



UNIVERSIDADE DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

MILENA MOURA REINALDO

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DE MÁRMORE
NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO**

Açailândia-MA

2024

MILENA MOURA REINALDO

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DE MÁRMORE
NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma.Rachel de Andrade Avelar da Silva

Açailândia-MA

2024

R364s

Reinaldo, Milena Moura

Substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de mármore na elaboração de argamassas de assentamento / Milena Moura Reinaldo. – Açailândia: UEMASUL, 2024.
24 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2024.

Orientadora: Profª. Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva.

1. Resíduos. 2. Argamassa. 3. Mármore. I. Título.

CDU 691(812.1)

MILENA MOURA REINALDO

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DE MÁRMORE
NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO**

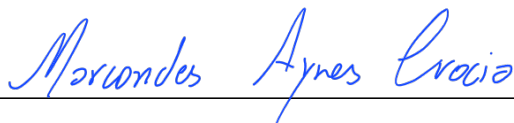
Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em 07/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva
Mestra em Ciências dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof.^a Esp. Ana Caroline Pereira Nolasco
Especialista em MBA Engenharia Ferroviária
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão



Prof. Marcondes Ayres Crocia
Especialista em Estruturas e Construção Civil
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

**Substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de mármore na
elaboração de argamassas de assentamento**

Partial replacement of fine aggregate with marble waste in the preparation of laying mortars

Milena Moura Reinaldo¹; Rachel de Andrade Avelar da Silva²

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCHSTL, Açailândia/MA, Brasil. Email: milenamoura846@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6186-9496>

² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCHSTL, Açailândia/MA, Brasil. Email: racchelavelar@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8368-2497>

Resumo: O setor da construção civil tem crescido significativamente, causando danos ambientais devido ao alto consumo de matérias-primas não renováveis e à geração de resíduos. Este trabalho visou analisar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por resíduos do processamento de mármore em argamassas. Foi realizada uma revisão de literatura e um estudo experimental no laboratório da Franco Engenharia, em Imperatriz - MA, produzindo 24 amostras de argamassas com diferentes proporções de resíduo de mármore (0%, 10%, 25% e 50%) testadas em idades de 3, 7 e 28 dias. Os resultados mostraram que a reciclagem de resíduos de mármore é promissora e pode trazer benefícios econômicos e ambientais, especialmente com substituições de até 10%, sendo necessária a realização de estudos adicionais para otimização.

Palavras-chave: Resíduos. Argamassa. Mármore.

Abstract: The construction sector has grown significantly, causing environmental damage due to the high consumption of non-renewable raw materials and the generation of waste. This work aimed to analyze the feasibility of partially replacing fine aggregate with waste

from marble processing in mortars. A literature review and an experimental study were carried out in the Franco Engenharia laboratory, in Imperatriz - MA, producing 24 mortar samples with different proportions of marble residue (0%, 10%, 25% and 50%) tested at ages of 3, 7 and 28 days. The results showed that recycling marble waste is promising and can bring economic and environmental benefits, especially with replacements of up to 10%, requiring additional studies to be carried out for optimization.

Keywords: Waste. Mortar. Marble.

Sumário

1. Introdução.....	5
2. Metodologia.....	7
2.1 Materiais.....	8
2.1.1 Resíduo.....	8
2.1.2 Aglomerantes.....	10
2.1.3 Agregado.....	10
2.1.4 Água.....	10
2.2 Métodos.....	10
2.2.1 Confeção dos corpos de prova.....	10
2.2.2 Ensaio.....	13
3. Resultados e Discussão.....	14
4. Considerações finais.....	18
Agradecimentos.....	20
Referências.....	21

1. Introdução

A construção civil desempenha um papel crucial em todo o mundo, estando intimamente ligada à infraestrutura de um país e proporcionando significativas oportunidades de emprego e renda devido aos consideráveis recursos investidos, ela é um dos indicadores de desenvolvimento de uma nação, representando a realização de investimentos de longo prazo em diversas empresas nos setores da indústria, serviços e agropecuária (FERNANDES e MENDONÇA, 2020).

O crescimento socioeconômico está diretamente ligado ao aumento do consumo de recursos minerais, destacando a importância de garantir a disponibilidade desses recursos para atender às demandas da sociedade, surge, assim, uma relação intrínseca entre o desenvolvimento econômico, a qualidade de vida e o uso de recursos minerais, consequentemente, o descarte de resíduos tornou-se um desafio global significativo, à medida que sua produção aumenta com o crescimento populacional e das economias (DERISIO, 2016; FERNANDES e MENDONÇA, 2020).

Sendo assim, a conscientização sobre o meio ambiente tem aumentado e diante da crescente busca por uma sociedade mais sustentável em meio à crise ambiental, é de suma importância que o setor da construção civil incorpore em seus projetos práticas sustentáveis, as quais certamente beneficiarão tanto a sociedade atual quanto as futuras gerações, acresce a isso que a preservação do meio ambiente tem sido considerada uma prioridade pelos órgãos públicos, e a aceitação da sociedade torna-se cada vez mais crucial (SILVA, 2022).

O setor da construção civil tem crescido consideravelmente e causado graves danos ao meio ambiente, colocando em risco a sua sustentabilidade, esse problema deve-se ao fato do grande consumo de matéria prima proveniente de fontes não renováveis (areia, rochas, argila, etc.), acrescido a isso que o setor da construção civil gera milhões de toneladas de resíduos, sendo em sua maioria enviados para aterros em vez de serem reciclados e reutilizados em novos produtos (ONOFRE *et al.*, 2016; MACENA e LEME, 2019).

Sendo assim, a construção civil por ser um dos setores que mais consomem energia e matéria-prima em seus processos produtivos, deve empenhar-se em incorporar os seus resíduos e os de outras indústrias, contribuindo para a redução de custos e o desenvolvimento sustentável (SALES *et al.*, 2014; MOISES *et al.*, 2022).

As atividades na indústria da construção civil consomem aproximadamente 40% dos

recursos naturais não renováveis, diante disso, devido ao seu amplo uso e à intensa exploração de elementos naturais, tornou-se imperativo adotar métodos mais sustentáveis, dadas as altas despesas e a considerável geração de resíduos sólidos provenientes das construções e demolições (RCD) (ROQUE & PIERRI, 2019).

Os benefícios decorrentes da correta reciclagem e deposição dos resíduos da construção civil são notáveis, dado o extenso uso de matéria-prima na produção de materiais pela construção civil, a reciclagem oferece vantagens significativas, um dos principais benefícios é a redução do consumo de matéria-prima, uma vez que o reuso permite que os materiais reciclados substituam os novos materiais em diversas aplicações, por exemplo, blocos cerâmicos reciclados podem ser empregados novamente na construção de alvenarias sem perda de desempenho (MATUTI e SANTANA, 2019).

As vantagens da reciclagem incluem: a redução dos custos elevados associados à deposição de resíduos em aterros, tornando a reciclagem financeiramente mais atraente para os geradores de resíduos; a diminuição do volume de extração de matérias-primas, minimizando os impactos ambientais causados pela extração; a produção de materiais reciclados, que contribui para a redução da poluição e permite a fabricação de materiais de melhor qualidade; a promoção da redução de aterros, consequentemente reduzindo a contaminação ambiental, problemas de saneamento público e custos sociais associados à gestão de resíduos (SILVA, 2022).

Além disso, a reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) proporciona economia ao evitar a compra de novos materiais, reduzindo os custos de remoção dos resíduos, promovendo ganhos ambientais e diminuindo a poluição, o que contribui para prevenir consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos, e preservando as reservas naturais de matéria-prima (MATUTI e SANTANA, 2019).

A grande quantidade de resíduos gerados durante o processamento de mármore e granito são uma grande preocupação ambiental, segundo Cruz *et al.* (2020), o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de rochas ornamentais, com uma produção global de 105 milhões de toneladas, cuja produção atingiu 7,8 milhões de toneladas, das quais 1,25 milhões de toneladas foram resíduos relacionados à produção e processamento de rochas. Conforme os autores, o processo de produção de rochas ornamentais é dividido em três etapas: primeiro

a extração dos blocos de rocha, o processamento primário onde os blocos são serrados em chapas e posteriormente o processamento secundário em que é feito o corte e polimento de acordo com a necessidade do cliente, em todas as etapas é utilizada água que acaba formando uma lama, sendo ela composta por resíduo de corte, cal, água e granalha, sendo um material abrasivo que apresenta grande potencial em concretos e argamassas devido à sua resistência ao desgaste.

A argamassa é um material de construção composto por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cal ou cimento), agregado miúdo inorgânicos (areia) e água, podendo conter produtos especiais, tais como aditivos, concebidos para melhorar ou fornecer certas propriedades de endurecimento e aderência, a argamassa deve apresentar as seguintes características: possibilitar as deformações necessárias aos diferentes tipos de ambientes/situações; resistir às cargas atuantes sem romper; suportar/aderir aos blocos; resistência suficiente a compressão, tração e erosão, dentre outros (MENDONÇA *et al.*, 2021).

Os resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais apresentam potencial para serem integrados em argamassas, devido à sua elevada estabilidade e resistência à abrasão, estudos realizados por Leite (2019) revelam que a utilização de argamassas utilizando resíduos de beneficiamento secundário de rochas ornamentais é viável, tanto em termos de desempenho físico- mecânico quanto ambiental. Sendo assim, devido a grande quantidade de resíduos de mármore gerados, com base no que foi exposto, essa pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por resíduos do processamento de mármore e comparar com os resultados obtidos através de ensaio de compressão entre corpos de prova em que foram feitas a substituição parcial e corpos de prova de referência.

2. Metodologia

O presente trabalho adotou uma abordagem metodológica que priorizou a realização de uma revisão de literatura como etapa inicial. Esta revisão objetivou aprofundar o conhecimento sobre o tema proposto, explorando as pesquisas existentes na literatura acadêmica. Sendo consultadas fontes incluindo bases de dados acadêmicos, livros, revistas, dissertações, sendo estas encontradas nas plataformas da CAPES, biblioteca virtual da Pearson e o Google Scholar, utilizando nas buscas palavras-chave como: argamassa, pó de mármore,

beneficiamento do mármore, dentre outros. Foram definidos critérios claros para a seleção dos materiais a serem revisados: relevância para o tema, publicações recentes (preferência máxima de 5 anos) e credibilidade das fontes (revistas Qualis B4 ou superior).

Quanto ao procedimento técnico, realizou-se um estudo experimental quantitativo, executado no laboratório da empresa Franco Engenharia, localizado na cidade de Imperatriz - MA, que forneceu suporte material (areia e água) e técnico (equipamentos, máquinas e assistentes de laboratórios) para a produção de 24 amostras em diferentes idades (3, 7 e 28 dias).

2.1 Materiais

2.1.1 Resíduo

Para este estudo foram coletados na Marmoraria Cavalcante, localizada na cidade de Açailândia - MA, resíduos gerados pelo corte de chapas brutas de rochas ornamentais, sendo estas cortadas em uma serra-ponte da marca MAQFORT, com disco diamantado Diamond, conforme Figura 1.



Figura 1 – Serra ponte.

Fonte: Autora (2024).

Esse processo produz o resíduo de corte, que consiste em fragmentos e pó de rocha

misturados com a água utilizada para resfriar os equipamentos e remover o pó gerado durante o corte. Esse resíduo, que assume a forma de lama, é depositado em canaletas dentro da própria marmoraria e, conforme informado pela empresa, depositado no próprio terreno.

Os resíduos foram obtidos úmidos e por isso foram colocados em um carrinho de supermercado e exposto ao sol para secar, levando 7 dias, conforme Figura 2.



Figura 2– Resíduo úmido (A) e carrinho utilizado durante o processo de secagem (B).

Fonte: Autora (2024).

Após a secagem, o material foi peneirado com peneiras comuns, obtidas no comércio local e em seguida o material foi armazenado em um saco plástico, conforme Figura 3.



Figura 3– Peneiras utilizadas (A) e material peneirado (B).

Fonte: Autora (2024).

2.1.2 Aglomerantes

Foi utilizado nos testes um cimento regulamentado pela ABNT NBR 11578:1991 - *Cimento Portland Composto*, classificado como CP II-E-32, da marca Poty, fabricada pelo grupo Votorantim Cimentos, indicado para todos os tipos de obra, possuindo classe de resistência 32 e resistência ao sulfato, obtido em lojas de materiais de construção na cidade de Açailândia - MA.

Outro aglomerante utilizado foi a Cal hidratada Fortex CH - I, que possui um elevado teor de hidróxido de magnésio. Segundo Bauer (2008), a cal hidratada é fácil de manusear, transportar e armazenar, por ser um produto seco e em pó, facilita a mistura na preparação das argamassas e confere alta plasticidade e capacidade de revestimento. O produto está de acordo com a ABNT NBR 7175: 2003 - *Cal hidratada para argamassas*.

2.1.3 Agregado

O agregado utilizado foi a areia média, disponibilizada pela empresa Franco Engenharia, sendo a mesma oriunda das jazidas da região Tocantina.

2.1.4 Água

Foi utilizada na confecção dos corpos de prova a água potável proveniente da rede de distribuição da cidade de Imperatriz - MA, tratada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão - CAEMA.

2.2 Métodos

2.2.1 Confecção dos corpos de prova (CPs)

O traço calculado para a confecção dos corpos de prova foram de 1:1:6 (cimento, cal e areia), em massa, sendo este definido conforme a ABNT NBR 13279:2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e compressão*. Foram produzidas argamassas sem resíduos (referência) e com substituição da areia, em teores de 10%, 25% e 50%. A Tabela 1 apresenta a quantidade de material utilizado em cada traço.

Tabela 1 – Quantidade de materiais utilizados .

Traços				
Material	Referência	10%	25%	50%
Cimento	6 Kg	6 Kg	6 Kg	6 Kg
Cal Hidratada	6 Kg	6 Kg	6 Kg	6 Kg
Areia	36 Kg	32,4 Kg	27 Kg	18 Kg
Pó de mármore	-	3,6 Kg	9 Kg	18 Kg
Água	6,7 L	6,7 L	7 L	9 L
Água/cimento	1,12	1,12	1,16	1,5

Fonte: Autora (2024).

Após os traços serem definidos, eles foram executados conforme a Figura 4, seguindo as seguintes etapas: A - os materiais foram pesados; e B - separados para a confecção da argamassa; C - com o auxílio de uma betoneira da marca Menegotti Construção, com capacidade de 400L foram adicionados a areia e a cal e misturados acrescentando água aos poucos e posteriormente foi adicionado o cimento, enquanto o equipamento misturava os materiais; D - foi sendo adicionado água com o auxílio de uma proveta de 1000 mL; E - foram introduzindo água ate atingir a consistência.



Figura 4– Preparação dos traços.

Fonte: Autora (2024).

Os traços com a substituição do areia por pó de mármore nos teores de 10%, 25% e 50% seguiram as mesmas etapas.

Os moldes utilizados para a montagem dos corpos de prova, seguiram as

especificações da NBR 5738:2015 - *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*, com dimensões de 10x20cm, essa escolha dos moldes foi necessária pois na região não haviam disponíveis os moldes prismáticos especificados na norma NBR 13279:2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e compressão*. Os moldes foram revestidos com uma camada fina de óleo mineral na parte interna para facilitar posteriormente na retirada da argamassa.

Foram confeccionados 24 corpos de prova, sendo 2 para cada traço e 2 para cada idade de ensaio (3, 7 e 28 dias), sendo prova e contra prova, conforme descrito na NBR 12655:2015 – *Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*, a utilização desta norma se justifica pela quantidade reduzida de corpos de prova, devido a limitação do resíduo disponível, que era insuficiente para produzir um número maior de amostras. Logo após serem moldados, foram colocadas etiquetas para separar os tipos de argamassa (de referência e com resíduo). Os CPs permaneceram nesse local por 24 horas, sendo posteriormente desmoldados e inseridos em um tanque com água para realização da cura, onde ficaram totalmente submersos para a realização dos ensaios nos períodos de 3, 7 e 28 dias, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 - CPs (A) e tanque de cura (B)

Fonte: Autora (2024).

2.2.2 Ensaio

Foi realizado o ensaio de compressão axial para determinar a resistência do material à compressão. Utilizou-se uma prensa hidráulica manual digital, da marca Contenco, com capacidade de 100 tf, conforme Figura 6.



Figura 6– Prensa hidráulica

Fonte: Autora (2024).

Os Cps foram colocados entre dois pratos de compressão (Figura 7) que aplicavam uma carga compressiva uniforme ao longo do seu eixo principal. À medida que a carga era aplicada, a deformação do material era registrada, sendo feita assim até o seu rompimento.



Figura 7– Pratos de compressão

Fonte: Autora (2024)

Após a realização dos ensaios de todos os CPs, utilizou-se a fórmula de resistência em compressão axial, segundo a ABNT NBR 5739:2018 - *Concreto - Ensaio de compressão de corpos cilíndricos*, conforme mostra a Eq. 1, para determinar a resistência à compressão expressada em MPa (MegaPascal).

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

f_c - resistência à compressão, em MPa;

F - força máxima alcançada, em Newtons

(N); D - diâmetro do CP, em mm.

Os ensaios foram realizados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Cronograma dos ensaios

Confecção dos CPs: 28/06/2024	
Período	Realização dos ensaio
3 dias	01/07/2024
7 dias	05/07/2024
28 dias	26/07/2024

Fonte: Autora (2024).

3. Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios de compressão axial realizados nos CPs foram obtidos para os períodos de 3, 7 e 28 dias, conforme descrito na metodologia. A Tabela 3 apresenta os valores de resistência à compressão, inicialmente em toneladas, que foram convertidos para MPa utilizando a fórmula descrita na Eq.1. Foi adotada a nomenclatura para os CPs, sendo

adicionado “A” para argamassa, seguido de “R” para referência ou “M” para mármore, acrescentado da (%) em referência à concentração de pó de mármore.

Tabela 3 – Ensaio de compressão axial.

Corpo de Prova	Período	Carga de rompimento (tf)	Resistência à compressão (MPa)
AR	3 dias	2,10 - 1,99	2,62 - 2,49
	7 dias	4,42 - 4,28	5,52 - 5,34
	28 dias	7,21 - 6,40	9,00 - 7,99
AM(10%)	3 dias	3,13 - 2,55	3,91 - 3,18
	7 dias	4,45 - 4,31	5,56 - 5,38
	28 dias	8,84 - 8,12	11,04 - 10,14
AM(25%)	3 dias	2,49 - 2,52	3,11 - 3,15
	7 dias	3,60 - 3,90	4,50 - 4,88
	28 dias	7,47 - 7,17	9,33 - 8,96
AM(50%)	3 dias	1,87 - 1,61	2,34 - 2,01
	7 dias	3,01 - 2,62	3,76 - 3,27
	28 dias	5,66 - 4,41	7,07 - 5,51

Fonte: Autora (2024).

Os resultados dos ensaios de compressão axial revelam importantes tendências sobre o comportamento das argamassas com diferentes níveis de substituição da areia pelo resíduo de pó de mármore. A Figura 8 apresenta os CPs após o ensaio de compressão.



Figura 8 – CPs de 10%, 25% e 50%, respectivamente.

Fonte: Autora (2024).

Para o período de 3 dias, observou-se que os CPs com 10% de substituição apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos CPs de referência, indicando que a adição de 10% de pó de mármore pode ter contribuído para uma melhoria na resistência inicial da argamassa. Em contraste, os CPs com 50% de substituição mostraram uma redução na resistência em relação aos CPs de referência, sugerindo que uma substituição elevada pode comprometer a integridade estrutural inicial da mistura.

Aos 7 dias, a resistência dos CPs de referência continuou a aumentar, com valores próximos de 4,42 toneladas. Os CPs com 10% de substituição mantiveram um desempenho comparável aos CPs de referência, indicando que a substituição de 10% de areia por pó de mármore não prejudica a resistência da argamassa nesse período. No entanto, à medida que a percentagem de substituição aumentou para 25% e 50%, houve uma diminuição na resistência à compressão, conforme apresentado na Figura 9.

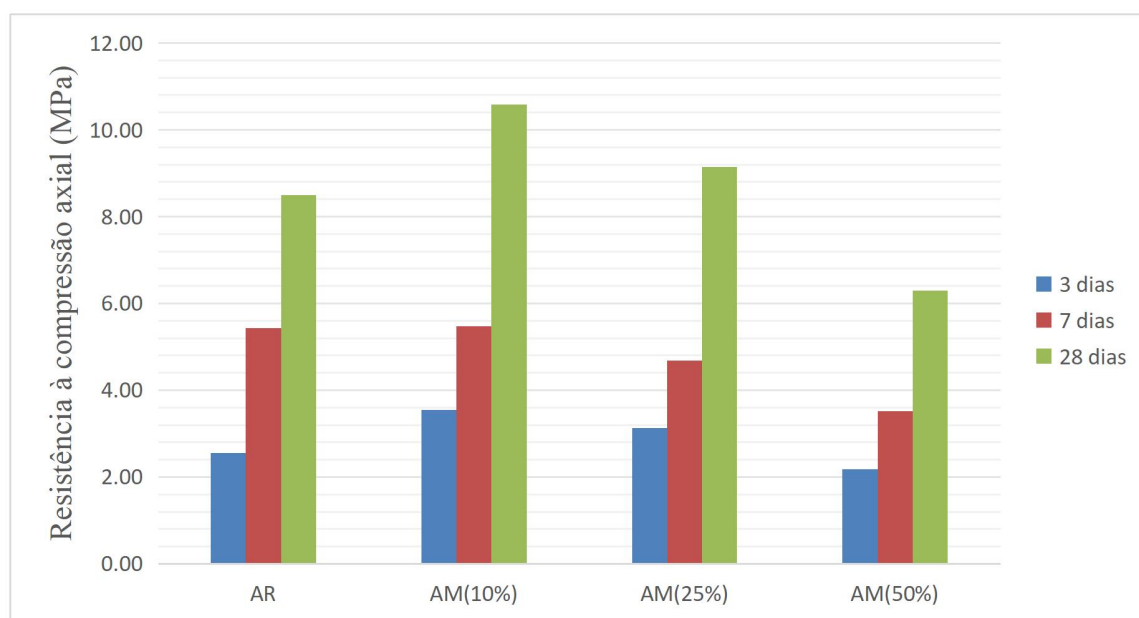


Figura 9 – Média da resistência dos CPs

Fonte: Autora (2024).

A diminuição da resistência das argamassas com substituição elevada de areia por pó de mármore pode ser atribuída a diversos fatores, dentre eles a granulometria do pó de mármore ser provavelmente diferente da areia, afetando a densidade e a compactação da mistura, alterando a estrutura interna da argamassa. Quanto maior a (%) de resíduos de mármore nos CPs, exigiu-se mais água para manter a trabalhabilidade da mistura, conforme a ABNT NBR 12655:2015 - *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*, a relação água/cimento é crucial para determinar a resistência, durabilidade e trabalhabilidade do argamassa, uma relação a/c mais baixa geralmente resulta em argamassa mais resistente e durável, enquanto uma relação a/c mais alta pode facilitar a trabalhabilidade, mas pode comprometer a resistência e durabilidade. Acresce a isso que os CPs não tiveram aditivos incorporados e a falta de aditivos pode levar a uma necessidade maior de água para obter as mesmas propriedades de trabalhabilidade e aplicação, resultando em uma relação água/cimento aumentada, isso pode comprometer a resistência e durabilidade da argamassa, tornando-a mais suscetível a fissuras e deterioração ao longo do tempo (LAISTER, 2012).

Sales, Sá e Santos (2014) investigaram o uso de pó de mármore como substituto da areia fina em argamassas, em proporções de 20% e 40%. As argamassas foram preparadas em dois diferentes traços, 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia), em volume. Após os ensaios realizados, os pesquisadores concluíram que as resistências à compressão e à tração na flexão das argamassas aumentaram apenas com a incorporação de 20% de resíduos no traço 1:1:6. Nos demais corpos de prova, observou-se uma resistência mecânica ligeiramente inferior à do corpo de prova sem resíduos. Além disso, a substituição de 20% da areia por resíduo, em ambos os traços, resultou nos menores valores de absorção e índice de vazios. Por outro lado, os corpos de prova com substituição de 40% apresentaram os maiores valores de absorção e índice de vazios.

Lampreia e Veiga (2014) conduziram um estudo no qual substituíram a areia por lama de mármore e calcário em proporções mais baixas, variando de 5% a 20% (em massa), em argamassas com traço de 1:4 (cimento:areia), e somente 20% em argamassas com traços de 1:5 e 1:6. Após 28 dias de cura, observou-se que, no traço 1:4, quanto maior a quantidade de resíduos incorporados, maior a densidade aparente e a resistência mecânica das argamassas, com as argamassas sem resíduos apresentando os menores valores. Nos traços de 1:5 e 1:6, a

resistência mecânica e a densidade aparente das argamassas com resíduos também foram superiores às argamassas sem resíduos. Em geral, os resultados mais promissores foram obtidos nas argamassas produzidas no traço de 1:4 com 20% de resíduos.

Lopes (2020) explorou a utilização de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) como substituições parciais para o cimento Portland ou a areia natural em argamassas. Foram examinados três tipos de RBRO: um do processo de corte, outro do processo de corte após ser queimado a 500°C, e um do processo de polimento em marmorarias. Corpos de prova de argamassa foram fabricados com uma proporção de 1:3 (cimento:areia) em massa, substituindo o cimento pelos resíduos nas proporções de 7,5%, 10% e 20%. Com a mesma proporção (1:3), também foram produzidas argamassas substituindo parte da areia pelos resíduos de corte e de corte queimado, nas proporções de 7,5%, 10%, 20% e 30%. As análises revelaram um grande potencial para a substituição do cimento ou da areia pelos resíduos, recomendando até 10% de substituição do cimento e até 30% de substituição da areia pelos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais.

Em comparação com esses estudos, nossos resultados confirmam a viabilidade da utilização de resíduos de mármore em argamassas, especialmente em substituições de até 10%. A análise da resistência à compressão indicou que a substituição de 10% proporcionou uma resistência competitiva em relação às argamassas sem resíduos, enquanto proporções maiores levaram a uma diminuição na resistência.

4. Considerações finais

O presente estudo avaliou a viabilidade de utilizar resíduos de corte de mármore como substituto parcial da areia em argamassas, explorando seu impacto na resistência à compressão. A metodologia envolveu uma revisão de literatura e um estudo experimental com corpos de prova submetidos a diferentes teores de substituição (10%, 25%, 50%).

Os resultados indicaram que, aos 3, 7 e 28 dias, as argamassas com 10% de substituição apresentaram maior resistência em comparação às de referência. Já as argamassas com 25% de substituição mostraram resistência superior às de referência aos 3 e 28 dias. Por outro lado, as argamassas com 50% de substituição apresentaram resistência inferior em relação a todas as outras argamassas em todos os dias de ensaio

A diminuição da resistência em teores mais altos pode ser atribuída à granulometria, o pó de mármore, por ser mais fino, pode preencher os espaços entre os grãos de areia de maneira diferente, possibilitando um aumento no índice de vazios entre grãos, alterando a estrutura interna da argamassa, vale ressaltar que a relação água/cimento, sendo maior diminui a resistência da argamassa.

Com base nesses resultados, conclui-se que a substituição de areia por resíduo de corte de rochas ornamentais em até 10% é viável e pode ser considerada uma alternativa sustentável para a produção de argamassas, contribuindo para a redução de resíduos industriais e o aproveitamento de subprodutos da indústria de rochas ornamentais. No entanto, para teores de substituição superiores a 10%, a diminuição na resistência à compressão torna necessária uma análise mais detalhada e possivelmente a utilização de aditivos plastificantes para reduzir a quantidade de água utilizada ou modificações no traço para garantir a viabilidade técnica da aplicação.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar com força, saúde e sabedoria ao longo desta caminhada. Toda honra e glória pertencem a Ele.

À minha mãe, por me apoiar, incentivar e por se dedicar incansavelmente. Suas palavras de encorajamento foram fundamentais para que eu pudesse alcançar mais esta conquista.

À minha família, por acreditarem em mim em todos os momentos.

Ao meu filho, que é a minha maior motivação. Sua presença me impulsiona a buscar sempre o melhor e a nunca desistir, mesmo diante dos desafios.

À minha orientadora, que me orientou com conselhos valiosos e demonstrou imensa paciência ao mesmo tempo que esteve disponível em cada etapa do processo.

Gostaria de expressar a minha gratidão a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste estudo - seja com apoio moral, intelectual, técnico ou logístico. Sua ajuda e colaboração foram essenciais para a realização deste trabalho.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland- Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 201.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **ABNT NBR 5738: Concreto -Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11578: Cimento Portland Composto.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7175: Cal hidratada para argamassas.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215: Cimento Portland - Determinação de resistência à compressão de corpos cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

BAUER, L. A .F. **Materiais de construção, vol 1.** Ed. Rio de Janeiro: LCT, 2008.

CRUZ, A. C. F. *et al.* **Caracterização do resíduo de corte de mármore e granito de marmoraria e análise da viabilidade de substituição parcial do cimento portland para produção de pavers.** Revista Univap, v. 26, n. 51, p. 91-107, 2020.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

FERNANDES, I. V.; MENDONÇA, A. M. G. D. **Aproveitamento de sobras da serragem de mármore para produção de pisos intertravados.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 1, p. 2084-2100, 2020.

LAISTER, E. **Influência do consumo de cimento e da relação água/cimento em argamassas para execução de estaca raiz.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

LAMPREIA, N.; VEIGA, R. **Argamassas cimentícias com resíduos industriais incorporados.** Materiais de Construção Sustentáveis, v.1, p. 211-222, 2014.

LEITE, F. R. **O potencial uso de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais como**

matéria-prima em argamassas e sua avaliação do ciclo de vida (ACV). Mestrado em ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL Instituição de Ensino: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Bauru), Bauru Biblioteca Depositária: <http://hdl.handle.net/11449/183134>. 2019.

LOPES, K. L. **Avaliação da argamassa com incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Sorocaba, 2020.

MACENA, C. L.; LEME, M. A. G. **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil.** FOCO: caderno de estudos e pesquisas, n. 13, p. 38-53, 2019.

MATUTI, B. B.; SANTANA, G. P. **Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de tijolo cerâmico—uma revisão.** Scientia Amazonia, v. 8, n. 1, p. E1-E13, 2019.

MENDONÇA, S. M. G. D. et al. **Utilização do resíduo de mármore na produção de argamassa.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 44238-44247 may. 2021.

MOISES, J. et al. **A sustentabilidade na construção civil e o papel do arquiteto: uma revisão narrativa.** Revista Mundi Sociais e Humanidades (ISSN: 2525-4774), v. 7, n. 2, 2022.

ONOFRE, S. B. et al. **Utilização de resíduos de mármore e granitos na produção de argamassas e resíduos da construção e demolição na produção de concretos.** 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 2016.

ROQUE, R. A. L., & PIERRI, A. C. **Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil.** Research, Society and Development, 8(2), e3482703–e3482703. 2019.

SALES, A. T. C.; SÁ, B. R. C.; SANTOS, D. G. **Argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por pó de mármore.** In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. Anais... ANTAC, p. 2473- 2481, 2014.

SILVA, J. A. et al. **Concreto reciclado: a importância de inserção de práticas sustentáveis para reduzir os impactos ambientais e econômicos da construção civil.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 11, n. 17, pág. e230111739180-e230111739180, 2022.