72
RGA2.190	11	18	14,28	4,04	2,39
RGA4.190	88	90	11,15	4,11	2,47
RGB2.150	32	73	16,38	4,95	3,21
RGB4.150	35	80	12,97	4,85	2,71
RGB2.170	30	46	13,84	4,92	3,01
RGB4.170	45	55	12,41	4,43	3,07
RGB2.190	10	22	14,37	4,56	2,72
RGB4.190	32	51	14,34	4,73	3,2
RGC2.150	41	47	13,06	4,9	3,37
RGC2.170	44	53	12,76	4,9	3,05
RGC2.190	41	63	12,68	5,13	3,32

Obs. Os melhores resultados estão marcados na cor verde e os piores resultados estão marcados na cor laranja

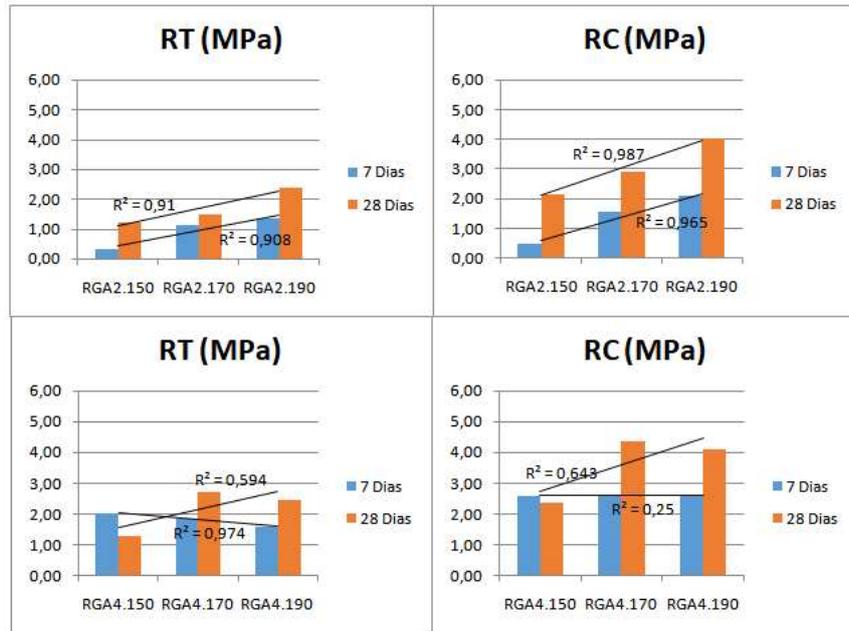
Fonte: Elaborado pela autora.

A tabela 14 nos apresenta de forma geral os resultados obtidos com essa pesquisa e nos permite uma visão mais ampla das características de cada uma das amostras de resíduo de gesso estudadas. Com o objetivo de fazer uma indicação das melhores alternativas de processamento dos resíduos as amostras foram classificadas de acordo com o seu desempenho nos ensaios. Em primeiro lugar foi analisada a resistência a tração na flexão visto que os resíduos são provenientes de placas de forro e esta é uma propriedade bastante solicitada devido a sua aplicação. O segundo ponto analisado foi a resistência a compressão seguida da dureza superficial. Em negrito está marcado o melhor resultado de cada ensaio.

Em verde encontram-se marcadas as cinco amostras que apresentaram os melhores resultados sendo em verde mais escuro a que obteve, de forma geral, melhor resultado nos ensaios e em laranja são as amostras com os três piores resultados obtidos. A amostra RGC2.150 que possuiu apenas grãos passantes na peneira 0,075 e foi calcinada pelo período de duas horas a 150°C foi escolhida como a melhor opção pois dentre todas foi a que apresentou a melhor resistência a tração

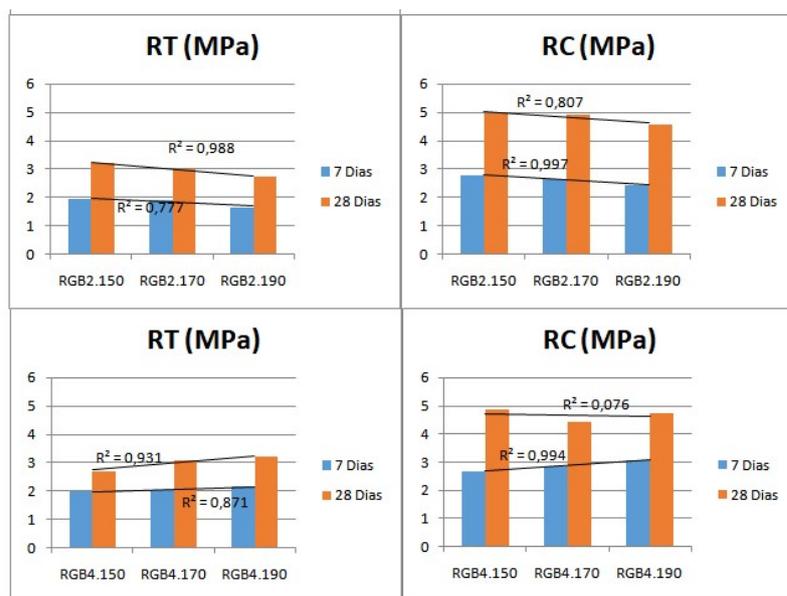
na flexão seguida de bons resultados na resistência a compressão e na dureza superficial. O tempo de pega também foi levado em consideração, pois um tempo de início de pega mais elevado facilita a aplicação da pasta de gesso como revestimento em paredes internas.

Figura 37 - Comparativo RT e RC em MPa para o RGA



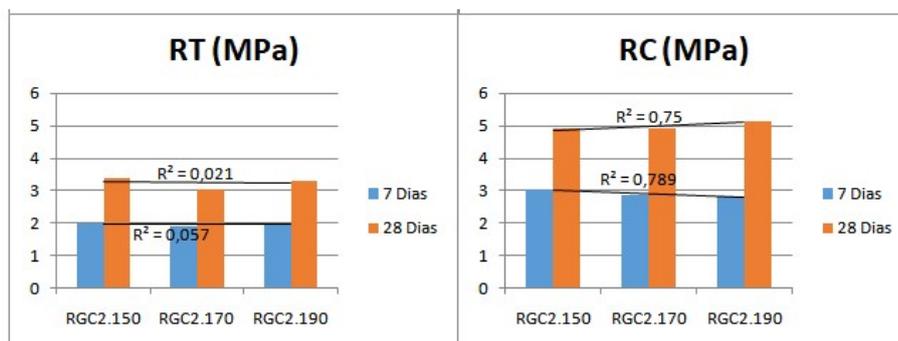
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 38 - Comparativo RT e RC em MPa para o RGB



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 - Comparativo RT e RC em MPa para o RGC



Fonte: Elaborado pela autora.

Fazendo um comparativo entre os gráficos de resistência a tração na flexão e resistência a compressão (figuras 37, 38 e 39) podemos notar que todas as amostras apresentaram um comportamento bem similar em ambos os ensaios frente às alterações de tempo e temperatura de calcinação. Isso nos leva a crer que ambas propriedades são influenciadas da mesma forma pelas variáveis tempo e temperatura. Em todos os casos a resistência a compressão atingiu valores mais altos do que a resistência a tração na flexão.

Podemos notar também que o RGB tem uma tendência a perder resistência com o aumento de temperatura para o tempo de duas horas (figura 38), seria interessante analisar também esse resíduo em temperaturas de calcinação mais baixas a fim de buscar uma possível curva nos resultados que possa a vir nos indicar uma temperatura de trabalho que nos forneça resultados melhores ainda.

5. CONCLUSÃO

Um problema que vem se tornando cada vez mais expressivo na sociedade atual é a questão do descarte de resíduos de construção e demolição aliado ao elevado consumo de insumos e recursos naturais que são necessários para a execução das obras. Com base nessa problemática este trabalho buscou estudar uma alternativa tecnicamente viável para a reciclagem de resíduos de gesso coletados em obras reduzindo assim a quantidade de resíduos gerados assim como a quantidade de recursos naturais extraídos.

Os processos aplicados em laboratório para a transformação dos resíduos em gesso em pó na sua forma hemi-hidratada se mostraram eficientes e após a re-

hidratação foi possível moldar corpos de prova utilizando somente resíduo de gesso sendo assim comprovada a reversibilidade da reação. Seguem as considerações feitas após uma análise geral dos resultados obtidos após os ensaios.

Quanto à influência do tempo de queima no processo de calcinação: O acréscimo de duas horas no processo de calcinação proporcionou um maior tempo de início e final de pega para as amostras promovendo maior trabalhabilidade na aplicação de pastas de revestimento. Porém, esse acréscimo de tempo não se mostrou benéfico para a dureza superficial das mesmas. Quanto a resistência a tração na flexão e a compressão o acréscimo de 2hs no tempo de calcinação tende, de forma geral, a trazer melhores resultados na resistência de ambos os ensaios.

Quanto à influência da temperatura no processo de calcinação: Para análise da variável “temperatura” é interessante considerarmos de fora separada os resíduos RGA, RGB e RGC visto que apresentaram comportamentos distintos. O resíduo RGA além do aumento do tempo de pega apresentou uma melhora nas suas propriedades de dureza superficial, resistência a tração na flexão (RGA2) e resistência a compressão (RGA2) com o aumento da temperatura, para o tempo de 4hs os resultados não foram conclusivos. Já o resíduo RGB além da diminuição do tempo de pega com o aumento da temperatura sofre redução na resistência encontrada nos ensaios de dureza superficial, tração na flexão e compressão. O resíduo RGC, com exceção do aumento do tempo final de pega com o aumento da temperatura, não sofreu influências significativas nos demais ensaios frente essa variável.

Quanto às diferentes granulometrias utilizadas: O resíduo de gesso C (RGC) apresentou maiores tempos de pega em relação ao RGB podendo indicar uma pega mais demorada quando se tem partículas mais finas. Já no ensaio de dureza superficial as amostras de RGC apresentaram resultados inferiores as amostras de RGB equivalentes. Nos resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão e resistência a compressão a diferença entre os valores encontrados para as amostras de RGC e RGB não se mostrou significativa indicando que a granulometria não teve influência nessas propriedades.

Quanto aos diferentes tipos de resíduos utilizados: Fazendo um comparativo entre os tipos de gesso estudados, RGA e RGB, pode-se dizer que o resíduo RGB apresentou desempenho superior em todos os ensaios realizados obtendo assim os melhores resultados. Tal desempenho pode estar relacionado a uma provável

quantidade inferior de impurezas presentes no resíduo RGB e a diferença granulométrica das amostras observada no ensaio de granulometria a laser.

Levando em conta as variáveis analisadas determinou-se que, dentre os resíduos estudados e os procedimentos executados, a melhor alternativa de reciclagem seria o processo realizado no resíduo RGC2.150 que possuiu apenas grãos passantes na peneira 0,075 e foi calcinado pelo período de duas horas a 150°C. Essa escolha foi feita com base em uma análise conjunta dos resultados de resistência a tração na flexão, resistência a compressão, dureza superficial e tempo de pega. Os resultados obtidos indicaram que o gesso possui potencial técnico de ser reciclado e reutilizado em obras de construção civil, porém, mais estudos são necessários para que suas propriedades fiquem de acordo com o exigido pela norma técnica brasileira.

REFERÊNCIAS

ANBT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12128: Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro, 2019

_____ NBR 12129: Gesso para construção civil – Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019.

_____ NBR 13207: Gesso para construção civil - requisitos. Rio de Janeiro, 2017a.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. N. Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. 13p 2010

CABRAL, A. E.; MOREIRA, K. M. Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil. Ceará: Sinduscon, 2011.

CAMARINI, G.; PINHEIRO, S. M. M.; VIEIRA, G. L. Utilização do resíduo de gesso de construção na produção de componentes. 17p. ENARC, 2017

CDRA: Construction and Demolition Recycling Association. Disponível em <<https://cdrecycling.org/materials/gypsum-drywall/>> Acesso em: 23/11/2021

CCDM – UFSCAR: Ensaios de dureza: Qual o mais indicado para cada material? Disponível em <<http://www.ccdm.ufscar.br/2020/05/20/ensaios-de-dureza-qual-o-mais-indicado-para-cada-material/>> Acesso em: 22/05/2022

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro: Gipsita. Recife, 2001. 23 p. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-gipsita>>. Acesso em: 14.11.2021.

ERBS, A. Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado e gesso comum ao longo dos ciclos de reciclagem. 127p. 2016

FERNANDES, C. A. H. Reciclagem de resíduos de gesso de construção para uso em revestimentos, placas de forro e molduras de acabamento. 236p. 2016

GERALDO, H.R.; PINHEIRO, S.M.M.; SILVA, J. S.; ANDRADE, H.M.C.; DWECK, J.; GONÇALVES, J.P.; CAMARINI, G. Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. Journal of Cleaner Production, v.164, p.288-300, 2017.

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil – relatório de pesquisa. Brasília: Livraria IPEA, 2012. 34p.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; MIRANDA, L. F. R.; *et al.* Strategies For Innovation In Construction Demolition Waste Management In Brazil. CIB World Building Congress. Anais... Toronto: Proceedings.Toronto, ANTAC. , 2004

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Alternativas De Gestão Dos Resíduos De Gesso. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, p. 1–9, 2003.

MME: Ministério de Minas e Energia. Relatório Técnico 34 - Perfil Da Gipsita. . Brasília, 2009

MONTEIRO, J.H. et al. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

PINHEIRO, S.M.M. Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes. 2011. 304f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas.

PLANALTO DA REPÚBLICA. Lei 6.938/81 de 31 de Agosto de 1981. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em 15/10/2021

REDE GLOBO. Construção civil consome até 75% da matéria-prima do planeta. Disponível em: < <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>>. Acesso em 25/09/2021

SEBANELLA. Conheça o processo de reciclagem do gesso. Disponível em: <<https://www.sebanella.com.br/post/conheca-o-processo-de-reciclagem-do-gesso-5.html>>, 2014. Acesso em 24/11/2021.

SEBANELLA. Sebanella em números e resultados. Disponível em: < <https://www.sebanella.com.br/post/sebanella-em-numeros-resultados-que-marcam-o-crescimento-da-nossa-empresa-10.html>>, 2020. Acesso em 24/11/2021.

SOUZA, L. L. Reciclagem de placas de gesso acartonado. Belo Horizonte, 2013

SOUZA, N. S., SILVA, J. C. Estudo do aproveitamento do resíduo de gipsita na produção de argamassa. 12p. CONAPESC 2018

VASQUES, C. A. R.; BIRCK, F. B.; ARNOLD, D. M.; KAZMIERCZAK, C. S. Análise das propriedades físicas e mecânicas de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil. RBES v.6, n.1, p.08-15. 2019