



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CAMILA SILVA SANTOS

PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REBOCO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO
DE GESSO

ESTÂNCIA
2023

CAMILA SILVA SANTOS

PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REBOCO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO
DE GESSO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância, SE,
como requisito para a obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

ESTÂNCIA
2023

Santos, Camila Silva.
S237p Produção de argamassa de reboco com incorporação de resíduo de gesso. /
Camila Silva Santos. - Estância, 2023.
61 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira.

1. Resíduo de gesso. 2. Sustentabilidade. 3. Argamassa. I. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Oliveira,
Herbet Alves de. III. Título.

CDU: 666.91-033.2:502

CAMILA SILVA SANTOS

PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REBOCO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO
DE GESSO

Trabalho de conclusão de curso (TCC II) apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância, como
pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em
engenharia civil.

Aprovado em: 12.07.2023

BANCA EXAMINADORA

Herbet Alves de Oliveira

Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira, Dr.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

Fernanda Martins Cavalcante de Melo

Prof. Ms. Fernanda Martins Cavalcante de Melo, Ma.
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

Heni Mirna Cruz Santos

Profa. Ms. Heni Mirna Cruz Santos
INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

RESUMO

O gesso é um material bastante usado na construção civil, obtido pela desidratação do mineral gipsita, tem se tornado um desafio quando descartado, causando diversos problemas econômicos e ambientais. Buscando tornar a reutilização viável, estudos sobre a reutilização do gesso estão sendo desenvolvidos,. Diante disso, este trabalho tem como objetivo a produção de argamassa de reboco com reaproveitamento de resíduo de gesso, gerado na construção civil, que atenda aos requisitos da norma na substituição parcial da areia e cimento. Foram dosadas sete formulações, a partir da formulação de referência, na proporção de volume 1:2:5 (cimento, cal e areia). Uma formulação de referência sem substituição de resíduo de gesso, três formulações com substituição parcial da areia por resíduo, em 10%, 20% e 30%, e três formulações com substituição parcial de cimento por resíduo, em 5%, 10% e 20%, respectivamente. As argamassas produzidas foram analisadas quanto às suas propriedades no estado fresco (índice de consistência e massa específica aparente) e no estado endurecido (absorção de água, massa específica real, resistência à compressão e durabilidade). Os resultados obtidos foram analisados por meio da análise estatística ANOVA e comparados com resultados apresentados na bibliografia de estudos semelhantes. Os resultados apontam que as formulações com menores teor de substituição de resíduo de gesso apresentaram melhores resultados, destacando a formulação com substituição parcial da areia pelo resíduo de gesso no percentual de 5% que apresentou aumento na resistência à compressão, tornando a utilização do resíduo uma alternativa viável.

Palavras-chave: Resíduo de gesso. Sustentabilidade. Argamassa.

ABSTRACT

Gypsum is a material widely used in civil construction, obtained by dehydrating the mineral gypsum, it has become a challenge when discarded, causing several economic and environmental problems. Seeking to make reuse viable, studies on the reuse of gypsum are being developed. In view of this, this work aims to produce plastering mortar with the reuse of gypsum waste generated in civil construction, in the partial replacement of sand and cement. Seven formulations were dosed, starting from the reference formulation, in the proportion of volume 1:2:5 (cement, lime and sand). A reference formulation without replacement of gypsum residue, three formulations with partial replacement of sand by residue, in 10%, 20% and 30%, and three formulations with partial replacement of cement by residue, in 5%, 10% and 20 %, respectively. The mortars produced were analyzed regarding their properties in the fresh state (consistency index and apparent specific mass) and in the hardened state (water absorption, real specific mass, compressive strength and durability). The results obtained were analyzed using ANOVA statistical analysis and compared with results presented in the bibliography of similar studies. The results indicate that the formulations with lower levels of gypsum residue replacement showed better results, highlighting the formulation with partial replacement of sand by gypsum residue in the percentage of 5%, which showed an increase in compressive strength, making the use of the residue a viable alternative.

Keywords: Gypsum residue. Sustainability. Mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do processo produtivo	255
Figura 2 - Fluxograma do roteiro experimental da pesquisa	333
Figura 3 - Resíduo de gesso após secagem na estufa	Erro! Indicador não definido.5
Figura 4 - Resíduo de gesso após moagem no moinho de bolas	Erro!
Indicador não definido.6	
Figura 5 – Medição do espalhamento da argamassa	388
Figura 6 – Etapas de produção dos corpos de prova	399
Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão	40
Figura 8 - Corpos de prova submersos em solução ácida	41
Figura 9 - Curva granulométrica da areia	444
Figura 10 - Difratoograma de raios-X do resíduo de gesso	466
Figura 11 - Índices de consistência das argamassas	477
Figura 12 - Massa específica aparente das argamassas	488
Figura 13 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias	499
Figura 14 - Resultados do ensaio de absorção de água	50
Figura 15 - Massa específica real das argamassas	
5151	
Figura 16 - Resultados do ensaio de durabilidade das argamassas	5252

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos e indicações de uso das argamassas	20
Quadro 2 - Tipos de cimento Portland produzidos no Brasil	21
Quadro 3 - Propriedades físicas e químicas do cimento Portland	34
Quadro 4 - Propriedades físicas do agregado miúdo	34
Quadro 5 - Propriedades físicas da cal	35
Quadro 6 - Propriedades físicas do gesso	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resíduo de construção utilizados na produção da argamassa.	24
Tabela 2 - Composição química do resíduo de gesso (%).	27
Tabela 3 - Argamassas produzidas com incorporação de resíduo de gesso.	28
Tabela 4 - Formulação das argamassas em volume.	37
Tabela 5 - Formulação das argamassas em peso (g).	37
Tabela 6 - Resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland.	43
Tabela 7 - Resultados dos ensaios de caracterização da areia.	44
Tabela 8 - Resultados dos ensaios de caracterização da cal.	44
Tabela 9 - Análise química do resíduo de gesso.	45
Tabela 10 - Resultados da literatura para a massa específica do resíduo de gesso.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATTs- Áreas de Transbordo e Triagem

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

IFS – Instituto Federal de Sergipe

RCC – Resíduo de construção civil

RCD – Resíduo de construção e demolição

RG – Resíduo de gesso

Al_2O_3 – Óxido de alumínio

CaO – Óxido de cálcio

Fe_2O_3 – Óxido de ferro

K_2O – Óxido de potássio

MgO – Óxido de magnésio

MPa – Mega pascal

Na_2O – Óxido de sódio

NBR – Norma Brasileira

SiO_2 – Dióxido de silício

SO_3 – Óxido sulfúrico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	PANORAMA DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NO BRASIL	18
2.2	ARGAMASSA	19
2.2.1	Tipos de argamassa	19
2.2.2	Componentes da argamassa	20
2.2.2.1	<i>Cimento Portland</i>	20
2.2.2.2	<i>Agregado miúdo</i>	21
2.2.2.3	<i>Cal</i>	22
2.2.2.4	<i>Água</i>	23
2.3	ARGAMASSA COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO	23
2.4	GESSO	24
2.4.1	Produção do gesso	24
2.4.2	Emprego do gesso na construção civil	26
2.4.3	Reciclagem e reutilização do resíduo de gesso da construção civil	27
2.4.4	Argamassa com reaproveitamento de resíduo de gesso	28
2.4.5	Propriedades das argamassas com incorporação de resíduo de gesso e resíduo de construção e demolição	29
2.4.5.1	<i>Índice de consistência</i>	29
2.4.5.2	<i>Massa específica aparente</i>	30
2.4.5.3	<i>Resistência à compressão</i>	30
2.4.5.4	<i>Absorção de água</i>	31
2.4.5.5	<i>Durabilidade</i>	32
3	METODOLOGIA	33
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	33

3.1.1	Cimento Portland	34
3.1.2	Areia	34
3.1.3	Água	34
3.1.4	Cal	35
3.1.5	Resíduo de gesso	35
3.1.6	Ensaio de análise química por FRX	36
3.1.7	Caracterização mineralógica	36
3.2	DEFINIÇÃO DO TRAÇO E FORMULAÇÃO DA ARGAMASSA	36
3.3	PROCEDIMENTO DE DOSAGEM E PREPARO DAS ARGAMASSAS	37
3.4	MÉTODOS DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	38
3.4.1	Estado fresco	38
3.4.1.1	<i>Índice de consistência</i>	38
3.4.1.2	<i>Massa específica aparente</i>	38
3.4.2	Estado endurecido	39
3.4.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	39
3.4.2.2	<i>Massa específica real</i>	40
3.4.2.3	<i>Absorção de água</i>	40
3.4.2.4	<i>Durabilidade</i>	41
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	43
4.1.1	Cimento Portland	43
4.1.2	Areia	43
4.1.3	Cal	44
4.1.4	Resíduo de gesso	45
4.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	46
4.2.1	Caracterização das argamassas em estado fresco	46
4.2.1.1	<i>Índice de consistência</i>	46

4.2.1.2	<i>Massa específica aparente</i>	47
4.2.2	Caracterização das argamassas no estado endurecido	48
4.2.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	48
4.2.2.2	<i>Absorção de água</i>	49
4.2.2.3	<i>Massa específica real</i>	50
4.2.2.4	<i>Durabilidade</i>	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A construção civil apresenta como umas de suas principais características o grande consumo de recursos naturais e, por decorrência, a responsabilidade por grande parte da geração de resíduos, especialmente em países como o Brasil, onde boa parte dos processos construtivos são realizados de forma manual. O reaproveitamento de resíduos tem sido alvo de temas, sobretudo, quando se fala em sustentabilidade, cuja preocupação é aperfeiçoar suas tecnologias a fim de reduzir a exploração desses recursos (SOKEN, 2015; FILHO, 2021).

No Brasil, de acordo com pesquisa realizada pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon), no ano de 2020 foram gerados aproximadamente 100 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD). Desse total, apenas aproximadamente 20% é reaproveitado, enquanto a maior parte é descartada, na maioria das vezes, em aterros sanitários (ABRECON, 2022).

O descarte irregular de resíduos em aterros sanitários pode gerar consequências para o meio ambiente e para saúde de uma população. A fim de reduzir tais impactos, faz-se necessário a implementação de políticas públicas como a resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que apresenta diretrizes e métodos para o manejo e descarte dos RCDs, que são classificados de acordo com o tipo e reciclabilidade do material. A classe “A” estão os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, na classe “B” os resíduos recicláveis para outras destinações, na classe “C” os resíduos para os quais não foram desenvolvidas aplicações economicamente viáveis e na classe “D” os resíduos considerados perigosos.

O gesso é um dos resíduos gerados na construção civil. É um material composto de sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) obtido por meio da calcinação da gipsita, que ocorre a partir do aquecimento do mineral. É muito usado na construção civil devido suas vantagens, como baixo custo, rápida execução e facilidade de manuseio. No entanto, o uso continuado acarreta na geração de grandes quantidades de resíduos (JOHN; CINCOTTO, 2003; BARZOTTO, 2017).

No Brasil, segundo o anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos do ano de 2020, o setor gesseiro apresenta déficit nas informações de dados estatísticos e indicadores de desempenho (BRASIL, 2020). Segundo Bezerra (2009), são produzidos no mundo aproximadamente 125 milhões de toneladas de gesso/ano, das quais o Brasil participa com cerca de 2 milhões de toneladas, com a produção voltada basicamente para suprir o consumo interno, aparecendo como 16º produtor mundial.

Segundo AHMED *et al* (2011), são gerados 15 milhões de ton./ano de resíduo de gesso no mundo. De acordo com o Sindicato da Indústria do Gesso do estado de Pernambuco – SINDUGESSO (2011), estima-se que cerca de 5% do gesso acartonado, 4% da fabricação de pré-moldados e 35% quando aplicado como revestimento em alvenaria, são transformados em resíduos durante a construção civil.

Devido a sua composição em que está presente os sulfatos, o gesso descartado de forma incorreta ao entrar em contato com umidade, material orgânico e água pode levar a contaminação do solo e do lençol freático, bem como acarretar na produção de gases tóxicos e inflamáveis, como o sulfídrico (H_2S) (GRASSI, 2018). De acordo com a resolução CONAMA nº 307/2002, alterada pela resolução CONAMA nº 431/2011, o gesso pertence a classe B, podendo ser reciclado para outras destinações (BRASIL, 2002).

Os resíduos de gesso (RG) devem ser coletados e armazenados de forma a evitar contatos com água, em seguida são direcionados para uma Área de Transbordo e Triagem (ATT), posteriormente o gesso passa por processos de beneficiamento, podendo ser utilizado novamente na cadeia produtiva (SALVATORE, *et al.*, 2012).

Após reciclado, o gesso é uma opção sustentável para o reuso. Seu uso é indicado na agricultura, onde atua na recuperação de solos sódicos. Além disso, como fertilizante, por ser fonte de enxofre e cálcio (GRASSI, 2018). Na construção civil, o gesso reciclado é utilizado em revestimento de paredes e tetos, na produção de blocos e telhas cerâmicas e incorporado na fabricação de materiais cimentícios como argamassa de assentamento e revestimento, substituindo parcialmente o aglomerante (cimento) ou o agregado miúdo (areia) (LAPA, 2011; KOCHER, 2016).

Com a finalidade de avaliar o comportamento e a influência das propriedades físicas e mecânicas da argamassa de reboco com incorporação de resíduo de gesso, pesquisas têm sido realizadas. Castro, *et al.* (2019) estudou a influência do gesso reciclado na resistência à compressão axial de uma argamassa produzida com adição parcial, de 0%, 3%, 7% e 15%, em substituição ao cimento Portland. Observou-se que na medida em que é adicionado o gesso reciclado na argamassa, a resistência à compressão axial diminui, a absorção de água aumenta. Analisando os resultados, foi observado que para todos os teores de substituição, as argamassas apresentaram valores de resistência à compressão superiores a 8 MPa, resultado superior ao valor mínimo exigido pela NBR 13281/2005 que estabelece o valor de 1,5 MPa.

Santos (2018) analisou a argamassa com incorporação de 0% e 15% de resíduo de gesso acartonado. Na argamassa com incorporação de resíduo foi observado maior porosidade e aumento no tempo de

cristalização, fazendo com que a argamassa demorasse mais para atingir um enrijecimento preliminar, além de gerar uma redução de mais de 50% da resistência à compressão, em relação à argamassa sem adição do resíduo.

Brun (2018) avaliou as propriedades físico-mecânicas de uma argamassa com incorporação de resíduo de bloco cerâmico e resíduo de gesso, em substituição parcial do agregado miúdo, em seis traços com proporções diferentes. Na argamassa com substituição parcial de resíduo de gesso, pôde-se observar que a trabalhabilidade teve um aumento.

Levando em consideração a busca por desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis e buscando tornar a reutilização viável, o presente estudo objetiva a produção de argamassa de reboco com a incorporação de resíduo de gesso que atenda aos requisitos da norma e sua viabilidade como substituto parcial do agregado miúdo (areia) e do aglomerante (cimento).

1.1 JUSTIFICATIVA

A quantidade de resíduos produzidos pela construção civil tende a aumentar cada vez mais, sobretudo nos grandes centros urbanos, onde a população é cada vez maior (TEIXEIRA, 2010). O gesso é um dos materiais mais desperdiçados durante uma obra. A perda de parte do material pode ser justificada pelo tempo de trabalho útil do gesso antes de ocorrer o endurecimento ser curto e pela falta de preparo na mão de obra para aplicação. O volume de resíduo gerado durante o uso do gesso constitui um problema de ordem econômica e ambiental (SOUSA E OLIVEIRA, 2020).

Cavalcante Filho, *et al.* (2019), afirma que a reciclagem do resíduo de gesso proveniente da construção civil pode evitar o acúmulo em lixões à céu aberto e terrenos baldios. Quando descartado de forma inadequada em aterros, pode acarretar sérios problemas ambientais devido às suas características físicas e químicas, que em contato com ambiente pode se tornar tóxico. A facilidade de solubilidade promove a sulfurização do solo, que acaba criando bolsões onde desestabiliza o terreno e também ocorre a contaminação do lençol freático, causando problemas econômicos e relevantes impactos ecológicos (CAETANO et al., 2017).

Tendo em vista a necessidade de diminuir o descarte inadequado e contaminação do meio ambiente, além de reduzir a extração do minério gipsita e de possibilitar o reuso do gesso a pesquisa visa viabilizar o reaproveitamento de resíduo de gesso, descartado na construção civil na produção de argamassas de reboco.

1.2 OBJETIVOS

Nos tópicos a seguir estão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.2.1 **Objetivo Geral**

O presente estudo tem por objetivo geral produzir uma argamassa de reboco com reaproveitamento de resíduo de gesso, gerado na construção civil, que atenda aos requisitos da norma.

1.2.2 **Objetivos Específicos**

- Explorar a bibliografia acerca da incorporação de resíduo de gesso;
- Conhecer as características dos materiais integrantes da argamassa por meio dos ensaios de caracterização;
- Obter formulações para produção de argamassa com resíduo de gesso;
- Analisar a influência da substituição parcial da areia e do cimento pelo resíduo de gesso nas propriedades: índice de consistência, massa específica aparente, absorção de água, massa específica real, resistência à compressão e durabilidade;
- Relacionar e analisar os dados experimentais alcançados nessa pesquisa com resultados disponíveis na literatura para sistemas semelhantes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico será abordado um estudo baseado em normas e em outros trabalhos científicos semelhantes ao tema apresentado, possibilitando, dessa forma, embasamento teórico para análise e comparação de resultados.

2.1 PANORAMA DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NO BRASIL

A construção civil é um setor que contribui para o constante desenvolvimento do país, uma vez que é grande geradora de mão de obra e renda. Em contrapartida, é um setor causador de grande impacto ambiental, não somente pelo consumo de recursos naturais em toda sua cadeia produtiva, mas também pelo descarte irregular dos resíduos de construção e demolição (RCD) (LARUCCIA, 2014).

O processo cíclico que compreende a construção de uma edificação tem início com o planejamento da edificação, desenho e design arquitetônico, seguido da construção, o gerenciamento da obra, manutenção e, por fim, a demolição. Com isso, a geração de RCD começa antes da construção em si (SOARES e COELHO 2013).

Considerando o crescimento populacional e a urbanização, caso não haja ações efetivas que visem reduzir a geração de resíduos sólidos, a tendência é que o índice de resíduo torne-se incontrolável. Uma grande parte desses resíduos gerados são provenientes dos serviços construtivos. Em 2020, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram coletados pelos municípios brasileiros aproximadamente 47 milhões de toneladas de RCD, representando um aumento de 5,5% com o ano de 2019, o que equivale a 221,2 kg de resíduo por habitante. (HOORNWEG; BHADA-TATA, KENNEDY, 2013; ABRELPE, 2021).

Condutas permanentes de gerenciamento de resíduos da construção civil (GRCC) definem um cenário sustentável para a prevenção da geração de resíduos e, por sua vez, agressão ao meio ambiente. O gerenciamento correto pode possibilitar a diminuição da necessidade de uso de recursos naturais, além de reduzir a geração de RCD a serem descartados para aterros específicos, uma vez que grande parte pode ser reciclado. A localização de aterros para descarte está se tornando cada vez mais difícil em virtude da crescente urbanização (GANGOLELLS, et al., 2014; BAKSHAN, et al., 2017).

No Brasil, existem duas legislações nacionais que estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos sólidos e resíduos de construção civil (RCC). A Lei Federal nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a resolução nº 307/2002 do CONAMA, e suas

alterações posteriores, que estabelecem práticas para reduzir os impactos ambientais dos resíduos da construção civil (BRASIL, 2002; BRASIL, 2010).

2.2 ARGAMASSA

De acordo com a NBR 13281 (2005), argamassa é uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, podendo, ou não conter aditivos que conferem propriedades de aderência e endurecimento. A sua produção pode ser feita no canteiro de obra ou do tipo industrializada.

De acordo com a NBR 13281/2005 o valor de resistência mínimo para argamassas de revestimento de paredes e tetos é de 1,5 MPa. Segundo a ASTM C 270 (2007), as argamassas de revestimento que possuem cal em sua composição devem apresentar resistência média à compressão mínima de 2,50 MPa. O traço das argamassas influencia na resistência mecânica, de tal forma que a resistência à tração e à compressão evolui com limitadas adições de cal.

2.2.1 Tipos de argamassa

De acordo com a NBR 13281 (2005), os tipos de argamassa são definidos e classificados conforme o uso e aplicação de cada uma delas, como mostrado no Quadro 1:

Tipos de argamassa	Indicação
Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação	Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
Argamassa para assentamento de alvenaria de estrutural	Indicada para a ligação de componente de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
Argamassa para complementação de alvenaria (encunhamento)	Indicada para fechamento de vedação, após a última fiada de componentes.
Argamassa para revestimento interno	Indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
Argamassa para revestimento externo	Indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
Tipos de argamassa	Indicação
Argamassa de uso geral	Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.

Argamassa para reboco	Indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.
Argamassa decorativa em camada fina	Argamassa de acabamento indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
Argamassa decorativa em monocamada	Argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Quadro 1 - Tipos e indicações de uso das argamassas (NBR 13281, 2005).

2.2.2 Componentes da argamassa

As argamassas podem ser constituídas dos mais diversos tipos de materiais, sendo os principais: aglomerantes (cimento, cal e gesso), agregados (naturais e artificiais), adições (resíduos reciclados, filito cerâmico, material pozzolânico, pó calcário, saibro, solo fino, vermiculita, fibras etc.) aditivos (incorporador de ar, retardador de pega, hidrofugante, redutor de permeabilidade, retentor de água, etc.), e água. A porcentagem utilizada de cada material vai depender da finalidade da argamassa, tipo de aplicação e desempenho desejado (SANTOS; FIGUEIREDO, 2019).

As principais propriedades das argamassas devem-se principalmente à dosagem e ao tipo de material empregado em sua produção. Desta maneira é de fundamental importância conhecer a função de cada material que constitui as argamassas (MATOS, 2013).

2.2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, não se decompõe quando submetido novamente a ação da água Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002).

Segundo Bauer (2000), o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com adição de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições que modificam suas propriedades.

O cimento é utilizado nas argamassas por sua capacidade de endurecimento, por ser um aglomerante hidráulico o mesmo endurece em contato com a água. Além disso, confere resistência e aderência a argamassas (DUBAJ, 2000).

Segundo Dubaj (2000), a composição química do cimento é a maior responsável por seu comportamento, mas a finura do material também é importante. Quanto maior a finura do cimento, maior sua capacidade aglutinante e com isso há um aumento de sua resistência, além de ajudar em uma melhor retenção de água. O cimento ideal para argamassas deve apresentar pega e ganho de resistência gradativo, para não sofrer fissuras devido à retração hidráulica e a secagem.

De acordo com a NBR 16697 (2018), existem no Brasil oito principais tipos de cimento Portland, atendendo aos mais variados tipos de obras. Esses oito tipos de cimento são divididos em duas categorias, o cimento Portland comum e o cimento Portland composto. No Quadro 2 são apresentados os tipos de cimentos fabricados e distribuídos no Brasil.

Tipo	Sigla	Classe
Comum	CP I	25, 32, 40
Composto	CP II	25, 32, 40
Alto-forno	CP III	25, 32, 40
Pozolânico	CP IV	25, 32
Alta resistência inicial	CP V – ARI	-
Resistência aos sulfatos	RS	25, 32, 40
Baixo calor de hidratação	BC	25, 32, 40
Branco estrutural	CPB	25, 32, 40

Quadro 2 - Tipos de cimento Portland produzidos no Brasil (GIRARD, 2014).

Dentre a variedade de tipos de cimento é importante saber escolher o cimento adequado para cada situação. Deve-se entender que existem opções que melhor se aplicam a cada atividade realizada. Cada tipo de cimento tem uma influência diferente nas propriedades da argamassa ou concreto, em propriedades como resistência à compressão, impermeabilidade e resistência aos agentes agressivos. No entanto, essa influência pode ser modificada com aumento ou diminuição da quantidade de água e de cimento (GONÇALVES, 2015).

2.2.2.2 Agregado miúdo

Segundo a NBR 9935 (2011) a areia é definida como um agregado miúdo, originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou através de processos industriais. É

classificada quanto à sua origem, podendo ser areia do tipo natural proveniente de ações da natureza; areia artificial proveniente de processos industriais; areia reciclada oriunda de processos de reciclagem e areia de britagem oriunda do processo de cominuição mecânica de rocha.

A areia é extremamente importante na preparação da argamassa, pois reduz a utilização de aglomerantes uma vez que preenche os vazios da mistura, ela diminui a retração da massa e contribui para o aumento da resistência à compressão da pasta (SIMÕES; SILVA, 2016; DUBAJ, 2000).

A quantidade de areia adicionada na argamassa influencia na resistência à aderência da pasta. No entanto, garante a durabilidade pela redução da retração. Para alcançar essas características é necessário que a areia possua tamanhos contínuos, pois, se a mesma for muito fina pode prejudicar a aderência dificultando a hidratação do cimento e obstruindo os poros da base (ISAIA, 2017).

2.2.2.3 Cal

A cal é um elemento consumido em larga escala pela construção civil, principalmente durante o preparo de argamassa para o assentamento ou revestimento de paredes. É proveniente de rochas calcárias ou magnesianas e pode ser encontrada em cal virgem, cal hidratada e cal hidráulica (MARCELLO, 2018).

A cal virgem é obtida através do processo de calcinação da rocha calcária em fornos com temperaturas elevadas de em torno de 900°C. Durante este processo são formados os óxidos, de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO), esta não é aplicada diretamente na obra, pois deve, necessariamente, passar pela hidratação, seja no momento de sua produção ou durante o preparo da argamassa no canteiro ou na central de mistura (SOUZA, 2013).

A cal hidratada é a mistura da cal virgem moída com uma quantidade exata de água, composta principalmente de hidróxido de cálcio, ou da mistura de hidróxido de cálcio e de magnésio por fim, a cal hidratada é separada da não hidratada por meio de peneiramento. Sua aparência é a de um pó extremamente fino e leve na cor branca. Esse procedimento é exotérmico, liberando uma grande quantidade de calor, fazendo com que seja um processo perigoso (MARCELLO, 2018).

A cal hidráulica pode ser definida como um produto de transição entre a cal virgem e o cimento Portland. É um resultado da calcinação de calcários argilosos, processo que produz a combinação da sílica-quartzo com o hidróxido de cálcio e os minerais argilosos, formando uma porcentagem relativamente alta de compostos com propriedades hidráulicas (GUIMARÃES, 2002).

Para a argamassa, a cal funciona como um ligante onde a principal função é unir-se com os blocos eficientemente de forma duradoura, tanto no assentamento quanto no revestimento. Outro papel da cal na argamassa é cobrir os vazios dos blocos, cimentando-os, pelo processo de recristalização dos hidróxidos e da reação química com o anidrido carbônico do ar, dando a aderência da argamassa nos blocos (GUIMARÃES, 2002).

2.2.2.4 Água

A água é um recurso utilizado a fim de regular a consistência da mistura, sua adição é feita até alcançar a trabalhabilidade desejada, seu teor deve atender ao traço preestabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria. A água potável é considerada como a mais indicada para elaboração de produtos à base de cimento Portland. Não devem ser utilizadas águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis. Em geral, a água que serve para o amassamento da argamassa é a mesma utilizada para o concreto e deve seguir a NBR 15900/2009 (ABCP, 2021).

2.3 ARGAMASSA COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

Um dos grandes problemas ambientais atuais, seja no Brasil ou no mundo, é a disposição incorreta de resíduos sólidos em áreas urbanas e através do constante desenvolvimento da humanidade tem-se uma infinidade de tipos de resíduos dispostos irregularmente, trazendo passivos ambientais e transtorno para sociedade (MENEZES, 2020).

Como forma de reduzir esses impactos vários tipos de resíduos de construção têm sido utilizados na produção de argamassas, como apresentados na Tabela 1. Santos (2019) substituiu a areia natural por areia reciclada em diferentes percentuais e observou que todas as formulações tiveram desempenho semelhante ao da argamassa de referência quanto à resistência à compressão, tendo em vista que apenas o traço com 100% de substituição ficou consideravelmente abaixo dos demais. Nascimento (2019) e Knob, *et al.* (2019) substituíram a areia natural, em diferentes percentuais, por resíduo de granito e RCC, respectivamente, e observaram um aumento na resistência mecânica. Menezes (2020), Nascimento (2019) e Jain (2022) substituíram o cimento por resíduo de granito e resíduo de corte de mármore, respectivamente, e observaram redução na resistência mecânica devido à redução do elemento aglomerante. Já Brun (2018) substituiu areia natural por resíduo de bloco cerâmico e observou aumento na relação água/cimento e na resistência da argamassa.

Tabela 1 - Resíduo de construção utilizados na produção da argamassa.

Autor	Material utilizado	Material substituído	Percentual	Resistência à compressão (MPa)	Traço
Santos, E (2019)	AR	Areia	0%, 20%, 50%, 60%,	22,3; 23,4; 21,7 ;10,0	1:3
Menezes (2020)	Granito	Cimento	0%, 5%, 10%, 20%	11; 9,04; 10,22; 9,3	1:1:5
Nascimento, A (2019)	Granito	Cimento	5%, 10%, 15%, 20%	3,82; 3,58; 2,97; 2,80	1:2:6
Nascimento, A (2019)	Granito	Areia	5%, 10%, 20%	3,52; 4,52; 5,17	1:2:6
Knob, et al (2019)	RBC	Areia	5%, 25%, 50%	3,64; 4,33; 5,41	1:1:6
Brun, F (2018)	cerâmico	Areia	0%, 50%	8,70; 12,52	1:2:4
Jain, et al (2022)	Mármore	Cimento	0%, 10%, 20%, 30%	6,9; 7,1; 6,2; 5,7	1:3

Fonte: A autora, 2023.

Legenda: AR – areia reciclada; RBC- resíduo de bloco cerâmico

2.4 GESSO

O gesso representado pela fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gipsita), é amplamente encontrado na superfície terrestre e é utilizado como ligante. A gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado encontrado na composição mineralógica de um tipo particular de rocha sedimentar (JHON; CINCOTTO, 2007).

2.4.1 Produção do gesso

A matéria-prima, passa por trituração por meio de britagem, em seguida é peneirada e sua indicação de uso é de acordo com sua granulometria. A gipsita com granulometria fina passa pelo processo de calcinação, hidratação e moagem para uso em construção civil, e a gipsita com granulometria grossa para uso em cimento e usos agrícolas (JOHN, CINCOTTO, 2007). Na Figura 1 é apresentado o

processo de produção do gesso.

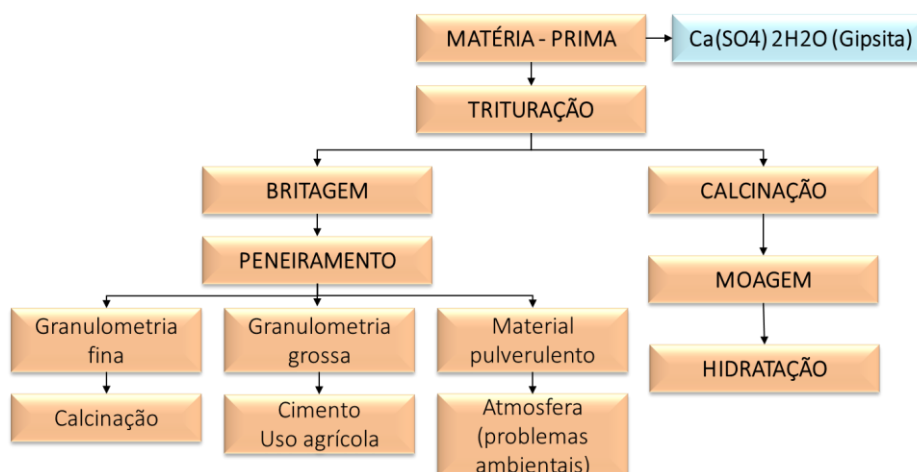


Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo do gesso (KOCHEM, 2016).

A extração da gipsita é realizada a céu aberto realizada através de perfuratrizes, pás mecânicas, bombas d'água, tratores, caminhões e outros. A exploração é feita através de explosivos que geram diferentes tamanhos e formas da pedra. A gipsita pode ser encontrada perto da superfície e em profundidades de até vinte metros (LIMA, 2011).

Após a extração da gipsita, as rochas são trituradas com o objetivo de reduzir sua granulometria, a tamanhos que não ultrapassem vinte milímetros, granulometria necessária para que proceda a calcinação do material. Para a britagem e a moagem são utilizados britadores de mandíbula e moinhos de martelo. Em alguns casos a britagem é executada em duas etapas em circuito fechado com peneiras vibratórias a seco, garantindo a dimensão máxima dos grãos do mineral. A gipsita britada, moída e peneirada pode, ainda, conter certa umidade, em torno de 10%, que deve ser controlada por um processo de secagem. Em seguida, pode ser transportada para calcinação (LIMA, 2011).

De acordo com Munhoz (2008), a calcinação é o processo térmico pelo qual a gipsita é desidratada. O material é calcinado numa faixa de temperatura que varia de acordo com o composto que deseja se originar. Neste processo são utilizados fornos que podem variar basicamente em quatro tipos: panela, marmita, rotativo tubular e tipo marmita rotativo. Sendo que o forno tipo panela está em extinção, isto porque é um dos tipos mais antigos. Estes equipamentos são assentados sobre uma fornalha de alvenaria, onde se utiliza lenha ou outro combustível para combustão. (MUNHOZ, 2008).

A desidratação da gipsita ocorre em temperaturas acima de 100°C, obtendo, dessa maneira, diferentes formas de anidrita (CaSO_4). Entre as temperaturas de 110°C a 160°C é obtido o hemihidrato de cálcio

($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), o gesso. Entre as temperaturas de 170°C e 250°C o hemidratado de cálcio se transforma em anidrita tipo III (CaSO_4), em temperaturas superiores a 250°C obtém-se a anidrita tipo II, totalmente desidratada. Na temperatura de 1200°C obtém-se um material inerte sem aplicações industriais (URBANO, 2013; KOICHEM, 2016).

John e Cincotto (2007) definem hidratação como o fenômeno químico no qual o material anidro em pó (gesso) é transformado em dihidrato, resultado de uma reação química do pó com a água. Na hidratação, o hemidrato e a anidrita retomam a quantidade de água perdida na calcinação, regenerando o sulfato de cálcio dihidrato. A velocidade das reações é diferente, em ordem decrescente sendo: anidrita III, hemidrato, anidrita II, anidrita I (JOHN; CINCOTTO, 2007). A hidratação do gesso se dá segundo a Equação 1 a seguir:



Tavares *et al.* (2010) explicam que um dos fatores que mais influenciam a reação de hidratação e, conseqüentemente, o tempo de pega é a relação água/gesso. Quanto maior for essa relação, menor será a cinética da reação de hidratação e maior o tempo de pega, devido à grande quantidade de água que aumenta o intervalo de tempo necessário para saturar a solução.

2.4.2 Emprego do gesso na construção civil

O gesso tem algumas propriedades que favorecem a sua aplicação como material para construção, como exemplo, a pega e endurecimento rápido, plasticidade da pasta, bom acabamento na superfície, estabilidade volumétrica, boa isolamento térmica, acústica e resistência ao fogo (SOUSA; OLIVEIRA, 2020).

A mais utilizada aplicação do gesso é no setor da construção civil. Ele pode ser aplicado em qualquer área interna e de diferentes maneiras. Em obras que possuem portas corta-fogo, o gesso é a melhor opção para a confecção do esquadro dessas portas, pois ele é um material resistente ao fogo, garantido uma maior segurança (MUNHOZ, 2006).

Dentre as várias aplicações do gesso na construção civil, é possível citar algumas delas como: decoração de interiores, massa para revestimento interno, placas pré-moldadas para forros e acabamento, painéis para paredes divisórias e fabricação de painéis de gesso acartonado (ALVES, 2007).

As placas de *Drywall* são utilizadas devido suas finalidades e cada cor é apropriada para determinado lugar. Os rebaixos conhecidos como forro de gesso também são bastante procurados por conta de um acabamento mais sofisticado, para quem busca sofisticação e design arquitetônicos e por fim, gesso liso que é ótimo para se moldar e apresenta boa aderência para revestimentos de paredes e tetos (VOGADO e DA SILVA, 2019).

2.4.3 Reciclagem e reutilização do resíduo de gesso da construção civil

Os resíduos de gesso (RG) são totalmente recicláveis graças a capacidade que o material possui de manter suas propriedades naturais durante o uso, e tornam-se facilmente recicláveis para novos produtos de gesso por meio de um ciclo de calcinação e reidratação (KOCHEM, 2016).

O resíduo de gesso apresenta composição química constituída majoritariamente de óxido de enxofre (SO_3), seguido de óxido de cálcio (CaO), originados do mineral gipsita, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do resíduo de gesso (%).

SO_3	CaO	Al_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	Referências
61,50	33,20	1,12	0,46	0,30	0,12	Wu, et al (2022)
41,7	33,8	1,4	-	-	-	An, et al (2022)

Fonte: A autora, 2023.

O processo de reciclagem do resíduo de gesso é mais complexo que o processo de produção a partir da matéria-prima, exigindo mais mão de obra para remoção de contaminantes, sendo necessário um sistema de segregação dos resíduos de gesso. A granulometria representa a distribuição dos tamanhos dos seus grãos, sendo um indicador da plasticidade da pasta e lisura da superfície de acabamento. As temperaturas de calcinação mais elevadas produzem maiores tempos de pega da pasta, que podem ser elevadas ainda mais se o gesso sofrer uma segunda cozedura (JHON e CINCOTTO, 2007).

O processo de reciclagem do resíduo de gesso tem início na coleta, que pode ser realizada em canteiros de obra. O material deve ser segregado, a fim de eliminar outros tipos de agregados e impurezas, em seguida é submetido a moagem, peneiração e calcinação, podendo ser reutilizado na construção civil (SOUSA, OLIVEIRA, 2020).

Segundo Munhoz (2008) existem diversas maneiras de utilização dos resíduos de gesso. São utilizados na área de construção civil como fabricação de pré-moldados de gesso, na agricultura para

controle do pH do solo, controle de odores em estábulos, secagem de lodo de esgoto e também na indústria de produção do gesso, reprocessando os resíduos de produtos pré-moldados. De acordo com a resolução nº 307/2002 do CONAMA o gesso pertence a classe B, podendo ser reciclado para outras destinações.

No Brasil, o processo de reciclagem submetendo o resíduo novamente a calcinação ainda não é economicamente viável, uma vez que o país possui muitas reservas de gipsita e o custo do produto (gesso) é baixo. No entanto, do ponto de vista ambiental a reciclagem do gesso é uma excelente alternativa e uma solução ecologicamente correta (SOUSA, OLIVEIRA, 2020).

2.4.4 Argamassa com reaproveitamento de resíduo de gesso

A temática de sustentabilidade no setor da construção civil é bastante expressiva com o uso de materiais reciclados. Este sistema é qualificado por normas técnicas e promove benefícios de ordem ambiental, social e econômica que favorecem a preservação do meio ambiente e contribui para a redução nos custos de produção. (CASTRO, 2019).

O resíduo de gesso gerado na obra tem sido alvo de pesquisas para seu reaproveitamento em argamassas. Na Tabela 3, é apresentado o resultado de pesquisas em que o resíduo de gesso substitui o cimento, areia ou foi adicionado na mistura. Castro (2019) substitui o cimento pelo resíduo nas proporções de 0%, 3%, 7% e 15% e notou redução da resistência mecânica de até 50%, uma vez que a trabalhabilidade da argamassa não foi prejudicada. Santos (2018) adicionou o resíduo na proporção de 0% e 15% e constatou melhorias na argamassa com relação ao tempo de cristalização e resistência à compressão, entretanto, apresentou redução da resistência mecânica de cerca de 60%. Brun (2018) substituiu o agregado miúdo (areia) pelo resíduo na proporção de 0% e 15% e observou que, em relação a trabalhabilidade, na proporção de 15% houve um aumento na relação água/cimento e redução da resistência à compressão de cerca de 50%.

Tabela 3 - Argamassas produzidas com incorporação de resíduo de gesso.

Autor	Resíduo utilizado	Material substituído	Percentual	Resistência (MPa)	Traço
Castro (2019)	Gesso	Cimento	0%,3%,7%,15%	17,02; 11,52; 9,87; 8,36	1:3
Santos (2018)	Gesso	-	0%,15%	36,6; 12,33	1:3:0,15
Brun, <i>et al.</i> (2018)	Gesso	Areia	0%,15%	14,34; 7,15	1:2:4

Fonte: A autora, 2023.

Na tabela 3 foi observado que houve uma redução de resistência mecânica nas argamassas analisadas, porém os resultados ainda são satisfatórios com relação aos parâmetros pré-estabelecidos pela NBR 13.281/2001 da ABNT. Silva et. al. (2014), esclarece que mesmo havendo a diminuição da resistência mecânica, não representa um impedimento da sua utilização, considerando que o valor mínimo estabelecido pela norma seja atendido. Os resultados apresentam uma possibilidade técnica de uso do resíduo de gesso na argamassa para a construção civil.

2.4.5 Propriedades das argamassas com incorporação de resíduo de gesso e resíduo de construção e demolição

Neste tópico são apontadas e definidas as propriedades essenciais das argamassas, assim como os resultados obtidos por outros autores, referentes ao comportamento das mesmas quando incorporado resíduos de gesso e resíduos de construção e demolição às suas composições.

Foram analisados trabalhos que produziram argamassas cimentícias que utilizaram o cimento e ou o agregado miúdo como material a ser substituído pelo resíduo de gesso, entretanto, devido à escassez desses estudos na literatura, algumas pesquisas que empregaram os resíduos de construção e demolição como substituto parcial do agregado miúdo, também, serão contempladas, para fins de comparação.

2.4.5.1 Índice de consistência

A consistência é um dos principais fatores da trabalhabilidade da argamassa, e pode ser definida como a maior ou menor facilidade pela qual a argamassa tende a resistir à deformação sob ação de cargas (CARASEK, 2010).

Brun (2018) analisou o índice de consistência da argamassa por meio de amostras contendo percentuais de 0% e 15% de resíduo de gesso como substituto parcial do agregado miúdo. Constatou-se que para chegar ao limite de consistência estabelecido de $250\text{mm} \pm 10\text{ mm}$, necessitou de uma maior hidratação para a argamassa com incorporação do resíduo de gesso, e que a união dos agregados não forma uma curva uniforme no consumo de água. Silva (2006, p.25) discorre que a consistência é influenciada pelo teor de finos, uma vez que aumentam a compacidade da pasta da argamassa.

Antunes, et al. (2019), incorporaram resíduo de gesso, seco em temperatura ambiente, como substituto parcial do agregado miúdo na produção de argamassa. Através da análise de amostras

contendo percentuais de 0%, 10%, 20% e 30% de substituição, foi avaliado o índice de consistência. Os resultados mostraram que aumentar a porcentagem de resíduo de gesso misturado à argamassa fez com que seu índice de consistência aumentasse, o respectivo aumento pode ser atribuído ao fato de que as partículas de gesso são mais suaves e lisas do que o agregado miúdo.

Nascimento (2019) investigou a influência do resíduo de corte de granito na consistência das argamassas. A partir da análise de amostras com percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo em substituição parcial do cimento, constatou um leve aumento no índice de consistência para as argamassas com percentuais de 15% e 20%, uma provável redução na coesão, no entanto, as demais amostras não apresentaram alteração.

2.4.5.2 *Massa específica aparente*

A massa específica aparente, também conhecida como densidade, representa a relação massa/volume, levando em consideração a água e o ar incorporado na argamassa. Essa propriedade varia com o teor de ar incorporado, principalmente se for incorporado por meio de aditivos, e com a densidade dos materiais constituintes, principalmente o agregado (CARASEK, 2017).

Antunes, *et al.* (2019), analisaram a massa específica aparente nas argamassas com substituição parcial do agregado miúdo natural pelo resíduo de gesso nos percentuais de 0%, 10%, 20% e 30%. Foi observado que do ponto de vista estatístico não houve redução na massa específica aparente das amostras quando o resíduo foi adicionado.

2.4.5.3 *Resistência à compressão*

A resistência à compressão é a propriedade das argamassas suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas, devidas à abrasão superficial, ao impacto e à contração termo higroscópica. Depende do consumo e natureza dos aglomerantes e agregados utilizados na mistura, assim como dos métodos de produção. A resistência aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e reduz com a relação água/cimento (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

Brun (2018) analisou a resistência à compressão nas argamassas por meio de amostras contendo percentuais de 0% e 15% de resíduo de gesso, para as idades de 14 e 28 dias. Já Santos (2018) avaliou a resistência à compressão da argamassa produzida com incorporação de resíduo de gesso acartonado, nos percentuais de 0% e 15%, para as idades de 7 e 28 dias. Analisando os resultados, observou-se

que os corpos de prova com incorporação do resíduo de gesso apresentaram desempenho inferior à argamassa de referência, porém ainda sendo satisfatório com relação aos parâmetros pré-estabelecidos pela norma ABNT NBR 13281-1/2023. A argamassa com incorporação de resíduo apresentou desempenho inferior à argamassa de referência.

Castro, *et al.* (2019) estudaram a influência da incorporação do resíduo de gesso na produção de argamassas, substituindo parcialmente o cimento nos percentuais de 0%, 3%, 7% e 15% para as idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Com base nas leituras realizadas, observou-se que todas as formulações com adição de resíduo apresentaram menor resistência à compressão quando comparadas à formulação de referência. Mas, ainda assim, para todos os períodos de cura, as argamassas com adição do resíduo de gesso apresentaram variância positiva de resistência à compressão para cada idade.

Antunes, *et al.* (2019) estudaram a influência do resíduo de gesso, na resistência à compressão das argamassas, através da análise de amostras contendo 0%, 10%, 20% e 30% do resíduo em substituição parcial ao agregado miúdo, para as idades de 14 e 28 dias. Analisando os resultados, observou-se que a resistência à compressão das amostras contendo 10% e 20% de resíduo aos 28 dias foi maior que aos 14 dias, confirmando que o cimento foi hidratado, indicando a viabilidade do resíduo em argamassas.

2.4.5.4 Absorção de água

A absorção de água tem grande influência nas demais propriedades, é a capacidade da argamassa de reter água em seus poros, durante um intervalo de tempo, sob pressão atmosférica (BAUER, 2019).

Santos (2019) analisou a absorção de água nas argamassas por meio de amostras contendo percentuais de 0%, 20%, 50%, 60%, 80% e 100% de areia reciclada, substituindo parcialmente o agregado miúdo. Através do ensaio, conclui-se que as amostras com maiores percentuais de areia reciclada apresentaram aumento na absorção de água. Essa variação de absorção entre as argamassas com areia natural e reciclada, se dá provavelmente ao melhor empacotamento da argamassa sem substituição. A absorção de água das argamassas está diretamente ligada ao índice de vazios, o agregado reciclado por possuir uma granulometria mais grossa do que o agregado natural, consequentemente, faz com que as argamassas com maiores teores de substituição tenham índices de vazios mais elevados.

Antunes, *et al.* (2019), avaliaram a absorção de água da argamassa produzida com incorporação de resíduo de gesso, como substituto parcial do agregado, através da análise de amostras contendo percentuais de 0%, 10%, 20% e 30% de substituição. Foi observado que as amostras com maior teor

de incorporação de resíduo apresentaram um maior índice de vazios, logo, um aumento na absorção de água.

2.4.5.5 *Durabilidade*

Durabilidade é a propriedade que a argamassa possui de manter-se em um bom estado, conservando suas características físicas e mecânicas, resistindo às condições agressivas a ela imposta durante um intervalo de tempo (SANTOS, 2008).

Matos, *et al.* (2012), avaliaram o efeito do resíduo de vidro na durabilidade das argamassas, por meio do ataque externo a sulfatos. Foram produzidos corpos de prova contendo percentuais de 0% e 10% de resíduo de vidro em substituição parcial do cimento, que passaram por leituras ao longo de 26 semanas. Com base nas leituras realizadas, observou-se que a amostra contendo 10% de resíduo de vidro apresentou uma resistência significativa ao ataque por sulfatos, em relação à amostra de referência.

3 METODOLOGIA

Essa pesquisa tem como objetivo a produção de argamassa de reboco com a incorporação de resíduo de gesso que atenda aos requisitos da norma. Com intuito de organizar melhor a pesquisa, foi esquematizado o processo experimental utilizado na pesquisa, apresentado na Figura 2.

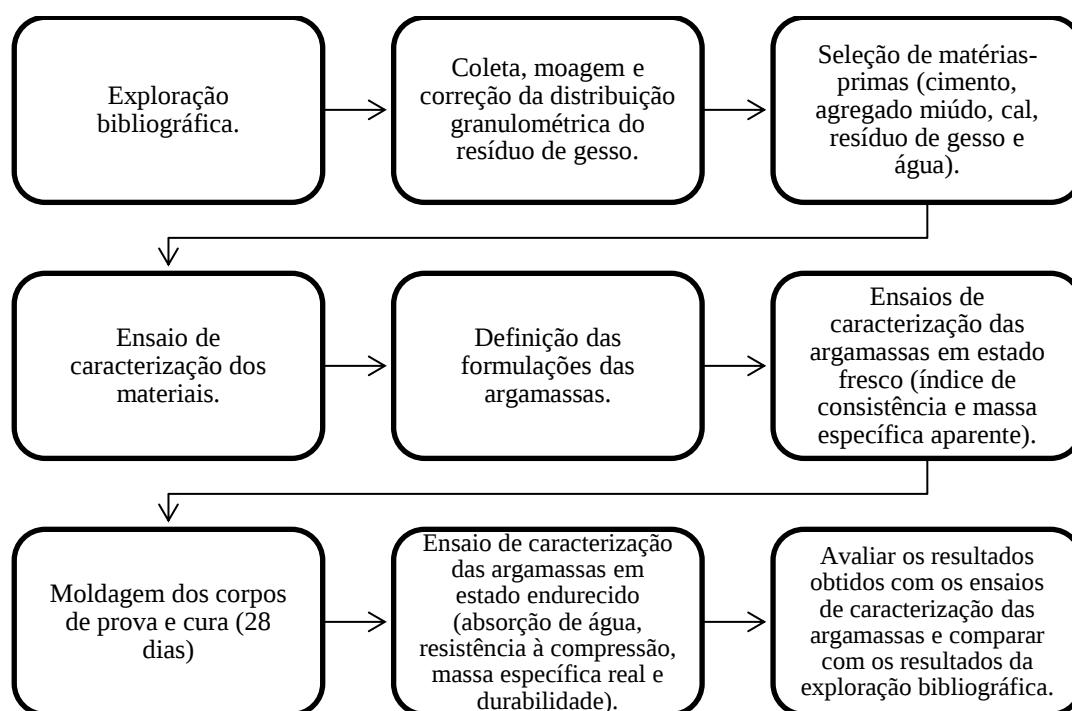


Figura 2 - Fluxograma do roteiro experimental da pesquisa (A autora, 2023).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para produção das argamassas foram caracterizados conforme as normas apresentadas a seguir. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Sergipe, Campus Estância (IFS).

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland tipo II com adição de Fíler com classe de resistência à compressão de 32 MPa (CP II F 32), cujas propriedades físicas foram determinadas seguindo as normas descritas no Quadro 3.

Características	Normas
Índice de finura	ABNT NBR 11579:2013
Consistência normal	ABNT NBR 16606:2018
Tempo de pega	ABNT NBR 16607:2018
Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:2019

Quadro 3 - Propriedades físicas do cimento Portland (A autora, 2023).

3.1.2 Areia

A areia utilizada para a produção da argamassa foi uma areia natural, adquirida no município de Estância, foi seca em estufa a 105 ± 5 °C e passada na peneira nº 12 (1,18 mm). Antes do uso, a areia foi submetida aos ensaios de caracterização de suas propriedades, de acordo com as normas apresentadas no Quadro 4.

Características	Normas
Composição granulométrica	ABNT NBR 7211: 2011
Massa específica aparente	ABNT NBR 7185:2016
Massa unitária	ABNT NBR 7211: 2011

Quadro 4 - Propriedades físicas do agregado miúdo (A autora, 2023).

3.1.3 Água

A água utilizada na argamassa foi proveniente do sistema de abastecimento público do município de Estância-SE, fornecido pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), estando de acordo com a ABNT NBR 15900-1:2009, que especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo das pastas cimentícias.

3.1.4 Cal

A cal utilizada na argamassa foi uma cal hidratada, submetida aos ensaios apresentados no Quadro 5.

Características	Norma
Massa específica	ABNT NM 16916:2021
Massa específica aparente	ABNT NM 16916:2021

Quadro 5 - Propriedades físicas da cal (A autora, 2023).

3.1.5 Resíduo de gesso

O resíduo de gesso utilizado foi proveniente de resíduo de construção e caracterizado por meio dos ensaios apresentados no Quadro 6. O resíduo de gesso foi coletado, seco em estufa em temperatura de 100 ± 5 °C e triturado em moinho de bola, para a obtenção de grãos menores.

Características	Norma
DRX Difractometria de raios X	-
Análise química por FRX	-
Massa específica	ABNT NM 16916:2021
Massa específica aparente	ABNT NM 16916:2021

Quadro 6 - Propriedades físicas do gesso (A autora, 2023).

Após coletado o resíduo, o mesmo foi seco em estufa (Figura 3), em temperatura de (105 ± 5) °C. Em seguida, foi armazenado em saco plástico. Para a utilização na produção da argamassa o resíduo foi moído no moinho de bola (Figura 4) e passado na peneira ABNT 40 (0,295 mm).



Figura 3 - Resíduo de gesso após secagem na estufa (A autora, 2023).



Figura 4 - Resíduo de gesso após moagem no moinho de bolas (A autora, 2023).

3.1.6 Ensaio de análise química por FRX

Com o objetivo de se determinar a composição química do resíduo de gesso, os percentuais dos óxidos constituintes das amostras de resíduo foram determinados através de medidas semiquantitativas pela técnica de fluorescência de raios X (FRX). As medidas foram realizadas em vácuo, em um equipamento da marca Bruker, modelo S4 Pioneer, utilizando amostras com massa em torno de 10 g, que foram prensadas no formato de corpos cilíndricos com diâmetro 20 mm e espessura de 3 mm, aproximadamente.

3.1.7 Caracterização mineralógica

A difração de Raios X (DRX), é uma técnica utilizada na determinação a nível atômico, para identificar estruturas cristalinas, por meio de incidência de Raios X. Esse procedimento foi empregado para identificar as fases cristalinas do resíduo de gesso, de acordo com os padrões obtidos no banco de dados do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*), e analisados pelo software Match, versão Demo. Para a realização desse método, foi necessário que o resíduo de gesso fosse seco em estufa a uma temperatura de 105 ± 5 °C por 24 h, e posteriormente, passadas em uma peneira de abertura 0,177m. Foi usado um equipamento D8-Advance Bruker, que aplica radiação Cu K α 1 ($\lambda = 1,5418$ Å) em modo de varredura contínua, em intervalo angular de 5 a 70° (2 θ), com velocidade de varredura 1°/min.

3.2 DEFINIÇÃO DO TRAÇO E FORMULAÇÃO DA ARGAMASSA

Foram utilizadas argamassas com traços comumente empregados em obras, produzidas utilizando-se os seguintes materiais: cimento, areia, cal e resíduo de gesso. Para avaliação das propriedades das argamassas foram produzidas sete formulações, a partir do traço 1:2:5 (cimento, cal e areia), uma

formulação de referência, denominada Ref, sem incorporação de resíduo de gesso, três formulações denominadas A₁₀, A₂₀ e A₃₀ com substituição parcial da areia pelo resíduo, em 10%, 20% e 30%, respectivamente, e três formulações denominadas C₅, C₁₀ e C₂₀ com substituição parcial do cimento por resíduo, em 5%, 10% e 20%, respectivamente, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Formulação das argamassas em volume.

Matéria Prima	Ref	A₁₀	A₂₀	A₃₀	C₅	C₁₀	C₂₀
Cimento	1	1	1	1	1	1	1
Areia	5	5	5	5	5	5	5
Cal	2	2	2	2	2	2	2
Gesso (%)	-	10*	20*	30*	5**	10**	20**
a/C	1,65	2,25	2,85	3,60	1,65	1,65	1,65

*Porcentagem em substituição a areia.

** Porcentagem em substituição ao cimento.

Fonte: A autora, 2023.

A formulação das argamassas expressa em massa está representada na Tabela 5.

Tabela 5 - Formulação das argamassas em massa (g).

Matéria Prima	Ref	A₁₀	A₂₀	A₃₀	C₅	C₁₀	C₂₀
Cimento	205,97	205,97	205,97	205,97	195,67	185,37	164,78
Areia	1730,15	1557,13	1384,12	1211,11	1730,15	1730,15	1730,15
Cal	224,92	224,92	224,92	224,92	224,92	224,92	224,92
Gesso	0	173,02	346,03	519,01	10,3	20,6	41,19
Água	339,86	463,43	587,01	741,49	322,85	305,86	271,89

Fonte: A autora, 2023.

3.3 PROCEDIMENTO DE DOSAGEM E PREPARO DAS ARGAMASSAS

Os materiais utilizados na preparação da argamassa foram devidamente pesados em balanças eletrônicas de precisão, e produzidas utilizando-se um misturador mecânico de eixo vertical (argamassadeira) com capacidade de 5 litros, da marca Edutec. O processo de adição dos materiais e tempo de mistura das argamassas seguiram os procedimentos descritos na ABNT NBR 7215:2019.

3.4 MÉTODOS DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Neste tópico, são apresentados e descritos os ensaios que foram realizados nas argamassas no seu estado fresco e no estado endurecido.

3.4.1 Estado fresco

Neste tópico serão apresentados os ensaios realizados para as formulações no estado fresco.

3.4.1.1 Índice de consistência

A determinação do índice de consistência foi realizada para todas as formulações, de acordo com a ABNT NBR 13276:2016. O princípio do ensaio consiste em medir o espalhamento da argamassa após ser submetida a 30 golpes na mesa de consistência (*flow table*), como mostrado nas Figura 5.



Figura 5 - Medição do espalhamento da argamassa (A autora, 2023).

3.4.1.2 Massa específica aparente

O ensaio de massa específica aparente da argamassa foi realizado de acordo com a ABNT NBR 9833:2009, que determina a massa específica do concreto fresco. No ensaio, a argamassa foi colocada num recipiente cilíndrico em três camadas através de adensamento manual por meio de 25 golpes em cada camada. Ao final do adensamento, a superfície é rasada e o recipiente é pesado.

A massa específica aparente foi calculada por meio da Equação 2:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \times 1000 \quad (2)$$

Onde:

ρ_{ap} : é a massa específica aparente do concreto, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

m : é a massa de concreto, expressa em quilogramas (kg);

V : é o volume do recipiente, expresso em decímetros cúbicos (dm^3).

3.4.2 Estado endurecido

Para a realização dos ensaios no estado endurecido, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Foram moldados seis corpos de prova para cada formulação, sendo 3 para resistência à compressão e 3 para massa específica, absorção de água e durabilidade. Os corpos de prova foram moldados em 4 camadas com 30 golpes, por camada, com soquete metálico, permaneceram nas fôrmas cilíndricas por 24 horas, em seguida foram desmoldados, e submetidos à cura úmida por 28 dias (Figura 6).

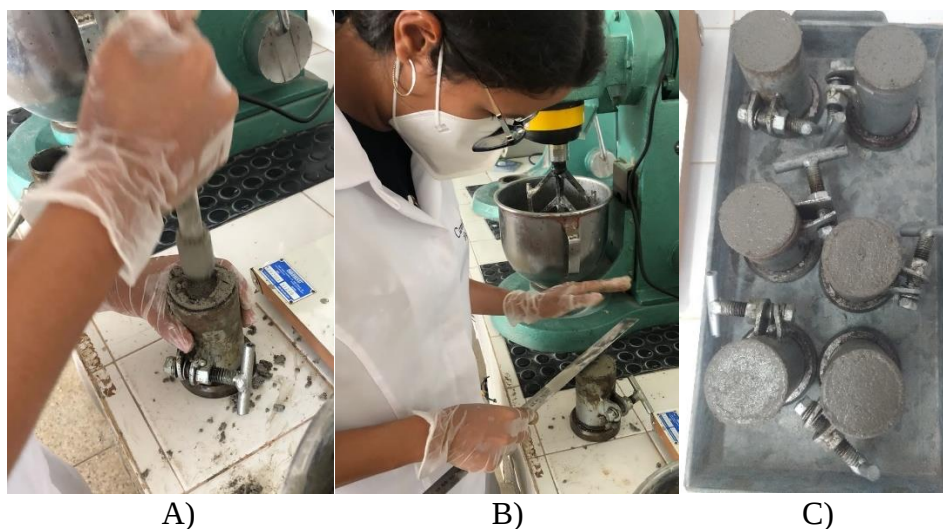


Figura 6 – Etapas de produção dos corpos de prova (A autora, 2023).

3.4.2.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi avaliada nas argamassas estudadas seguindo as recomendações da ABNT NBR 7215:2019, que apresenta diretrizes para determinação de resistência à compressão de corpos de provas cilíndricos. As rupturas dos corpos de prova foram realizadas aos 28 dias, na prensa hidráulica Pavitest HD-200T (Figura 7).

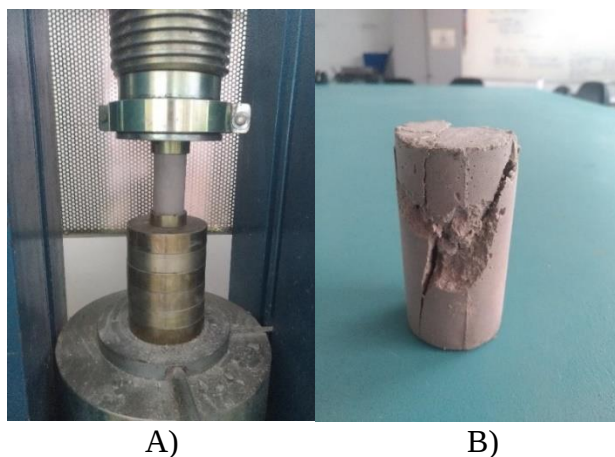


Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão (A autora, 2023).

3.4.2.2 *Massa específica real*

O ensaio para determinação da massa específica real das argamassas foi realizado de acordo com os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 9778:2009, calculado por meio da Equação 3:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (3)$$

Onde:

ρ_r : é a massa específica real, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_s : é a massa da amostra seca em estufa;

m_i : é a massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

3.4.2.3 *Absorção de água*

O ensaio de absorção de água da argamassa foi realizado através de uma adaptação da ABNT NBR 9778:2009, que determina os procedimentos para o ensaio de absorção de água. Após 28 dias de cura, três amostras de cada formulação foram colocadas em estufa à temperatura de (105 ± 5) °C, por período de 72 horas. Posteriormente, submersas em água à temperatura de (23 ± 2) °C, em seguida foram progressivamente levadas à ebulição, por um período de 3 horas. Após a ebulição, as amostras foram resfriadas e determinada sua massa submersa e a massa saturada.

A absorção de água é calculada através da Equação 4:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A : é a absorção de água, em porcentagem (%);

m_{sat} : é a massa da amostra saturada em água após a imersão e fervura;

m_s : é a massa da amostra seca em estufa.

3.4.2.4 Durabilidade

Para determinação da durabilidade, foi avaliada a perda de massa das formulações após imersão em solução ácida em 1 e 7 dias, seguido de secagem e escovação dos corpos de prova das argamassas. Após a desmoldagem, os corpos de prova foram curados por 28 dias. Em seguida, os corpos de prova foram secos em estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 24 horas e imergidos em solução de sulfato de sódio (Na_2SO_4) na concentração de 5% por 24h (Figura 8).



Figura 8 - Corpos de prova submersos em solução ácida (A autora, 2023).

As faces dos corpos de prova receberam 4 escovações, sendo 2 na horizontal e 2 na vertical, e 20 escovações na lateral do corpo de prova, em seguida foi determinada a massa dos corpos de prova.

O ensaio foi uma adaptação da norma ABNT NBR 13553:2012 que promove a escovação dos corpos de prova. O cálculo da durabilidade foi realizado por meio da perda de massa Equação 4:

$$\frac{P_i - P_F}{P_i} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

P_i : é o peso inicial seco do corpo de prova, em gramas (g);

P_f : é o peso final seco após a escovação do corpo de prova, em gramas (g).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados médios e os desvios padrões obtidos através dos ensaios de laboratório foram analisados por meio do método estatístico *ONE WAY ANOVA*. A ANOVA foi realizada através do programa Excel da Microsoft, versão 2019. A análise de variância tem como objetivo comparar a variação resultante de fontes específicas com a variação entre os indivíduos que deveriam ser semelhantes. A constatação da significância de uma determinada variável ou grupo de variáveis sobre uma variável dependente é constatada através da comparação entre um valor calculado ($F_{\text{calculado}}$) e os valores tabelados (F_{tabelado}) (distribuição de probabilidades de Fischer). Para que a influência seja considerada significativa, o $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ (RIBEIRO,1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais utilizados, bem como a análise das argamassas produzidas.

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados obtidos na caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas.

4.1.1 Cimento Portland

Os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização do cimento Portland CP II F-32 estão apresentados na Tabela 6. Com relação à consistência os resultados foram acima do padrão usual 220 ± 1 mm. O tempo de pega foi bom. A resistência mecânica apresentou resultados abaixo da norma aos 3 e 7 dias. Já a massa específica apresentou dentro dos padrões.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland.

Características	Unidade	Resultado	Requisitos normativos
Consistência normal	cm	31	-
Tempo de pega	min	165	≥ 60
Massa específica	g/cm ³	3,02	-
Resistência à compressão	-----	-----	-----
3 dias	MPa	6,57	≥ 10
7 dias	MPa	16,47	≥ 20

Fonte: A autora (2023).

4.1.2 Areia

Os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização da areia estão apresentados na Tabela 7. A Figura 9 apresenta o gráfico da curva granulométrica da areia normal utilizada nesta pesquisa.

De acordo com a NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 5) as areias que possuem módulo de finura entre os limites de $1,55 < MF < 2,2$ são classificadas como finas (zona utilizável inferior), entre $2,2 < MF < 2,9$ como médias (zona ótima) e de $2,9 < MF < 3,5$ como grossas (zona

utilizável superior). De acordo com os resultados obtidos, pôde-se observar que as amostras de areia se encontram na zona utilizável inferior, com módulo de finura igual a 1,77mm.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de caracterização da areia.

Características	Unidade	Resultado
Massa específica	g/cm ³	2,52
Massa unitária	g/cm ³	1,63

Fonte: A autora (2023).

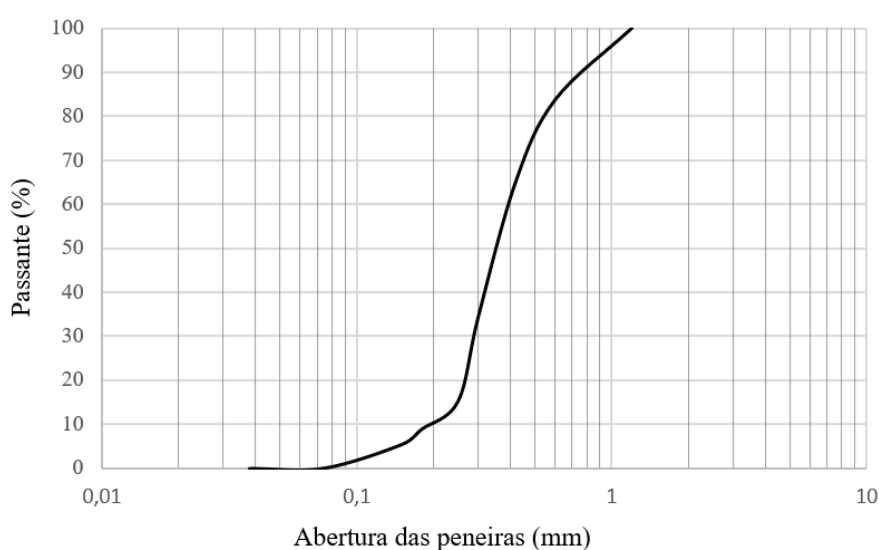


Figura 9 - Curva granulométrica da areia (A autora, 2022).

4.1.3 Cal

Os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização da cal estão apresentados na Tabela 8. A cal apresentou tanto massa específica, como a densidade aparente dentro de padrões, conforme trabalhos semelhantes (OLIVEIRA, 2022; MENDES, 2019).

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de caracterização da cal.

Características	Unidade	Resultado
Massa específica	g/cm ³	2,28
Massa específica	g/cm ³	0,53

Fonte: A autora, 2023.

4.1.4 Resíduo de gesso

Para obtenção da caracterização do material, o resíduo de gesso passou pelos ensaios de DRX, difratometria de raios X, massa específica e massa específica aparente.

Os dados obtidos por meio da análise química estão apresentados na Tabela 9. Pode-se observar que o resíduo de gesso é composto majoritariamente de óxido sulfúrico (70,11%) e óxido de cálcio (23,22%) de acordo com outros trabalhos (AN et al, 2022; WU et al, 2022).

Tabela 9 - Análise química do resíduo de gesso.

Composto Químico	Percentual (%)
CaO	23,22
SiO ₂	1,07
Al ₂ O ₃	0,23
Fe ₂ O ₃	0,03
SO ₃	70,11
MgO	0,23
K ₂ O	0,10
PF	5,01
Total	100,00

Fonte: A autora (2023).

A massa específica obtida para o resíduo de gesso foi de 2,79 g/cm³, o mesmo apresentou pequena diferença quando comparado aos resultados encontrados em pesquisas semelhantes, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados da literatura para a massa específica do resíduo de gesso.

Autor	Massa específica (g/cm³)
Antunes, et al., 2019	1,10
Brun, 2018	2,25

Fonte: A autora (2023).

Na Figura 10 está o difratograma de raios-X do resíduo de gesso. O resultado da análise mostra que o material em questão contém cálcio (Ca) oxigênio (O) e enxofre (S), característicos do gesso, como mostrado na Tabela 9 (ANTUNES, et al., 2019).

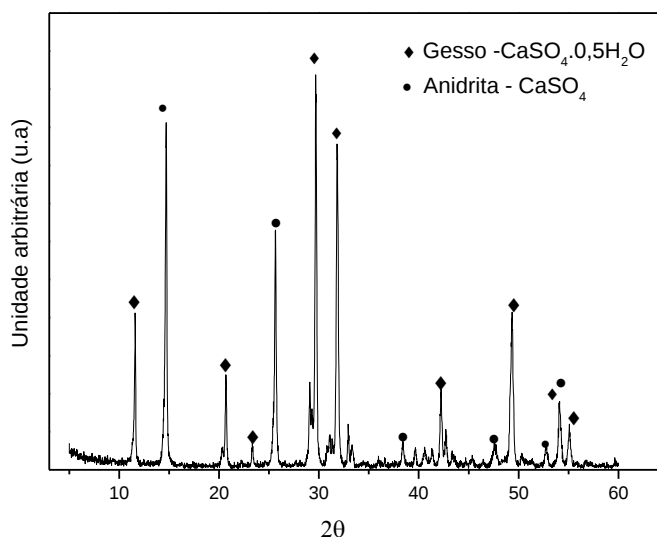


Figura 10 - Difratoograma de raios-X do resíduo de gesso (A autora, 2023).

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Nesse tópico serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas em estado fresco e estado endurecido.

4.2.1 Caracterização das argamassas em estado fresco

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos para a caracterização das argamassas em estado fresco.

4.2.1.1 *Índice de consistência*

Os resultados médios dos índices de consistência obtidos nos ensaios realizados nas argamassas são apresentados na Figura 11. Foi realizada a análise de variância para os resultados dos índices de consistência das argamassas, os resultados mostraram que existe uma diferença entre as médias ($F=12,61$; $f_{\text{crítico}}=2,85$ e $\text{valor-p}=6,06403\text{E-}05$).

Foi observado que ao aumentar a porcentagem de resíduo de gesso na argamassa em substituição a areia, seu índice de consistência diminuiu, em relação ao de referência (REF), sem resíduo, foi de 209 mm. Essa redução da consistência da argamassa está atribuída ao fato de o gesso ter sido seco em estufa a temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, passando pelo processo de calcinação, adquirindo novamente suas características ligantes naturais (FERREIRA, 2017). Já Silva (2006, p.25) discorre que a

consistência é influenciada pelo teor de finos, uma vez que aumentam a compacidade da pasta da argamassa.

Ressalta-se que as argamassas produzidas substituindo a areia pelo resíduo de gesso, demandaram uma maior hidratação, logo, o aumento do índice de consistência da formulação A₃₀ está atribuído a esse fator.

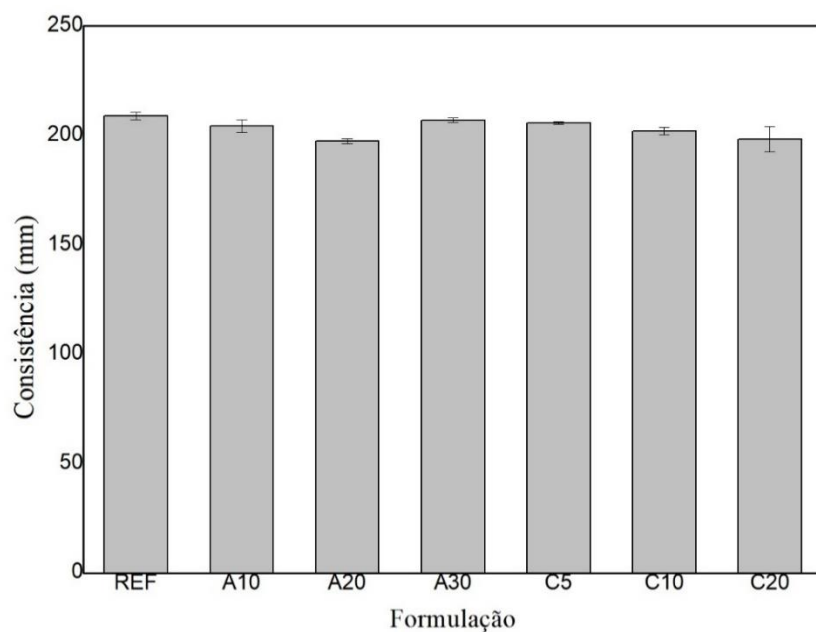


Figura 11 - Índices de consistência das argamassas (A autora, 2023).

4.2.1.2 *Massa específica aparente*

Os resultados médios da massa específica aparente obtidos nos ensaios realizados com as argamassas são apresentados na Figura 12.

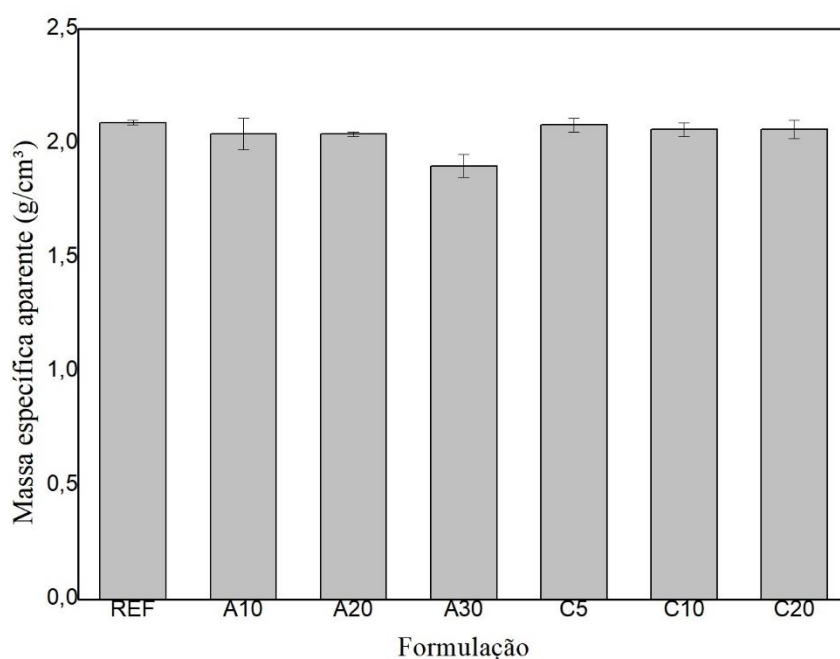


Figura 12 - Massa específica aparente das argamassas (A autora, 2023).

A fim de verificar se as substituições da areia e do cimento pelo resíduo de gesso exercem influência significativa na massa específica aparente, foi realizada a análise de variância ($F=7,68$; $f_{\text{crítico}}=2,85$ e $\text{valor-}P=8,53 \cdot 10^{-4}$) onde foi possível observar que existe uma diferença entre as formulações. Foi observado que a medida que se substituiu o gesso pelo cimento houve uma redução do índice de consistência, ou seja, a argamassa ficou mais pastosa. Já quando o gesso substituiu a areia o índice de consistência voltou a aumentar, visto que melhorou a capacidade aglomerante da argamassa, conforme outros autores (FERREIRA, 2017).

4.2.2 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos para a caracterização das argamassas em endurecido.

4.2.2.1 Resistência à compressão

Os resultados médios da resistência à compressão, obtidos nos ensaios realizados com as argamassas aos 28 dias, estão apresentados na Figura 13.

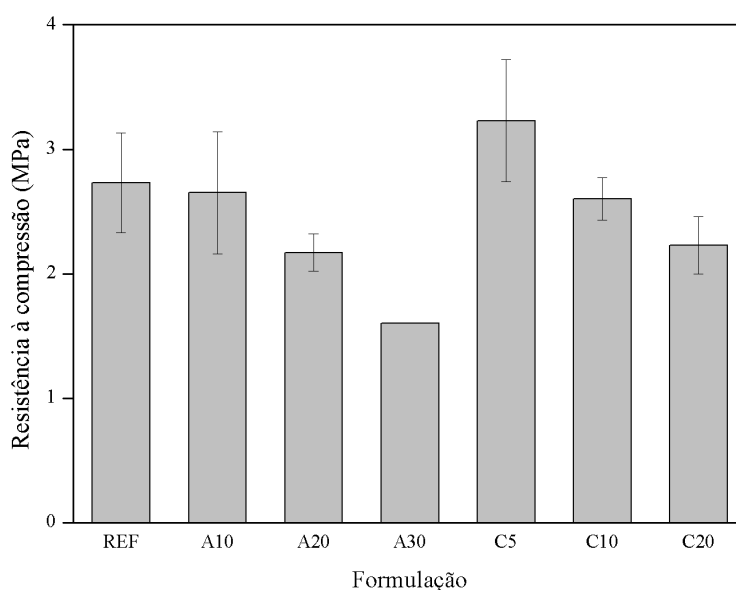


Figura 13 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (A autora, 2023).

Os resultados de cada formulação foram comparados por meio da análise de variância ($F=8,14$; $f_{\text{crítico}}=2,92$; e valor- $p=8,44 \cdot 10^{-4}$). Nota-se que as formulações apresentaram diferença significativa, e que as formulações A10 e C10 não apresentaram variação em relação a referência. Por sua vez, as formulações acima de 10% de incorporação do resíduo de gesso apresentou queda da resistência à compressão de até A20 (54%). Já quando o gesso substitui o cimento em 5%, foi observado acréscimo na formulação C5 (14%), e queda quando substitui maiores quantidades. O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{ H}_2\text{O}$) ao ser incorporado até o limite de 5% ocorre aumento da resistência. De fato o CaSO_4 tende a reduzir a resistência e durabilidade visto que ele reage com o CaO livre do cimento formando etringita. A qual em excesso pode promover expansão do elemento.

4.2.2.2 Absorção de água

Os resultados médios da absorção de água obtidos através dos ensaios realizados com as argamassas estão apresentados na Figura 14. Os resultados foram analisados através de análise de variância no ANOVA, onde foi possível observar que existe uma diferença significativa entre as médias ($F=43,14$; $f_{\text{crítico}}=2,85$ e valor- $P=3,07\text{E-}08$).

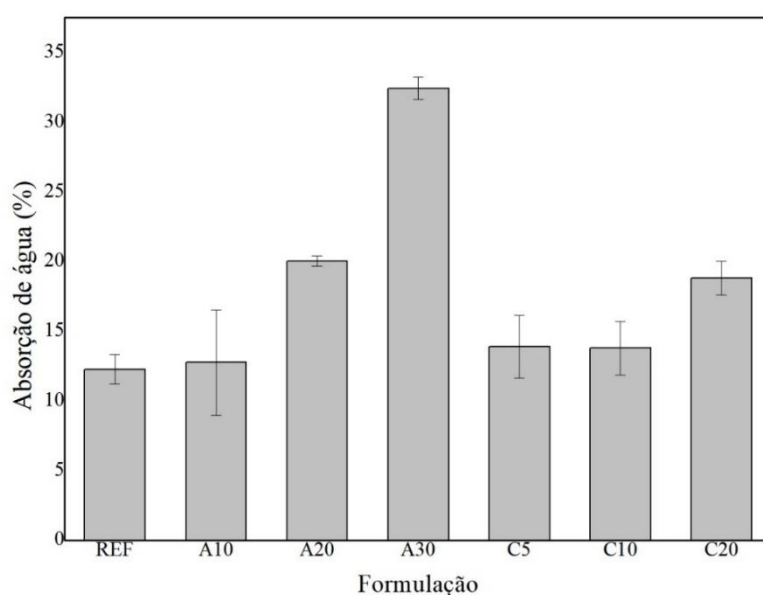


Figura 14 - Resultados do ensaio de absorção de água (A autora, 2023).

De acordo com a análise realizada, foi constatado que à medida que o teor de gesso é adicionado na mistura, em substituição a areia a absorção de água aumenta em relação à formulação de referência REF. A porosidade da pasta de cimento no estado endurecido está associada ao empacotamento e ao grau de hidratação do cimento. Quanto menor a porosidade, maior é a densidade de empacotamento e menor é o grau de hidratação (AIQIN; CHENGZHI; NINGSHENG, 1997).

4.2.2.3 Massa específica real

Na Figura 15 estão os resultados médios obtidos para massa específica real realizados com as argamassas.

Através da análise da Figura 15, percebe-se uma variação da massa específica real das argamassas. Por meio da análise de variância ($F=140,09$; $f_{\text{crítico}}=2,85$ e valor- $P=1,10806E-11$), foi possível notar que as argamassas (A10, A20 e A30) apresentaram variações significativas, o que implica numa propensão à instabilidade dos valores de massa específica real com a incorporação do resíduo de gesso em substituição da areia.

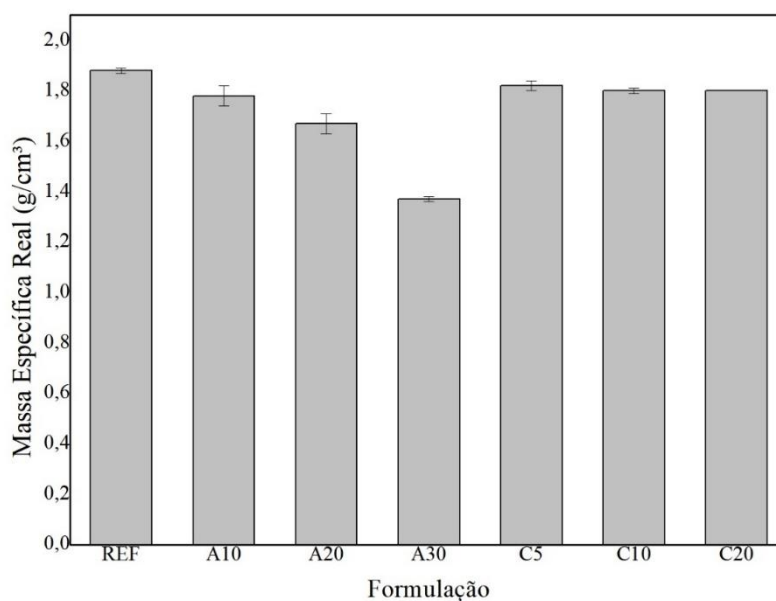


Figura 15 - Massa específica real das argamassas (A autora, 2023).

4.2.2.4 Durabilidade

Os resultados médios obtidos através do ensaio de durabilidade realizado com as argamassas estão apresentados na Figura 16. Pode-se observar que a formulação em que o resíduo de gesso substituiu a areia, a formulação A10 foi a que apresentou menor perda de massa entre o 1º e o 7º dia de exposição na solução ácida. Já a formulação C20 apresentou no 1º dia de exposição menor perda de massa, em relação às demais formulações, porém, no 7º dia de exposição apresentou um grande aumento na perda de massa. Observa-se também que as formulações com maior porcentagem de gesso A30 e C20 apresentaram maior perda de massa no 7º dia. Esse aumento da perda de massa está relacionada a permeabilidade da argamassa, as argamassas com maior teor de gesso presente na formulação tornam-se mais permeáveis, logo, estão mais expostas ao ataque dos sulfatos (BONIFÁCIO, et al, 2022).

De acordo An, *et al* (2022) o gesso CaSO_4 , pode reagir com o CaO do cimento formando Ca(OH)_2 e esses com os aluminatos formando a etringita aumentando a resistência. Por sua vez, caso a etringita já tenha atingido o seu limite de adição, o gesso passa a reduzir a resistência.

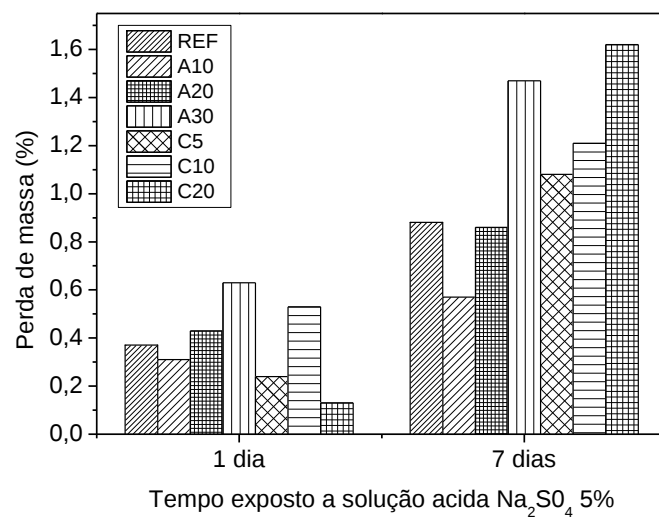


Figura 16 - Resultados do ensaio de durabilidade das argamassas (A autora, 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo geral produzir uma argamassa de reboco com reaproveitamento de resíduo de gesso e analisar suas propriedades. As características dos materiais utilizados e as argamassas produzidas, nos estado fresco e endurecido, foram obtidas através de ensaios realizados em laboratório, seguindo critérios estabelecidos por normas técnicas para determinação das propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Diante da análise dos resultados das argamassas, apresentados no capítulo 4, pode-se concluir para as argamassas em seu estado fresco:

A incorporação do resíduo de gesso em substituição da areia diminuiu o índice de consistência da argamassa, necessitando de uma maior hidratação, diferente das amostras em que o resíduo foi incorporado substituindo o cimento. Pode-se constatar que a argamassa com maior teor de resíduo de gesso incorporado à mistura apresentou uma maior redução da massa específica aparente, quando comparada às demais formulações.

No que diz respeito às argamassas em seu estado endurecido, pode-se constatar que:

Observou-se uma variação significativa nos resultados da resistência à compressão, onde a maioria das formulações apresentaram redução em relação a formulação de referência. Porém, diferente das demais formulações, a formulação C5, com incorporação de 5% de resíduo de gesso em substituição ao cimento, apresentou aumento na resistência à compressão, apresentando um desempenho superior à formulação de referência.

Quanto à absorção de água, as argamassas com incorporação de resíduo de gesso apresentaram aumento significativo, em relação à formulação de referência. As argamassas produzidas com substituição da areia pelo resíduo de gesso apresentaram redução significativa da massa específica real, diferentemente das argamassas produzidas em substituição de cimento Portland.

A viabilidade da produção de argamassa com substituição parcial do cimento pelo resíduo de gesso em 5% mostrou-se uma alternativa sustentável, visto que é uma opção para a destinação adequada dos mesmos. Podendo ser uma opção de argamassa de reboco para ambientes internos, para uma maior durabilidade, uma vez que possui uma maior capacidade de absorção. Porém, é preciso realizar um estudo das dosagens para adequação do traço, melhorando as propriedades das argamassas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Levando em consideração a abrangência que o tema possui, avaliando que a pesquisa tem potencial para alcançar resultados mais satisfatórios, e como forma de complementar o presente estudo sugere-se para trabalhos futuros:

- Realizar o ensaio de aderência da argamassa;
- Realizar o estudo com a secagem do gesso em temperatura inferior a 100° C, de forma que o resíduo não passe pelo processo de calcinação.
- Realizar estudo com diferentes dosagens de agregado miúdo e resíduo de gesso.
- Realizar ensaios para análise da microestrutura do resíduo de gesso e ampliar a amostragem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

____. **NBR 7185**: Solo – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75µm (n 200). Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13553**: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

____. **NBR 16606**: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro,

2018.

_____. **NBR 16607**: Cimento Portland – Determinação da pasta dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – Manual de revestimento de argamassa. 1 ed. São Paulo, 2002.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – **Versatilidade do cimento brasileiro**. 2016. Disponível em: <https://abcp.org.br/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>.

ABRECON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **A gestão dos resíduos da construção e demolição e o papel do engenheiro**. Disponível em: <https://abrecon.org.br/a-gestao-dos-residuos-da-construcao-e-demolicao-e-o-papel-do-engenheiro/>. Acesso em abr. 2022.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo, 2021.

AHMED, Aly; UGAI, Keizo; KAMEI, Takeshi. Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 1, p. 208-217, 2011.

AIQIN, W.; CHENGZHI, Z.; NINGSHENG, Z. **Study of the influence of the particle size distribution on the properties of cement**. Cement Concrete Research, p. 685-695, 1997

ALVES, Daniela de Carvalho. **Reciclagem e reutilização do gesso descartado na construção civil**. Universidade de São Francisco. Itatiba, 2007.

AN, Qiang. PAN, Huimin. et al. Strength development and microstructure of recycled gypsum-soda residue-GGBS based geopolymer. **Construction and Building Materials**. v. 331, 2022, p. 127-312.

ANTUNES, M. L. P.; BOTIGNON DE SÁ, A.; OLIVEIRA, P. S.; RANGEL, E. C.. **Utilization of gypsum from construction and demolition waste in Portland cement mortar**. UNESP. Institute of Science and Technology, Sorocaba, 2019.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C-270**: Standard specification for mortar for unit masonry. United States, 2007.

BAKSHAN, A., SROUR, I., CHEHAB, G., EL-FADEL, M., & KARAZIWAN, J.. **Behavioral determinants towards enhancing construction waste management: A Bayesian Network analysis**. Resources, Conservation and Recycling, 117, 274-284. 2017.

BARZOTTO, M.V, **Gestão de resíduos de gesso na construção civil: Um estudo de caso**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2017.

BAUER, Luiz A. Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC – v.1 - 2000.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de Construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. v.1. 568 p.

BEZERRA, Marcelo Soares. **Relatório Técnico 34 - Perfil da Gipsita**. Ministério de Minas e Energia – MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 431**. Altera o art. 3º da Resolução nº 307/ 2002. 2011.

BRUN, Francis Giovani. **Influências da substituição de agregado miúdo natural por resíduos de bloco cerâmico e gesso nas propriedades físico-mecânicas de argamassas**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIJUI, 2018.

CAETANO, D. S.; COSTA, P. H. M. **Análise das práticas utilizadas para o gerenciamento dos resíduos de gesso da Construção Civil: Estudo de caso no município de Maceió – AL**. Trabalho de Conclusão de Curso. CESMAC, Maceió, 2017.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Ed G.C. Isaia. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2010. v. 2.

CARASEK, Helena. Argamassas. **Livro Materiais de Construção**, capítulo 26, Volume 01, IBRACON, 8ª Edição. 2017.

CASTRO, Sarah Bueno de; CASTRO, Martha Nascimento; CASTRO, Rodrigo Martinez. **Resistência da argamassa com adição de gesso reciclado**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. 2019.

CAVALCANTE FILHO, José Jesus; PEDROSA, Juliana Araújo. III-395- **Incorporação de resíduos de gesso de construção na fabricação de telha plana para construção civil**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Caraúbas, 2019.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassas utilizadas em Porto Alegre - Dissertação** (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2000.

FERREIRA, Fernanda Cavalcanti. **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

FILHO, João Luiz Guerini Arpini. **Utilização do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais como adição mineral em argamassas auto adensáveis**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Espírito Santo, 2021.

GANGOLELLS, M., CASALS, M., FORCADA, N., & MACARULLA, M. (2014). **Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites**. Resources, conservation and recycling, 93, 99-111. 2014.

GIRARDI, Ricardo. **Estudo da variabilidade do cimento Portland que abasteceu o Mercado do Rio Grande do Sul no período de 1992 a 2012**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

GONÇALVES, André Luis Lopes et al. **Estudo técnico-financeiro de cimentos Portland: uma avaliação com diferentes marcas de cimento Portland**. VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias, v. 25, n. 1, p. 111-127, 2015.

GRASSI, Juliane Thaís. **Análise das propriedades termo-acústicas de blocos de gesso reciclado fabricados a partir de gesso pós-consumo: uma revisão da literatura**. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica

Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2. ed. Sao Paulo: PINI, 2002. 341 p

HOBOLD FILHO, Frederico. **Caracterização de argamassa de revestimento a base de cal e aditivada**. 2015.

HOORNWEG, D., BHADA-TATA, P. & KENNEDY, C. **Meio Ambiente: A produção de resíduos deve atingir o pico neste século**. *Natureza* 502, 615-617 (2013).

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3ªed. São Paulo, IBRACON, 2017. Volume1.

JAIN, Divyansh. et al. Utilization of marble dust and fly ash in composite mortar as partial cement substitute. **Construction and Building Materials**. v. 60, n 1, 2022, p. 181-186.

JOHN, Vanderley M.; CINCOTTO, Maria Alba. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007.

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

KNOB, Gilles Paulo Lunkes; BELLEI, Poliana; BARBISAN, Ailson Oldair. **Viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento**. *Anais da Engenharia Civil/2595-1823*, v. 3, n. 1, p. 116-135, 2019.

LAPA, José Silva. **Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

L. Al-Subari, & A. Ekinici. Strength and durability assessment of shredded tire rubber stabilized artificially cemented alluvial clay. *Construction and Building Materials*, 345, (2022) 128312

LARUCCIA, Mauro Maia. **Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil**. *Revista ENIAC pesquisa*, v. 3, n. 1, p. 69-84, 2014.

LIMA, Semiramis Yonara Valadares. **Propriedades físicas e mecânicas de compósitos à base de**

gesso contendo fibras e resíduos. Monografia (Bacharelado em Ciências da Tecnologia), Universidade Federal Rural do Semi-Árido de Massoró, Rio Grande do Norte, 2011. 68 p.

MACIEL, Lucia L.; BARROS, Mércia M. S. B; SABBATINI; Fernando H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação interna e externa e tetos.** São Paulo: EPUSP, 1998. 36 p.

MATOS, Ana M.; SOUSA-COUTINHO, Joana. **Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement.** Construction and Building Materials, v. 36, 2012, p. 205-215.

MATOS, Paulo Ricardo de. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto** - Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2013.

MARCELLO, Gabriela Artilha. **O uso do cimento e argamassa de cal na construção civil e riscos prejudiciais à saúde.** 2018.

MENDES, Yasmin Gabriele Beires; DE SOUSA, Jakeliny Miguel; BARBOSA, Isa Lorena Silva. **Influência da Cal Hidratada na Massa de Concreto Convencional.** ETIS-Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability, v. 1, n. 1, p. 17-27, 2019.

MENEZES, Salomão David Souto et al. **Estudo da influência da substituição parcial do aglomerante por resíduo industrial de granito em argamassas.** Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2020.

MUNHOZ, F.C, **Uso da Gipsita na Construção Civil-** XIII SIMPEP-Bauru, SP, 2006.

MUNHOZ, Fabiana Costa. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa.** 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

NASCIMENTO, Anny Salomny Santos. **Estudo para desenvolvimento de argamassa de revestimento com reaproveitamento de resíduos de corte de granito.** Monografia. Instituto Federal de Sergipe. Estância, 2019.

OLIVEIRA, Alencar Ibeiro de. **Uso de dregs em substituição da cal hidratada em argamassas mistas de revestimento.** 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

RIBEIRO, J. L. D., **Projeto de Experimentos na Otimização de Produtos e Processos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS. Jan/1995.

SALVATORE, Amedeo; EINSFELD, Marcelo Hansen; MACHADO, Marcelo. **Associação Brasileira do Drywall: Manual dos resíduos de gesso na construção civil**. 1 ed. São Paulo - SP: Agns Gráfica e Editora, 2012. 20 p.

SANTOS, Bruna Yoshitani Dos. **Incorporação de gesso acartonado proveniente da placa de Drywall em argamassa de revestimento**. UNICESUMAR. Maringá, 2018.

SANTOS, Evelyn Beatriz Ferreira dos. **Avaliação do desempenho de argamassas de revestimento com emprego de resíduos da construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **ENSAIO DE ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, Juzélia; FIGUEIREDO, Nathália Cristina Xavier de. **Controle tecnológico de argamassa produzida com: um, dois e três anos de idade com agregado de resíduo de louça sanitária e agregado natural**. Profiscientia, n. 13, p. 59-79, 2019.

SILVA, Evert. J. Da. SILVA, Paola D. Da. et al. **Resistência À Compressão De Argamassas Em Função Da Adição De Fibra De Coco**. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, Campina Grande - PB, v. 18, n. 12, p. 1268-1273, jul. 2014.

SILVA, N. G. da. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, 2006. 180p.

SIMÕES, Edervane dos Santos; SILVA, Mauricio Messias da. **Análise comparativa entre a resistência à compressão da argamassa preparada com cal hidratada com a argamassa preparada com agrofilito**. 2016.

SINDUSGESSO. **Pólo Gesseiro – Força para o gesso de Pernambuco**. Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do estado de Pernambuco. 2011.

SOARES, Natália dos Reis. COELHO, Tuanny Alves. **Gerenciamento de resíduo na construção**

civil. Monografia. Faculdade DOCTUM. Minas Gerais. 2013.

SOKEN, Evelyn Midori. **Reaproveitamento do gesso descartado na construção civil em cerâmica vermelha.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

SOUSA, Hueverton Cardoso de. OLIVEIRA, Kivia Estaini Godoy. **Estudo de viabilidade da reciclagem dos resíduos de Gesso gerados em obras comerciais.** Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário Unievangélica. Ceres, 2020.

SOUZA, Juliana Santa Cruz. **Estudo de argamassa à base de cal e metacaulim para intervenções em revestimento das edificações históricas.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

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

TEIXEIRA, Cláudia Alkmim Guimarães. **Jogando limpo Estudo das destinações finais dos resíduos sólidos da construção civil no contexto urbano de Montes Claros.** Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Montes Claros, 2010.

URBANO, José Júnior. **Estudo numérico do processo de calcinação da gipsita em fornos rotativos com aquecimento indireto a óleo.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

VOGADO, Wilky Fernandes; DA SILVA, Elaine Aparecida. III- 027-**Gesso: resíduo ou rejeito?** 30º CONGRESSO ABES, 2019.

WU, Jun. LIU, Li. et al. Use of recycled gypsum in the cement-based stabilization of very soft clays and its micro-mechanism. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.** V. 14, 2022, p. 909-921.