

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

GABRIELI REMOR

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DE AREIA POR RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO
CIVIL

Joinville

2024

GABRIELI REMOR

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL E TOTAL DE AREIA POR RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, no Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valéria Bennack

Joinville

2024

GABRIELI REMOR

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DE AREIA POR RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO
CIVIL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 10 de dezembro de 2024.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Valéria Bennack
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientadora/Presidente

Profa. Dra. Anelize Borges Monteiro
Universidade Federal de Santa Catarina
Membra

Prof. Dr. Julián Asdrubal Buriticá García
Universidade Federal de Santa Catarina
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, especialmente aos meus pais, Rosméri e Wilson, e ao meu irmão, Rafael. Sem o amor e o apoio incondicional de vocês, a realização deste sonho não teria sido possível. Sou eternamente grata por nunca me deixarem desistir, mesmo nos momentos mais desafiadores. A força e a confiança que sempre me ofereceram foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À minha orientadora Dra. Valéria Bennack, por todo suporte, compreensão e disponibilidade para me auxiliar na elaboração deste trabalho, e também por todos os ensinamentos durante a graduação.

Ao corpo docente da Universidade Federal de Santa Catarina, vocês foram fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos grandes amigos que fiz na UFSC, em especial à Maria Eduarda Walter Sagaz, por todo o auxílio no laboratório, sua ajuda foi essencial para a realização deste trabalho. E aos demais amigos que me auxiliaram de forma indireta, Pedro Abreu, Larissa Monteiro, Julia da Silva, Marcelo Sebben, Guilherme Tonette, Thiago de Oliveira, Victoria Volker, Monica Nunes e Sabrina Finkler, vocês tornaram a minha caminhada mais leve.

À Deus, fonte de toda sabedoria e força, por me guiar nesta jornada acadêmica. Sua presença constante em minha vida me concedeu coragem nos momentos desafiadores e me encheu de gratidão nas conquistas alcançadas.

À Terraplenagem Medeiros pelo fornecimento do resíduo de construção civil, essencial para a execução desta pesquisa.

À Perville Construtora por ceder o laboratório para execução dos ensaios de resistência mecânica.

Aos demais envolvidos, muito obrigada.

“Se você quer algo que nunca teve, você precisa estar disposto a fazer algo que nunca fez.”

(Thomas Jefferson, 1743-1826).

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das mais antigas da história, e com o processo de urbanização, a geração de Resíduos de Construção Civil (RCC) atingiu patamares alarmantes. Os RCC são materiais provenientes de atividades da construção civil e são uma fonte de preocupação devido à geração dos impactos ambientais. Embora a construção civil seja geradora de resíduos, também apresenta potencial na reutilização desses materiais. A incorporação dos RCC na fabricação de argamassas no Brasil é uma alternativa eficiente, no entanto, há dificuldade em verificar a qualidade e o desempenho desses materiais, tanto na produção quanto na aplicação da mesma. Considerando isso, é necessário investigar maneiras eficazes de empregar o RCC na produção de argamassas. A pesquisa aqui realizada envolve argamassas sem substituição (0%), com substituição parcial (50% e 75%) e total (100%) de areia por resíduo de construção civil, com o objetivo de identificar o traço mais adequado para argamassas de revestimento reutilizando esses resíduos. Este trabalho compara os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão, correlacionando-os com os ensaios de densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade do uso de RCC na composição de argamassas. O traço com 100% de RCC apresentou resistência à compressão de 10,7 MPa e resistência à tração na flexão superior a 6,0 MPa. Para o traço com 75% de RCC, os valores foram 13,73 MPa e 6,10 MPa, respectivamente. Já o traço com 50% de RCC mostrou resultados similares ao traço de referência (0% RCC), com resistência à compressão de 14,75 MPa e resistência à tração na flexão de 6,38 MPa. Apesar do impacto negativo da adição de RCC nas resistências mecânicas, os valores obtidos são considerados viáveis. Portanto, conclui-se que é possível utilizar argamassas com 50%, 75% e 100% de RCC em sua composição, conforme demonstrado pelos ensaios realizados.

Palavras-chave: argamassa; resíduo da construção civil; sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is one of the oldest in history, and with the process of urbanization, the generation of Construction Waste (CW) has reached alarming levels. CW consists of materials originating from construction activities and represents a significant concern due to its environmental impacts. Although the construction industry is a major generator of waste, it also holds potential for the reuse of these materials. The incorporation of CW in the production of mortars in Brazil is an efficient alternative; however, challenges remain in verifying the quality and performance of these materials, both in production and application. Considering this, it is essential to investigate effective ways to employ CW in mortar production. The research presented here involves mortars without substitution (0%), with partial substitution (50% and 75%), and total substitution (100%) of sand by construction waste, aiming to identify the most suitable mix for rendering mortars by reusing these residues. This study compares the results of compressive strength and flexural tensile strength, correlating them with tests for bulk density, water absorption, and open porosity. The results obtained demonstrate the feasibility of using CW in mortar compositions. The mix with 100% CW achieved a compressive strength of 10.7 MPa and a flexural tensile strength greater than 6.0 MPa. For the mix with 75% CW, the values were 13.73 MPa and 6.10 MPa, respectively. The mix with 50% CW showed results similar to the reference mix (0% CW), with a compressive strength of 14.75 MPa and a flexural tensile strength of 6.38 MPa. Despite the negative impact of CW addition on mechanical strength, the results obtained are considered viable. Therefore, it is concluded that mortars with 50%, 75%, and 100% CW in their composition can be effectively utilized, as demonstrated by the tests conducted.

Keywords: mortar; construction waste; sustainability.

LISTA DE TABELAS

Figura 1 - Modelo de Powers para relação entre porosidade e força de compressão.	18
Figura 2 - Coleta de RCC pelos municípios	19
Figura 3 - Material após a coleta	23
Figura 4 - RCC após o processo de beneficiamento	23
Figura 5 - Etapas de caracterização dos agregados miúdos	24
Figura 6 - Peneiras utilizadas no ensaio de distribuição granulométrica	26
Figura 7 - Determinação da massa unitária: a) Recipiente vazio, b) Recipiente preenchido com RCC, c) Recipiente preenchido com areia	28
Figura 8 - Determinação da densidade e absorção de água do RCC: a) Massa do frasco vazio, b) Massa do frasco + agregado, c) Frasco + agregado + água.....	31
Figura 9 - Abertura de um dos traços estudados	32
Figura 10 - Argamassadeira utilizada na preparação das misturas.....	34
Figura 11 - Argamassa moldada na mesa de adensamento	35
Figura 12 - Produção dos corpos de prova: a) Moldagem, b) Corpos de prova em cura ao ar.	36
Figura 13 - Dispositivo de carga para ensaios de resistência à tração na flexão.	37
Figura 14 - Execução do ensaio de tração na flexão.	38
Figura 15 - Dispositivo de carga típico para ensaios de resistência à compressão. .	39
Figura 16 - Execução do ensaio de resistência à compressão.	40
Figura 17 - Divisão das amostras em “a” e “b”	41
Figura 18 - Corpos de prova imersos em água	42
Figura 19 - Abertura das argamassas: a) 0%, b) 50%, c) 75%, d) 100%.	47
Figura 20 - Momento do rompimento do corpo de prova no ensaio de tração na flexão	49
Figura 21 - Corpos de prova após ensaio de resistência à compressão	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia e RCC.....	44
Gráfico 2 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias	50
Gráfico 3 - Resistência à compressão aos 28 dias	52
Gráfico 4 - Densidade aparente dos diferentes traços de argamassa.....	54
Gráfico 5 - Absorção de água dos diferentes traços de argamassa.....	55
Gráfico 6 - Porosidade aberta dos diferentes traços de argamassa.....	56
Gráfico 7 - Relação entre resistência mecânica e densidade aparente: a) Tração na flexão, b) Compressão	58
Gráfico 8 - Relação entre resistência mecânica e porosidade aberta: a) Tração na flexão, b) Compressão	59
Gráfico 9 - Relação entre resistência mecânica e absorção de água: a) Tração na flexão, b) Compressão	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Abertura das peneiras da série normal	25
Tabela 2 - Traço obtido para cada argamassa (kg).....	33
Tabela 3 - Módulo de finura e dimensão máxima dos agregados	45
Tabela 4 - Massa unitária, densidade e absorção de água dos agregados	46
Tabela 5 - Relação água/cimento e <i>flow table</i> médio das argamassas.....	47
Tabela 6 - Resultados de resistência obtidos através do ensaio de tração na flexão	49
Tabela 7 - Classificação das argamassas para revestimento a partir da resistência à tração na flexão.....	51
Tabela 8 - Resultados de resistência obtidos através do ensaio de compressão	52
Tabela 9 – Densidade aparente das argamassas	53
Tabela 10 - Absorção de água das argamassas	55
Tabela 11 - Porosidade aberta das argamassas	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – Graus Celsius

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

cm³ - Centímetros cúbicos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

g – Gramas

g/cm³ - Gramas por centímetros cúbicos

mL - Mililitro

mm – Milímetros

mm² - Milímetros quadrados

MPa – Megapascal

N – Newton

R² - Coeficiente de determinação

RCC - Resíduos da Construção Civil

V - Volume

µm – Micrômetro

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ_{ap} - Massa unitária do agregado

ρ_s - Densidade do agregado na condição seca

ρ_a - Densidade da água na temperatura do banho

ρ_{sss} - Densidade do agregado na condição saturada superfície seca

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 CIMENTO PORTLAND	14
2.2 AGREGADO MIÚDO NATURAL	15
2.3 ARGAMASSA.....	15
2.3.1 Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido	16
<u>2.3.1.1 Trabalhabilidade</u>	<u>16</u>
<u>2.3.1.2 Permeabilidade</u>	<u>17</u>
<u>2.3.1.3 Resistência Mecânica</u>	<u>17</u>
2.4. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC	19
3. METODOLOGIA	21
3.1 MATERIAIS	22
3.1.1 Cimento Portland	22
3.1.2 Areia média	22
3.1.3 Resíduo da Construção Civil - RCC	23
3.1.4 Água	24
3.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	24
3.2.1 Distribuição granulométrica	24
3.2.2 Massa unitária	27
3.2.3 Densidade	28
3.3 ENSAIO NA ARGAMASSA EM ESTADO FRESCO	31
3.3.1 Índice de Consistência – <i>Flow table</i>	31
3.4 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DAS ARGAMASSAS.....	32
3.4.1 Mistura dos materiais	33
3.4.2 Moldagem dos corpos de prova	34
3.5 ENSAIOS NA ARGAMASSA EM ESTADO ENDURECIDO	36
<u>3.5.1.1 Resistência à tração na flexão das argamassas</u>	<u>36</u>
<u>3.5.1.2 Resistência à compressão das argamassas</u>	<u>39</u>

3.5.2.1 Densidade aparente	42
3.5.2.2 Absorção de água	43
3.5.2.3 Porosidade aberta	43
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	44
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS	44
4.1.1 Distribuição granulométrica	44
4.1.2 Massa unitária, densidade e absorção de água dos agregados	45
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	46
4.2.1 Ensaio no estado fresco	46
4.2.2 Ensaio no estado endurecido	48
<u>4.2.2.1 Resistência mecânica.....</u>	<u>48</u>
4.2.2.1.1 Resistência à tração na flexão	48
4.2.2.1.2 Resistência à compressão	51
<u>4.2.2.2 Propriedades físicas</u>	<u>53</u>
4.2.2.2.1 Densidade aparente	53
4.2.2.2.2 Absorção de água	54
4.2.2.2.3 Porosidade aberta	55
4.2.3 Análise entre as resistências mecânicas e propriedades físicas das argamassas.....	57
<u>4.2.3.1 Resistência mecânica x Densidade aparente.....</u>	<u>57</u>
<u>4.2.3.2 Resistência mecânica x Porosidade aberta.....</u>	<u>59</u>
<u>4.2.3.3 Resistência mecânica x Absorção de água.....</u>	<u>60</u>
5. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das áreas mais antigas na história do desenvolvimento humano, sendo realizada de maneira artesanal desde a antiguidade (Lintz *et al.*, 2012). Segundo Brasileiro e Matos (2015), com a aceleração do processo de urbanização, e conseqüentemente, o aumento das atividades do setor da construção, aliada à intensa exploração dos recursos naturais, a geração de Resíduos da Construção Civil (RCC) atingiu patamares alarmantes.

Conforme definido pela Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), os RCC são restos de materiais resultantes de construções, reformas, reparos e demolições de obras provenientes da construção civil, comumente chamados de entulhos. Os desafios ambientais decorrentes do descarte dos RCC são uma fonte de preocupação devido aos impactos causados pelos depósitos ilegais, os quais contribuem para a expansão dos aterros sanitários urbanos, locais onde esses resíduos permanecem sem uma utilização efetiva (Brasileiro e Matos, 2015).

De acordo com Oliveira *et al.* (2006), embora a construção civil seja uma grande geradora de resíduos, também apresenta um potencial considerável para reutilizar esses materiais como agregados em diversas áreas da engenharia, o que pode resultar na criação de materiais alternativos.

Segundo Jochem (2012), a incorporação desse material na fabricação de argamassas no Brasil é uma alternativa eficiente para o desafio do resíduo gerado, pois incentiva a produção de materiais ecologicamente corretos. No entanto, um obstáculo à utilização desse resíduo na produção de argamassas é a dificuldade em verificar a qualidade e o desempenho desses materiais devido à composição variada e à presença de contaminantes (Lima e Cabral, 2013).

Considerando a necessidade de encontrar alternativas para o uso de resíduos da construção civil na produção de argamassas, sem comprometer significativamente suas propriedades em relação à utilização de agregado natural, este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de argamassas com substituição parcial e total da areia por RCC, sem nenhuma adição ou aditivos. Busca-se, assim, obter dados de resistência mecânica e parâmetros físicos que permitam avaliar a viabilidade do uso desse resíduo em argamassas de revestimento.

Para alcançar os objetivos deste estudo, primeiramente foram determinadas as curvas granulométricas da areia e do RCC, juntamente com a caracterização desses materiais, o que possibilitou a formulação dos traços e a fabricação dos corpos de prova. Essas etapas foram conduzidas no Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável (LabICons), vinculado ao Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Em sequência, os ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão ocorreram na Perville Construtora, e, por fim, os testes de propriedades físicas foram realizados no LabICons.

1.1 OBJETIVOS

Para resolver a problemática do alto volume de resíduos gerados pela construção civil foram propostos os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento de argamassas cimentícias com a incorporação de resíduo da construção civil em diferentes teores de adição.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a areia e o RCC através de ensaios de granulometria, massa unitária, densidade aparente e absorção de água;
- Desenvolver traços em argamassas com teores de 0%, 50%, 75% e 100% de RCC;
- Definir a relação água/cimento para garantir uma abertura de 260 ± 5 mm em todos os traços de argamassa desenvolvidos;
- Analisar e relacionar os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão, com a densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta, para entender a influência dessas propriedades no desempenho mecânico das argamassas no estado endurecido.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geração de resíduos na construção civil ocorre em todas as etapas do processo, desde a preparação do terreno até a conclusão da obra. Diante desse cenário, é necessário implementar medidas para minimizar a geração de resíduos, sendo uma delas a fabricação de argamassas utilizando RCC. Para isso, é essencial conhecer os materiais envolvidos no desenvolvimento da argamassa. Este capítulo aborda as propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido, além de discutir os materiais que serão incorporados na mistura: água, cimento, areia e RCC.

2.1 CIMENTO PORTLAND

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes que endurece quando misturado com água. Após o endurecimento, ele não se decompõe, mesmo se exposto novamente à água. Sua composição é formada por clínquer e adições, sendo o clínquer o componente essencial presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições, por sua vez, variam de acordo com o tipo de cimento e são fundamentais para definir suas características e propriedades.

Embora a maioria dos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado seja adequada para aplicações gerais, alguns têm características específicas que os tornam mais indicados para usos determinados, assegurando a resistência e durabilidade necessárias nas argamassas e concretos (ABCP, 2002).

O cimento Portland é um material de qualidade controlada, geralmente não responsável por problemas em revestimentos de argamassa, que muitas vezes são causados pelo traço adotado (Carasek, 2010). Sua influência nas argamassas pode ser ajustada pela variação dos componentes, especialmente na relação água/cimento. Portanto, é crucial estudar a dosagem ideal dos materiais, levando em conta o tipo de cimento, para garantir resultados eficazes com custos reduzidos.

2.2 AGREGADO MIÚDO NATURAL

Conforme a NBR 9935 (ABNT, 2024), o agregado natural é um material granular de origem natural, encontrado já fragmentado ou obtido por britagem de rochas, classificado de acordo com sua dimensão granulométrica. Além disso, é geralmente inerte e apresenta propriedades adequadas para uso na preparação de concreto ou argamassa.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), o agregado miúdo pode ser definido como os grãos passantes na peneira com malha de 4,75 mm e que ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm. O agregado miúdo mais utilizado nas argamassas de revestimento é a areia natural, que é composta principalmente de quartzo e extraída de leitos de rios e cavas (Carasek, 2010).

Segundo Carasek *et al.* (2016), para mitigar os efeitos da extração de areia natural, a indústria da construção tem utilizado areia de britagem, que apresenta menor variabilidade nas propriedades e é livre de impurezas. Contudo, a forma angulosa e a alta quantidade de finos podem impactar negativamente a trabalhabilidade das argamassas.

2.3 ARGAMASSA

As argamassas são utilizadas em larga escala na construção civil, principalmente nas atividades de assentamento de blocos, emboço e reboco (Carasek, 2010).

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13281- 1 (2023), a argamassa é uma “[...] mistura homogênea de um ou mais ligantes inorgânicos, agregados miúdos e água, que pode conter fibras, adições e/ou aditivos, com características específicas de desempenho adequadas à utilização”. (p. 2).

A argamassa de revestimento é utilizada em paredes, muros e tetos para prepará-los para acabamentos como pintura e revestimentos cerâmicos. Ela protege a alvenaria e a estrutura contra os efeitos do intemperismo em revestimentos externos, e engloba o sistema de vedação do edifício, proporcionando aproximadamente 30% de isolamento térmico, 50% de isolamento acústico e 70 a 100% de estanqueidade à água (Carasek, 2010).

As argamassas inorgânicas devem atender aos requisitos estabelecidos pela NBR 13281-1 (ABNT, 2023), de modo que, independentemente do método de produção das mesmas, sendo em canteiro de obras, industrializadas ou usinadas, devem ser realizados os ensaios necessários para verificar as propriedades das mesmas, tanto no estado fresco, quanto no endurecido.

2.3.1 Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido

2.3.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade se destaca como uma das características mais importantes das argamassas no estado fresco, pois, influencia diretamente na facilidade da mistura, aplicação e finalização da argamassa (Jochem, 2012). De acordo com Carasek (2010), a trabalhabilidade é uma propriedade que varia conforme a área de aplicação. Ela não deve apenas facilitar a execução da atividade, mas também assegurar o desempenho ideal da argamassa para sua finalidade específica.

A trabalhabilidade refere-se à forma como as argamassas se comportam na prática. Uma argamassa é considerada trabalhável quando permite que o operador manuseie a mistura com eficiência, resultando em boa produtividade (Carasek, 2010). Segundo Tristão (1995), para argamassas de revestimento, a trabalhabilidade significa garantir uma boa aderência ao substrato e facilidade no acabamento superficial.

Para avaliar e quantificar os valores de trabalhabilidade das argamassas, deve ser realizado o ensaio de determinação do índice de consistência (*flow table test*), ensaio esse, normalizado pela NBR 13276 (ABNT, 2016), que fornece detalhes sobre os equipamentos necessários e os procedimentos a serem seguidos para realizar o ensaio com precisão. Isso inclui informações sobre a mesa de consistência e instruções etapa a etapa, desde a preparação da amostra até a interpretação dos resultados.

2.3.1.2 Permeabilidade

A permeabilidade é a característica que regula a velocidade com que um fluido penetra em um sólido poroso, determinando a facilidade com que líquidos e gases podem se mover através do material (Mehta e Monteiro, 1994 *apud* Jochem, 2012).

Segundo Carasek (2010), a permeabilidade está diretamente ligada à capacidade de manter a estanqueidade das paredes de vedação do edifício, especialmente em aplicações de argamassa para reboco de fachada. Carasek (2010) ainda complementa que a garantia da estanqueidade é crucial para preservar a durabilidade do revestimento externo, especialmente em áreas de elevada precipitação pluviométrica, onde atua como uma barreira protetora contra infiltrações de água.

Um material com alta permeabilidade apresenta uma estrutura interna com porosidade aberta, ou seja, possui poros interligados, o que favorece uma maior absorção de água (Jochem, 2012). Além disso, materiais permeáveis são caracterizados por uma baixa densidade aparente, especialmente quando se trata de agregados reciclados em substituição ao agregado natural na composição da argamassa (Amaral, 2019).

Para se determinar a absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente da argamassa, utiliza-se a NBR 9778 (ABNT, 2005).

2.3.1.3 Resistência Mecânica

A resistência mecânica refere-se à capacidade do revestimento de suportar esforços de tração e compressão, para garantir a sua integridade estrutural. O revestimento de argamassa precisa absorver pequenas deformações para evitar rupturas e microfissuras, garantindo aderência, estanqueidade e durabilidade (Carasek, 2010).

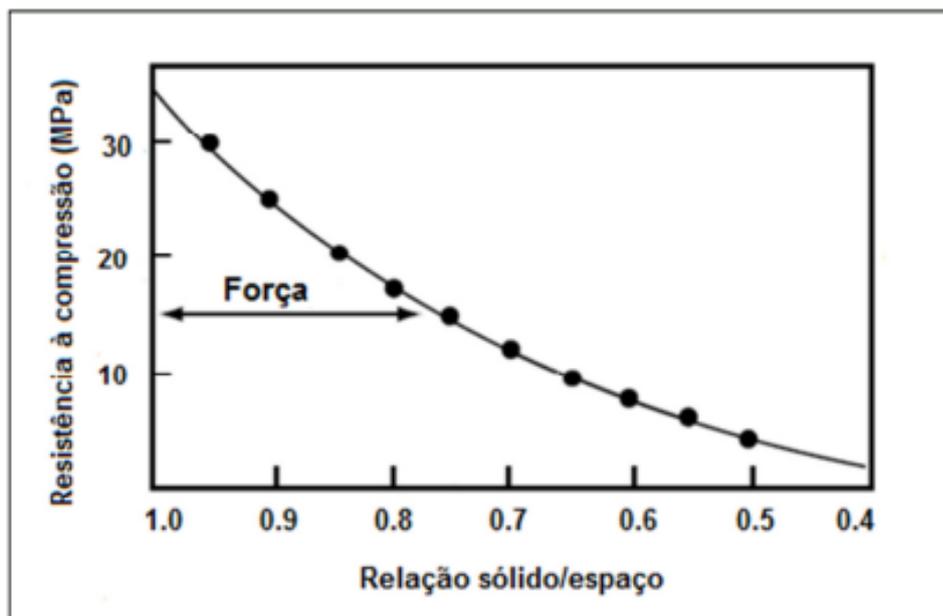
Segundo Tristão (1995), a resistência mecânica das argamassas pode variar sob as diferentes solicitações a que estão submetidas. Elas precisam suportar movimentações da base, que podem ocorrer devido a recalques ou variações volumétricas causadas por umedecimento e secagem, além disso, devem resistir à dilatação e contração do revestimento devido às mudanças de temperatura. Essas

condições podem provocar fissuras ou falhas na aderência entre a argamassa e a base.

De acordo com Carasek (2010), o revestimento de argamassa deve possuir a capacidade de resistir a pequenas deformações, o que é essencial para garantir a integridade do revestimento ao longo do tempo. Essa capacidade permite que a argamassa se deforme de maneira controlada, sem sofrer rupturas significativas ou desenvolver microfissuras. Essas microfissuras, embora pequenas, podem comprometer a aderência do revestimento à superfície, além de afetar sua estanqueidade, permitindo a infiltração de água e outros agentes externos.

A resistência de um material é a capacidade de suportar tensões sem se romper. Nos materiais sólidos, há uma relação entre porosidade e resistência: à medida que a porosidade aumenta, a resistência à compressão diminui, como ilustra a Figura 1. Sendo assim, um aumento na presença de vazios resultará em uma diminuição da rigidez do material e, conseqüentemente, em maiores deformações quando uma carga for aplicada (Mehta e Monteiro, 2008 *apud* Bernardes, 2013).

Figura 1 - Modelo de Powers para relação entre porosidade e força de compressão.



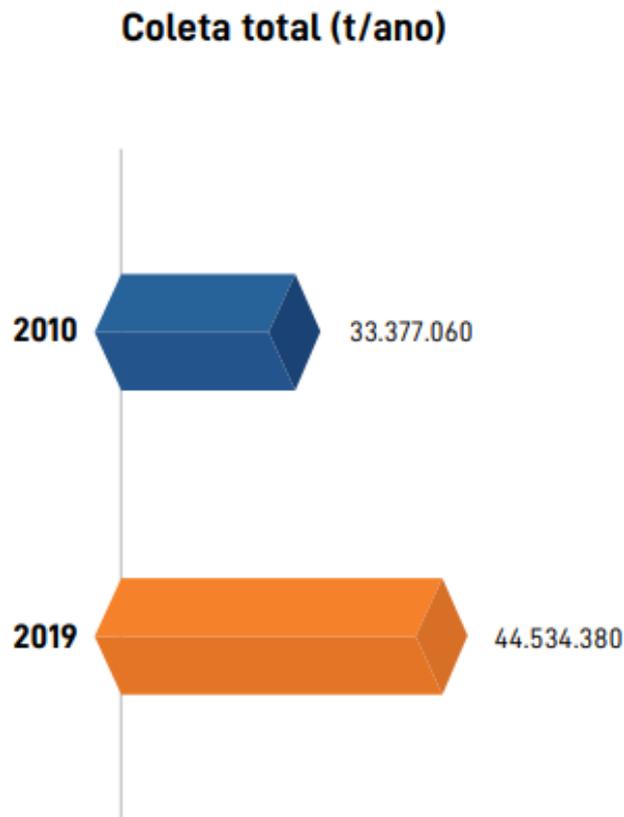
Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008) por Bernardes (2013, p. 42).

2.4. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307 (2002), os RCC são classificados em quatro categorias principais (A, B, C e D), com base em sua origem e nas possibilidades de reaproveitamento ou descarte. A Classe A abrange os resíduos recicláveis e reutilizáveis como agregados, provenientes de atividades de construção, demolição e reformas de edificações. Esses materiais são compostos, principalmente, por restos de tijolos, blocos, telhas, argamassas e concreto.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2020), os resíduos de construção civil coletados anualmente pelos municípios aumentaram de forma significativa entre 2010 e 2019, indo de 33 milhões de toneladas, para 44,5 milhões de toneladas, como mostra a Figura 2, revelando a gravidade de um problema que exige medidas efetivas. Diante dessa problemática, deve-se adotar práticas sustentáveis para reutilização desse resíduo.

Figura 2 - Coleta de RCC pelos municípios



Fonte: Abrelpe (2020, p. 24).

Nesse sentido, a utilização de RCC na composição de argamassas traz inúmeros benefícios, como a utilização do resíduo gerado dentro do canteiro de obras, economia na aquisição da matéria prima (areia) e a diminuição de material descartado em aterros (Amaral, 2019). Porém, a verificação da qualidade e desempenho desses materiais é um desafio, devido à variação em sua composição e a presença de contaminantes, uma vez que não há parâmetros que controlem a produção e aplicação dessas argamassas (Jochem, 2012).

Segundo o mesmo autor, os revestimentos de argamassa que incorporam agregado reciclado enfrentam desafios semelhantes aos das argamassas com agregado natural, porém, esses problemas são intensificados pela utilização do RCC. Sendo assim, é necessário compreender as propriedades do resíduo e definir o traço ideal para sua aplicação.

A utilização de agregados de RCC apresenta desafios devido à maior porosidade, textura rugosa e quantidade de finos, exigindo assim, uma quantidade superior de água durante o processo de mistura. Além disso, ao incorporar esses agregados nas argamassas, várias propriedades são impactadas, como por exemplo, a trabalhabilidade (Jochem, 2012). Conforme observado por Silva *et al.* (2016), o aumento de finos dos agregados reciclados pode levar a uma diminuição da resistência do material.

3. METODOLOGIA

O presente capítulo se dedica à descrição detalhada dos materiais, métodos e equipamentos empregados no desenvolvimento da pesquisa, bem como aos ensaios realizados para caracterizar os materiais tanto no estado fresco quanto no endurecido. O fluxograma da Figura 3 ilustra as etapas realizadas durante a pesquisa.

Figura 3 - Etapas desenvolvidas na pesquisa



Fonte: Autora (2024).

3.1 MATERIAIS

Como já definido anteriormente, a argamassa é uma mistura homogênea de um ou mais ligantes inorgânicos, agregados miúdos e água. Sendo assim, para a produção das argamassas, utilizou-se os seguintes materiais: água, o cimento “CP IV-32-RS todas as obras” como aglomerante, e areia média e resíduo da construção civil como agregado miúdo.

3.1.1 Cimento Portland

O aglomerante escolhido para esta pesquisa foi o cimento “CP IV-32-RS todas as obras” da Votorantim, devido à sua ampla disponibilidade na cidade de Joinville. Segundo a fabricante, esse tipo de cimento é altamente versátil, podendo ser utilizado em diversas aplicações, incluindo argamassa de reboco.

Este produto está em conformidade com a NBR 16697 (ABNT, 2018), que estabelece a classificação dos cimentos de acordo com sua composição, classe de resistência e limite de adições. A classificação do cimento CP IV pode ser consultada na Tabela 1 apresentada a seguir.

Tabela 1 - Classificação do cimento CP IV-32

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland pozolânico	CP IV	32	RS	45-85	0	15-50	0-10

Fonte: Adaptado de: NBR 16697 (2018).

3.1.2 Areia média

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2022), o agregado miúdo pode ser definido como sendo os grãos passantes na peneira com malha de 4,75 mm e que ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm.

Sendo assim, a areia média foi escolhida como um dos agregados miúdos para a realização desta pesquisa, juntamente com o RCC.

3.1.3 Resíduo da Construção Civil - RCC

O resíduo da construção civil utilizado para compor as argamassas neste estudo foi fornecido pela empresa Terraplenagem Medeiros, localizada em Joinville/SC. Este material é proveniente da coleta dos RCC depositados nas caçambas das obras. A Figura 4 apresenta o estado do material ao ser recebido pela empresa após a coleta, e a Figura 5 mostra a condição do RCC após o processo de beneficiamento.

Figura 4 - Material após a coleta



Fonte: Terraplenagem Medeiros (2024).

Figura 5 - RCC após o processo de beneficiamento



Fonte: Terraplenagem Medeiros (2024).

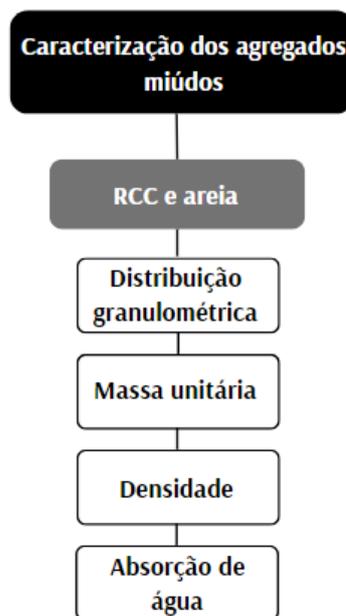
3.1.4 Água

A água empregada na produção da argamassa foi obtida da rede de abastecimento público da Companhia Águas de Joinville.

3.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Com os materiais mencionados em mãos, foram iniciados os ensaios laboratoriais. A primeira etapa envolveu a caracterização dos agregados miúdos, como mostra a Figura 6. Em seguida iniciou-se a formulação de uma dosagem otimizada para as argamassas com RCC.

Figura 6 - Etapas de caracterização dos agregados miúdos



Fonte: Autora (2024).

3.2.1 Distribuição granulométrica

O ensaio de distribuição granulométrica avalia a proporção de diferentes tamanhos dos grãos dos agregados analisados, conforme normatizado pela NBR

17054 (ABNT, 2022). Essa norma estabelece os equipamentos necessários e o procedimento detalhado para a execução adequada do ensaio.

Conforme mencionado anteriormente, utilizou-se neste trabalho agregados miúdos, definidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022) como os grãos que passam pela peneira de malha 4,75 mm e são retidos na peneira com abertura de 150 μm . Com base nessa definição, foram selecionadas as aberturas das peneiras para a realização do ensaio, conforme ilustrado na Tabela 2, que apresenta as peneiras da série normal.

Tabela 2 - Abertura das peneiras da série normal

Série normal	Série intermediária
4,75 mm	–
2,36 mm	–
1,18 mm	–
600 μm	–
300 μm	–
150 μm	–

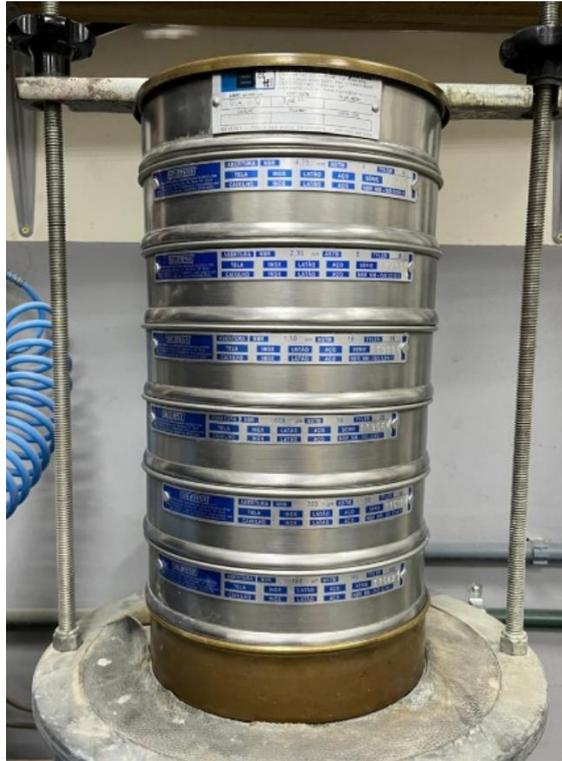
Fonte: NBR 17054 (ABNT, 2022).

Inicialmente, a areia e o RCC foram colocados em uma estufa, onde foram mantidos a uma temperatura controlada de 105 ± 5 °C por um período de 24 horas. Esse procedimento teve como objetivo remover a umidade de ambos materiais, para garantir resultados precisos para a execução do ensaio.

Após o processo de secagem dos materiais, aguardou-se o tempo necessário para que eles alcançassem a temperatura ambiente. Em seguida, foram separadas e pesadas duas amostras de 1 kg de cada material, RCC e areia. Cada amostra foi então colocada no peneirador eletromagnético, onde cada uma delas foi peneirada durante 5 minutos.

Para a realização do ensaio, as peneiras foram organizadas na seguinte sequência: tampa; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μm ; 300 μm ; 150 μm e fundo. A Figura 7 mostra o conjunto de peneiras montadas no peneirador.

Figura 7 - Peneiras utilizadas no ensaio de distribuição granulométrica



Fonte: Autora (2024).

Após o processo de peneiramento, pesou-se cada peneira com o material retido, além do seu peso individual (sem agregados). Esse procedimento permitiu determinar a massa de material retido em cada peneira para todas as amostras analisadas.

Como foram separadas duas amostras de cada material, a média aritmética da massa retida correspondente entre elas foi calculada. A partir disso, pode-se calcular as porcentagens retidas e acumuladas de cada abertura de peneira. Com esses dados, foi possível construir a curva granulométrica tanto para o RCC quanto para a areia.

Com base na curva granulométrica, foi possível calcular a dimensão máxima característica e o módulo de finura dos agregados analisados. De acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022), o primeiro parâmetro é definido como uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a cinco por cento da massa total. Por outro lado, o módulo de finura é calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado, dividida por 100. O módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados são parâmetros importantes para a avaliação dos agregados a serem incorporados nas argamassas.

3.2.2 Massa unitária

Segundo a NBR 16972 (ABNT, 2021), a massa unitária é definida como a relação entre a massa do agregado colocado dentro do recipiente cilíndrico, e o volume deste recipiente.

Para a realização do ensaio de massa unitária do RCC e da areia, seguiram-se as instruções da norma citada, que detalha os equipamentos e as metodologias necessárias para a execução correta dos procedimentos de ensaio.

Previamente ao início dos ensaios, foi realizada a secagem dos materiais em estufa, onde foram mantidos a uma temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas. A partir disso, seguiu-se o Método A da NBR 16972 (ABNT, 2021) que deve ser empregado quando os agregados têm dimensão máxima característica de 37,5 mm ou menor.

Assim, determinou-se a massa do recipiente cilíndrico vazio. Em seguida, foi adicionado material até um terço da sua capacidade, e a camada foi adensada com 25 golpes utilizando a haste de adensamento. O mesmo procedimento foi repetido para a segunda e para a última camada. Com o cilindro completamente preenchido, determinou-se a massa do recipiente preenchido.

A partir desses dados, foi possível determinar a massa unitária do RCC e da areia, utilizando a Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{M_{ar} - M_r}{V} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{ap} = Massa unitária do agregado (g/cm³);

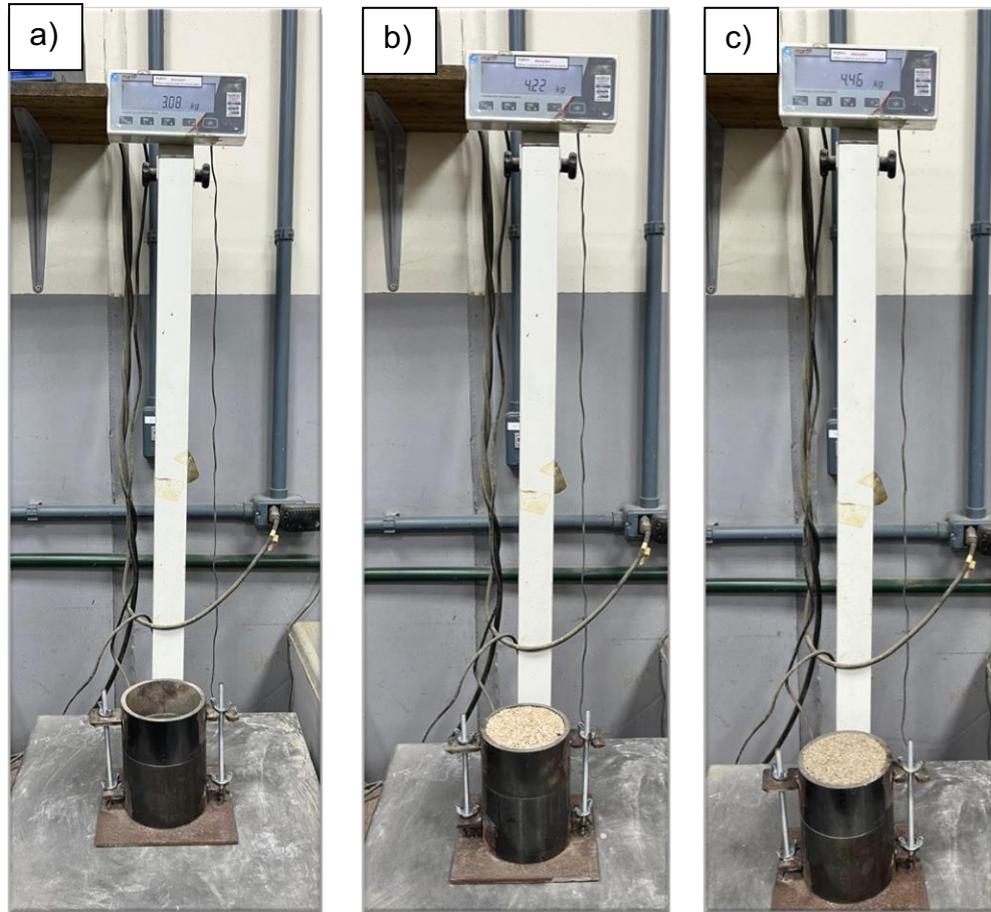
M_{ar} = Massa do recipiente com agregado (g);

M_r = Massa do recipiente vazio (g);

V = Volume do cilindro (cm³).

A realização do ensaio utilizando RCC e areia média, estão representadas na Figura 8.

Figura 8 - Determinação da massa unitária: a) Recipiente vazio, b) Recipiente preenchido com RCC, c) Recipiente preenchido com areia



Fonte: Autora (2024).

3.2.3 Densidade

Para determinar a densidade do agregado na condição seca, a densidade do agregado na condição saturada superfície seca e a absorção de água, foi utilizada a NBR 16916 (ABNT, 2021), que descreve a metodologia para a realização dos ensaios. Segundo a norma, os ensaios devem ser executados em duplicata para cada material analisado. Sendo assim, foram separadas amostras de 2,5 kg de areia e de RCC, que foram espalhadas em bandejas e cobertas com água potável por 24 horas.

Após o período de 24 horas, a água foi removida da amostra, que foi então colocada em um local com boa circulação de ar para permitir uma secagem uniforme. Esse processo de secagem foi mantido até que os grãos do agregado não estivessem

fortemente aderidos entre si, ou seja, para garantir que ainda houvesse um certo grau de umidade, mas sem que estivessem excessivamente úmidos.

Quando a amostra demonstrava ter alcançado a umidade ideal para o ensaio, esta foi colocada em um molde troncônico e submetida a 25 golpes com a haste de adensamento. Em seguida, o molde foi removido verticalmente, e o material analisado desmoronou parcialmente, confirmando que a umidade estava adequada para o ensaio, pois, o agregado atingiu a condição de saturada superfície seca.

Após a verificação, foram separados 500 g da amostra, que foram colocados em um frasco e pesados. Em seguida, adicionou-se água potável até atingir um nível próximo, mas abaixo da marca de 500 mL. O frasco foi então colocado em um banho a uma temperatura constante de 23°C por aproximadamente 1 hora. Em seguida, a água foi completada até a marca de 500 mL, e o conjunto foi pesado novamente. Posteriormente, 500 g da amostra em condição saturada superfície seca foi separada e deixada na estufa por 24 horas para determinar a massa da amostra seca.

Para calcular a densidade do agregado na condição seca, utilizou-se a Equação 2.

$$\rho_s = \frac{Ma}{V - Va} \quad (2)$$

Onde:

ρ_s : Densidade do agregado na condição seca (g/cm³);

Ma: Massa da amostra seca em estufa (105 ± 5) °C (g).

V: Volume do frasco calibrado (cm³);

Va: Volume de água adicionada ao frasco expressa em centímetros cúbicos, e é determinado a partir da Equação 3.

$$Va = \frac{Md - Mc}{\rho_a} \quad (3)$$

Onde:

Mc: Massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco (g);

Md: Massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água (g);

pa: Densidade da água na temperatura do banho (g/cm³).

Já a densidade do agregado na condição saturada superfície seca é representada pela Equação 4.

$$\rho_{sss} = \frac{Mb}{V - Va} \quad (4)$$

Onde:

ρ_{sss} : Densidade do agregado na condição saturada superfície seca (g/cm³);

Mb: Massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

V e Va são apresentados no tópico acima.

Para determinar a absorção de água dos agregados, utilizou-se a Equação 5, apresentada a seguir.

$$Abs = \frac{Mb - Ma}{Ma} \times 100 \quad (5)$$

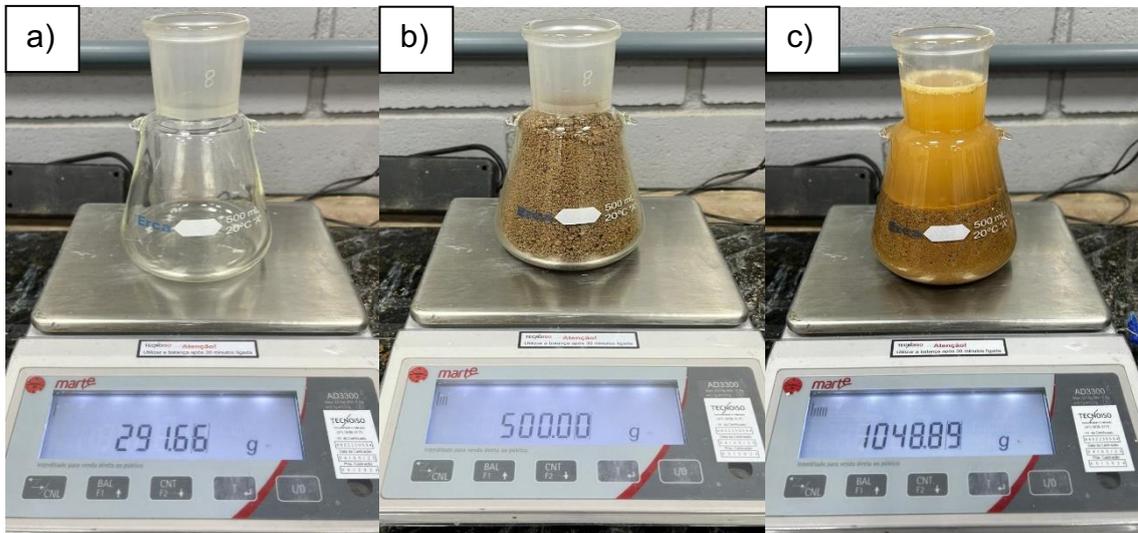
Onde:

Abs: Absorção de água (%);

Ma e Mb são apresentados nos tópicos acima.

A execução do ensaio de densidade e absorção de água para o RCC está representada na Figura 9. O mesmo ensaio foi realizado para caracterização das areias.

Figura 9 - Determinação da densidade e absorção de água do RCC: a) Massa do frasco vazio, b) Massa do frasco + agregado, c) Frasco + agregado + água.



Fonte: Autora (2024).

3.3 ENSAIO NA ARGAMASSA EM ESTADO FRESCO

O teste realizado em argamassas no estado fresco é essencial para assegurar que o material tenha qualidade, trabalhabilidade e bom desempenho. Além disso, esse ensaio possibilita ajuste na formulação da mistura.

3.3.1 Índice de Consistência – *Flow table*

O índice de consistência das argamassas analisadas foi avaliado conforme a norma NBR 13276 (ABNT, 2016), que detalha tanto os equipamentos quanto a metodologia para a execução do ensaio.

Para determinar a quantidade de água em cada um dos traços da argamassa, foi empregado o ensaio de índice de consistência (*flow table*), e o valor de referência utilizado para a avaliação foi de 260 mm \pm 5 mm, conforme indicado pela norma NBR 16541 (ABNT, 2016).

Iniciou-se o teste posicionando um molde troncônico no centro da mesa, e este foi preenchido em três camadas de alturas aproximadamente iguais. Foram aplicados 15, 10 e 5 golpes na primeira, segunda e terceira camada respectivamente, utilizando um soquete metálico. Após o enchimento, uma régua metálica foi usada

para nivelar a camada superior do molde. O molde foi então removido e a mesa foi acionada por uma manivela, para cair 30 vezes em aproximadamente 30 segundos. Após a última descida, o espalhamento das argamassas foi medido em três pontos diferentes com um paquímetro, e o índice de consistência foi calculado como a média dessas medições.

A Figura 10 apresenta a medição da abertura de uma das misturas realizadas

Figura 10 - Abertura de um dos traços estudados



Fonte: Autora (2024).

3.4 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DAS ARGAMASSAS

Segundo Morales (2015), a formulação tradicional das argamassas consiste em uma proporção de uma parte de cimento para três partes de areia (1:3). Dessa forma, para a elaboração deste trabalho, adotou-se esse traço como base. O traço que utiliza 100% de areia serviu como referência para o desenvolvimento das

argamassas com substituições de areia por RCC nas proporções de 0%, 50%, 75% e 100%.

Para determinar a quantidade de água nos traços de argamassa, foi empregado o ensaio de índice de consistência (*flow table*). O índice de consistência de referência utilizado como base para a avaliação foi de 260 mm \pm 5 mm, conforme indicado pela norma NBR 16541 (ABNT, 2016). Com esse parâmetro, o objetivo foi determinar a relação água/cimento para cada um dos traços de argamassa, utilizando a faixa de abertura especificada. Essa relação é muito importante, pois influencia diretamente as propriedades mecânicas e de trabalhabilidade da argamassa.

As relações obtidas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Traço obtido para cada argamassa (kg)

Traço	Cimento	Areia	RCC	Água
0%	1	3	-	0,49
50%	1	1,5	1,5	0,7
75%	1	0,75	2,25	0,8
100%	1	-	3	0,94

Fonte: Autora (2024).

3.4.1 Mistura dos materiais

O procedimento para mistura das quatro formulações das argamassas foi realizado de acordo com a NBR 16541 (ABNT, 2021).

Primeiramente, os materiais secos foram previamente pesados e colocados na cuba da argamassadeira. Em seguida, a máquina foi acionada na velocidade baixa, então adicionou-se 75% da água total destinada à mistura, que foi misturada por 30 segundos. Após esse período, a velocidade foi aumentada, e a mistura continuou por mais 60 segundos.

Após desligar a argamassadeira, realizou-se a limpeza interna das pás para garantir que todo o material fosse homogeneizado e incorporado a mistura. Em seguida, a velocidade foi ajustada para a baixa novamente e os 25% restantes da água foram despejados na cuba. Assim, a mistura foi realizada por mais 60 segundos.

A Figura 11 mostra a argamassadeira utilizada para a preparação das misturas.

Figura 11 - Argamassadeira utilizada na preparação das misturas



Fonte: Autora (2024).

3.4.2 Moldagem dos corpos de prova

Imediatamente após a preparação da argamassa, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova prismáticos conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005). Com os moldes fixados na mesa de adensamento, adicionou-se uma porção de argamassa até a metade de cada compartimento do molde, seguida da aplicação de 30 golpes na mesa, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Argamassa moldada na mesa de adensamento

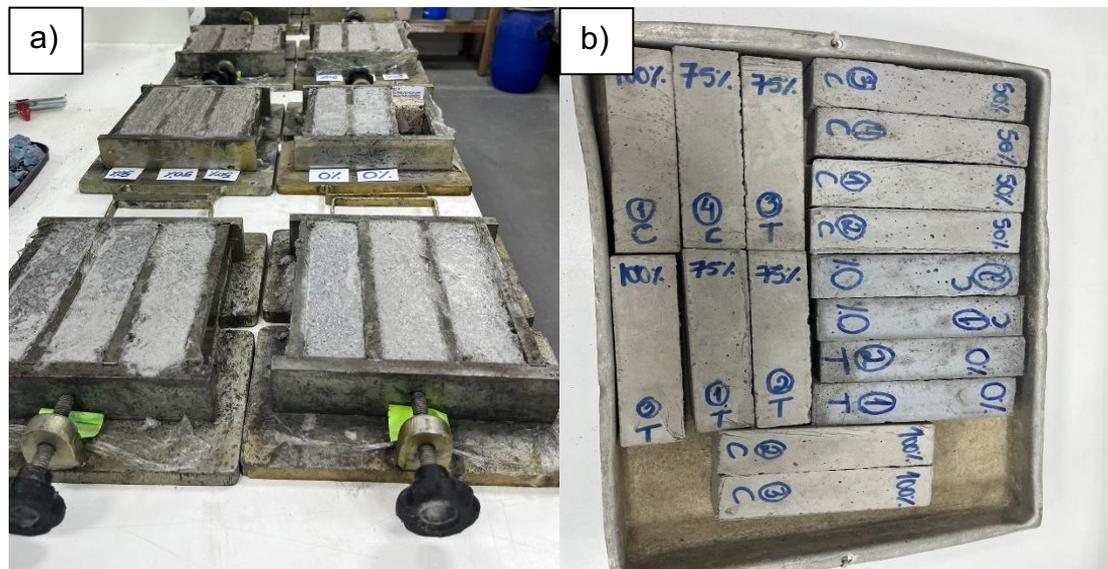


Fonte: Autora (2024).

Após o espalhamento da primeira camada, foi acrescentada a segunda parte da argamassa, e mais 30 golpes foram aplicados na mesa de adensamento. Feita a compactação, o material foi nivelado com uma régua metálica, para deixar a superfície dos corpos de prova regularizada.

Esse procedimento foi realizado para as quatro formulações propostas, resultando na produção de quatro corpos de prova prismáticos para cada uma, totalizando em 16 corpos de prova. Após um tempo de cura de 28 dias, todos foram submetidos a ensaios de resistência mecânica e avaliação de propriedades físicas. A cura dos corpos de prova foi realizada a uma temperatura de 23 ± 2 °C, conforme orienta a NBR 13276 (ABNT, 2005). Os corpos foram desmoldados 48 horas após a sua produção. A Figura 13 apresenta a moldagem e os corpos de prova em processo de cura ao ar.

Figura 13 - Produção dos corpos de prova: a) Moldagem, b) Corpos de prova em cura ao ar.



Fonte: Autora (2024).

3.5 ENSAIOS NA ARGAMASSA EM ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios nos corpos de prova das argamassas endurecidas foram realizados após 28 dias de cura em laboratório, onde as amostras foram mantidas em condições controladas de temperatura e umidade. Após esse período, foram realizados testes para avaliar a resistência à compressão e à tração na flexão, além de analisar as propriedades físicas das argamassas.

3.5.1 Resistência Mecânica

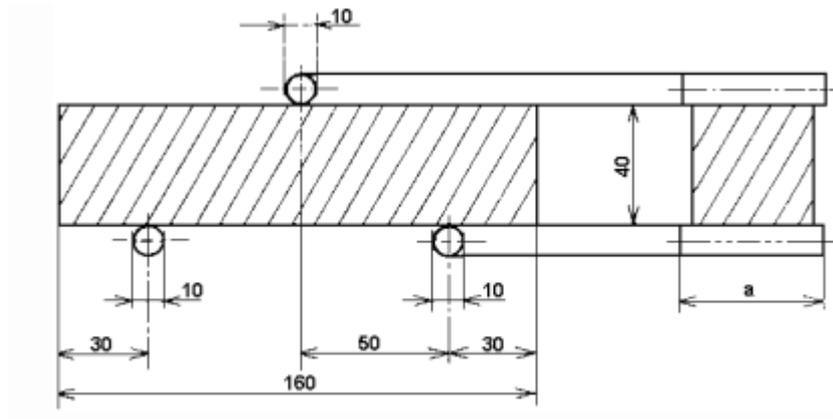
Para avaliar a resistência mecânica das argamassas foram realizados ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão dos corpos de prova. Os testes foram conduzidos com equipamentos de propriedade da Perville Construtora.

3.5.1.1 Resistência à tração na flexão das argamassas

A realização do ensaio de tração na flexão, foi orientada pela NBR 13279 (2005). Para este ensaio, foram moldados quatro corpos de prova de cada traço, resultando em 16 amostras. No ensaio, foram utilizados os corpos de prova

prismáticos, com 160 mm de comprimento cada, biapoiados em roletes de aço, com espaçamento de 100 mm entre si, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Dispositivo de carga para ensaios de resistência à tração na flexão.



Fonte: NBR 13279 (2005).

Primeiramente, os corpos de prova foram posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio, em seguida, a carga foi aplicada de forma centralizada em cada corpo de prova por meio de um terceiro rolete, até o momento do rompimento.

Cada corpo de prova apresentou uma capacidade de carga diferente, permitindo calcular a resistência à tração na flexão com base na carga aplicada, conforme descrito na Equação 6 da NBR 13279:2005.

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3} \quad (6)$$

Onde:

Rf: Resistência à tração na flexão (MPa);

Ff: Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);

L: Distância entre os suportes (mm).

A Figura 15 apresenta a execução do ensaio de tração na flexão.

Figura 15 - Execução do ensaio de tração na flexão.



Fonte: Autora (2024).

Durante a execução do ensaio, cada corpo de prova foi dividido em duas partes, sendo cada metade utilizada conforme o esquema apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Corpos de prova pós ensaio de tração na flexão



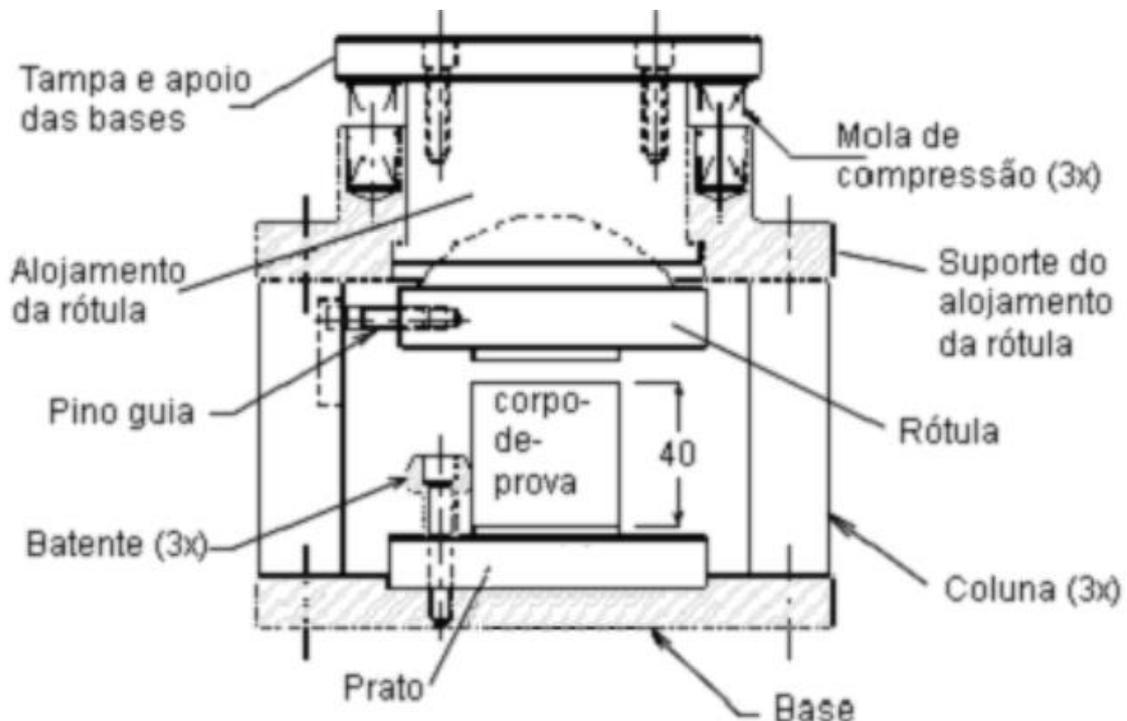
Fonte: Autora (2024).

3.5.1.2 Resistência à compressão das argamassas

A resistência à compressão das argamassas foi determinada de acordo com a NBR 13279 (2005). Após o ensaio de flexão, no qual os corpos de prova se dividiram em duas partes, utilizou-se uma das metades de cada corpo rompido para realizar o ensaio de compressão.

Para realizar o ensaio, cada metade foi colocada na prensa, sendo posicionada entre pratos metálicos tanto na face superior quanto na inferior, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Dispositivo de carga típico para ensaios de resistência à compressão.



Fonte: NBR 13279 (2005).

Após o posicionamento do corpo de prova na prensa, iniciou-se a aplicação de carga até o momento do rompimento do mesmo. Os corpos de prova apresentaram diferentes capacidades de carga, possibilitando o cálculo da resistência à compressão a partir das cargas registradas, conforme indicado na Equação 7 presente na NBR 13279:2005. A Figura 18 apresenta a execução do ensaio de resistência à compressão.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (7)$$

Onde:

R_c: Resistência à compressão (MPa);

F_c: Carga máxima aplicada (N);

1600: é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm (mm²).

Figura 18 - Execução do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autora (2024).

3.5.2 Propriedades físicas

Os ensaios de caracterização das propriedades físicas da argamassa no estado endurecido foram conduzidos em conformidade com a NBR 9778 (2005). Para esses ensaios, foram aproveitadas as 16 metades dos corpos de prova obtidos no ensaio de flexão. Cada metade foi subdividida, com o auxílio de uma talhadeira, em

dois fragmentos identificados como “a” e “b”, resultando em um total de oito corpos de prova para cada traço de argamassa, como mostra a Figura 19.

Figura 19 - Divisão das amostras em “a” e “b”



Fonte: Autora (2024).

Para a determinação da densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta, inicialmente, os corpos de prova foram colocados na estufa em uma temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, por um período de 72 horas. Após a secagem, foram retirados da estufa e deixados resfriar em temperatura ambiente, momento em que foi determinada a massa na condição seca.

Após a secagem, os corpos de prova foram imersos em água a uma temperatura de $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Corpos de prova imersos em água



Fonte: Autora (2024).

Ao término desse período, foi realizada a medição da massa imersa em água com o auxílio de uma balança hidrostática. Em seguida, as amostras tiveram suas superfícies secas, permitindo a aferição da massa saturada superfície seca.

Para os cálculos dos parâmetros físicos, foi realizada a média dos oito valores de massa seca, massa saturada superfície seca e massa saturada imersa, referentes aos quatro traços analisados.

3.5.2.1 Densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente dos diferentes traços da argamassa, utilizou-se a Equação 8.

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (8)$$

Onde:

ρ_s : Massa específica da amostra seca (g/cm^3) - Relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis;

M_s : Massa da amostra seca em estufa (g);

M_{sat} : Massa da amostra saturada superfície seca (g);

M_i : Massa da amostra saturada imersa (g).

3.5.2.2 Absorção de água

A absorção de água dos diferentes traços da argamassa foi definida a partir da Equação 9.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} * 100 \quad (9)$$

Onde:

A: Absorção de água por imersão (%);

M_{sat} : Massa da amostra saturada superfície seca (g);

M_s : Massa da amostra seca em estufa (g).

3.5.2.3 Porosidade aberta

Já a porosidade aberta foi calculada a partir da Equação 10.

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} * 100 \quad (10)$$

Onde:

I_v : Índice de vazios (%);

M_{sat} : Massa da amostra saturada superfície seca (g);

M_s : Massa da amostra seca em estufa (g);

M_i : Massa da amostra saturada imersa (g).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Neste tópico são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdos, além das propriedades nos estados fresco e endurecido da argamassa com diferentes teores de RCC na sua composição, conforme a metodologia descrita no capítulo 3.

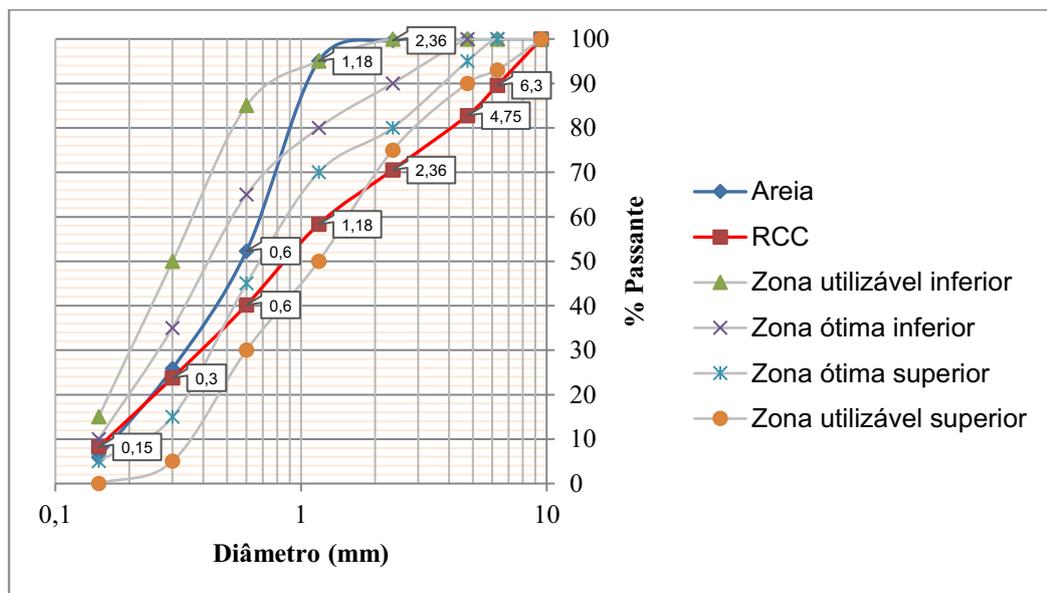
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

São apresentados nesse item as propriedades da distribuição granulométrica, massa unitária, densidade e absorção de água para os agregados em estudo.

4.1.1 Distribuição granulométrica

A partir dos ensaios de granulometria, foi possível traçar as curvas granulométricas para ambos os materiais e aplicar os limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022). Os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia e RCC



Fonte: Autora (2024).

A análise do Gráfico 1 indica que a curva do RCC ultrapassa os limites estabelecidos pela norma a partir da peneira de 2,36 mm, assim como a curva da areia também ultrapassa esses limites a partir da peneira de 1,18 mm.

Além disso, observa-se que o RCC tem melhor distribuição granulométrica, apresentando partículas de diversos tamanhos, incluindo materiais retidos na peneira de 6,3 mm. No entanto, apenas cerca de 60% do material passa pela peneira de 1,18 mm. Em contrapartida, a areia não apresenta uma variedade significativa de diâmetros de grãos, pois a curva indica que 95% do material passa pela peneira de 1,18 mm, evidenciando uma predominância de materiais finos em comparação com o RCC.

A Tabela 4 apresenta o módulo de finura e a dimensão máxima dos dois materiais analisados. Embora a dimensão máxima do RCC seja de 9,5 mm, esse diâmetro não pode ser utilizado na produção de argamassas, pois não se enquadra como um agregado miúdo.

Tabela 4 - Módulo de finura e dimensão máxima dos agregados

Material	Módulo de finura	Dimensão máxima (mm)
Areia	2,21	2,36
RCC	3,16	9,5

Fonte: Autora (2024).

Dessa forma, no presente estudo utilizaram-se apenas materiais passantes nas peneiras 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm de ambos materiais. A escolha dessas peneiras específicas foi essencial para obter uma granulometria precisa e, assim, avaliar as características da argamassa com os mesmos diâmetros dos materiais estudados.

4.1.2 Massa unitária, densidade e absorção de água dos agregados

Os resultados obtidos de massa unitária, densidade e absorção de água para a areia e RCC estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Massa unitária, densidade e absorção de água dos agregados

Material	Massa unitária (g/cm ³)	Densidade do agregado na condição seca (g/cm ³)	Densidade do agregado na condição saturada superfície seca (g/cm ³)	Absorção de água (%)
Areia	1,68	2,22	2,28	2,76
RCC	1,39	1,79	2,06	15,4

Fonte: Autora (2024).

A análise da Tabela 5 permite afirmar que a massa unitária e a densidade da areia são maiores do que as do resíduo da construção civil. Isso ocorre porque a areia possui grãos mais homogêneos, com formato e tamanho que facilitam o assentamento entre as partículas. Em contrapartida, o RCC contém uma variedade de partículas com fragmentos de diferentes tamanhos, como pedaços de argamassa e cerâmica, o que gera mais espaços vazios e, conseqüentemente, uma menor massa unitária e densidade.

Além disso, observa-se que a absorção de água pelo RCC é muito maior que para a areia. Esse comportamento pode ser explicado pela presença de materiais cerâmicos no RCC, os quais apresentam elevada porosidade e, conseqüentemente, uma alta capacidade de absorção de água.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Neste tópico, são apresentados os resultados obtidos para as argamassas nos estados fresco e endurecido, com base nos ensaios de índice de consistência, resistência mecânica e propriedades físicas.

4.2.1 Ensaio no estado fresco

Ensaio realizado conforme descrito no item 3.3.1 para determinar a trabalhabilidade das argamassas.

4.2.1.1 Índice de consistência – *Flow Table*

Para determinar a relação água/cimento em cada um dos traços estudados, foi adotada uma abertura de referência de 260 mm ± 5 mm, conforme indicado pela norma NBR 16541 (ABNT, 2016).

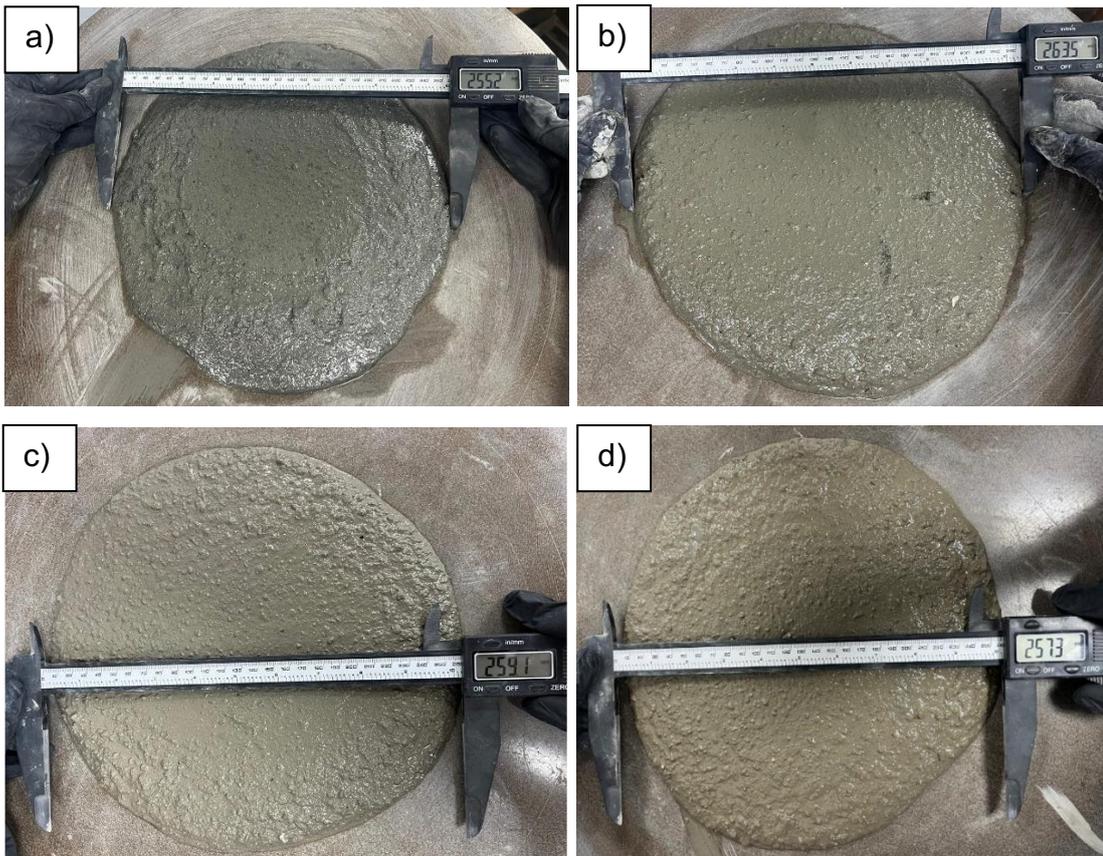
A Tabela 6 apresenta a quantidade de água utilizada e a relação água/cimento para os traços com 0%, 50%, 75% e 100% de substituição, bem como a respectiva abertura de 260 ± 5 mm para cada mistura. A Figura 21 demonstra a abertura para cada um dos traços estudados.

Tabela 6 - Relação água/cimento e *flow table* médio das argamassas

Traço	Relação água/cimento	<i>Flow table</i> médio (mm)
0%	0,49	255,13
50%	0,70	263,60
75%	0,80	257,03
100%	0,94	255,33

Fonte: Autora (2024).

Figura 21 - Abertura das argamassas: a) 0%, b) 50%, c) 75%, d) 100%.



Fonte: Autora (2024).

Para manter a abertura de referência, foi necessário aumentar a quantidade de água na argamassa conforme o teor de RCC aumentava, conforme apresentado na Tabela 3.

Na argamassa com teor máximo de RCC, a relação água/cimento aumentou 91,8% em comparação com a mistura com 0% de resíduo. Isso ocorre porque os materiais presentes no RCC são porosos e absorvem mais água do que o agregado natural, exigindo um ajuste na quantidade de água utilizada.

4.2.2 Ensaio no estado endurecido

A partir da descrição do item 3.5 foram realizados os ensaios para determinação da resistência mecânica e propriedades físicas das argamassas.

4.2.2.1 Resistência mecânica

Os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão foram realizados após 28 dias de cura dos corpos de prova, e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

4.2.2.1.1 Resistência à tração na flexão

A Figura 22 ilustra a execução do ensaio, destacando o momento do rompimento de um corpo de prova sob a carga máxima suportada, além da fissura de flexão.

Figura 22 - Rompimento do corpo de prova no ensaio de tração na flexão



Fonte: Autora (2024).

Os ensaios de tração na flexão foram realizados utilizando quatro corpos de prova para cada traço. A Tabela 7 apresenta os valores de resistência obtidos individualmente para cada corpo de prova, calculados por meio da Equação 6, assim como a resistência média e o desvio padrão.

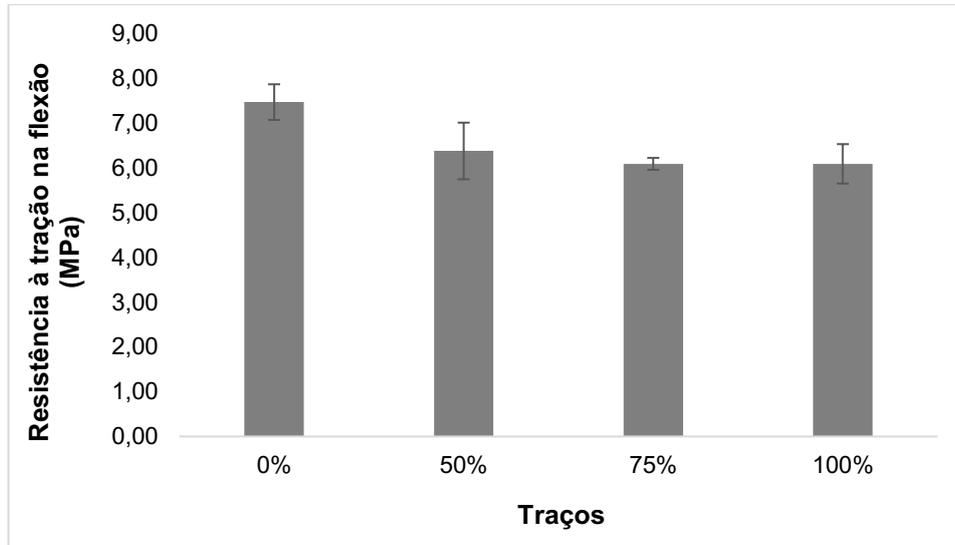
Tabela 7 - Resultados de resistência obtidos através do ensaio de tração na flexão

Traço	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão
0%	7,58	7,47	0,39
	7,58		
	6,90		
	7,81		
50%	7,13	6,38	0,63
	5,75		
	6,67		
	5,98		
75%	5,98	6,10	0,13
	6,21		
	5,98		
	6,21		
100%	5,98	6,10	0,44
	5,52		
	6,44		
	6,44		

Fonte: Autora (2024).

O Gráfico 2 apresenta os valores médios de resistência para os traços com teores de 0%, 50%, 75% e 100% de substituição de areia por RCC.

Gráfico 2 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias



Fonte: Autora (2024).

A análise dos resultados revela que o traço com 0% de teor de RCC apresentou a maior resistência, atingindo aproximadamente 7,5 MPa. Com a substituição de 50% de areia por RCC, observou-se uma redução significativa na resistência, que caiu para cerca de 6,38 MPa. Nos traços com 75% e 100% de RCC, a resistência à tração na flexão permaneceu constante, apresentando valores próximos a 6 MPa.

Esses valores indicam que a incorporação de RCC na argamassa reduz sua resistência à tração na flexão em relação ao traço sem RCC. Contudo, a partir de 50% de substituição, as perdas de resistência tornam-se menos expressivas, sugerindo que o impacto negativo do RCC sobre essa propriedade física se estabiliza.

Os resultados alcançados nesta pesquisa estão alinhados com os estudos de Pimentel *et al.* (2018), no qual as resistências à tração são semelhantes entre si e tendem a diminuir à medida que a porcentagem de teor de resíduo de construção aumenta.

Para classificar se os valores obtidos estão de acordo com a NBR 13281-1 (2023), foi analisada a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação das argamassas para revestimento a partir da resistência à tração na flexão.

Classe	Resistência à tração na flexão (R_f) MPa	Método de ensaio
R1	$R_f < 0,5$	ABNT 13279
R2	$0,5 \leq R_f \leq 1,5$	
R3	$1,5 \leq R_f \leq 3,0$	
R4	$R_f > 3,0$	

Fonte: Adaptado de: ABNT NBR 13281-1 (2023).

A análise da Tabela 8 revela que, embora a resistência das argamassas tenha diminuído com a adição de RCC, todos os valores obtidos permaneceram acima de 3 MPa, logo, a classe das argamassas se enquadra em R4. Isso indica que todas as argamassas atendem aos requisitos estabelecidos pela NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

4.2.2.1.2 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a metodologia descrita no item 3.5.1.2. A Figura 23 apresenta alguns dos corpos de prova submetidos ao ensaio.

Figura 23 - Corpos de prova após ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autora (2024).

Os ensaios foram realizados utilizando quatro corpos de prova para cada traço. No entanto, a resistência média foi calculada com base em três corpos de prova,

desconsiderando um corpo de prova cujo desvio padrão era significativamente maior, ou seja, houve uma variação dos valores em relação à média calculada. Isso foi feito para garantir maior precisão nos resultados.

A Tabela 9 apresenta os valores individuais de resistência obtidos, bem como a resistência média calculada.

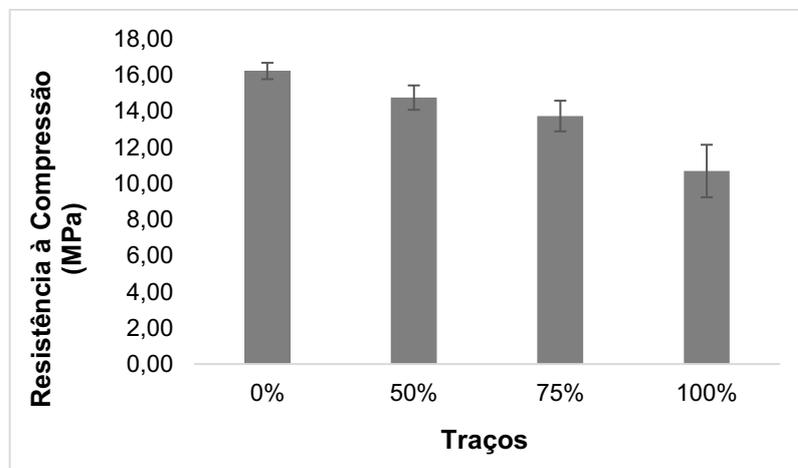
Tabela 9 - Resultados de resistência obtidos no ensaio de compressão

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão
0%	15,87	16,22	0,45
	16,73		
	16,06		
	22,06		
50%	15,08	14,75	0,68
	13,97		
	15,20		
	13,06		
75%	14,22	13,73	0,85
	12,75		
	14,22		
	10,30		
100%	9,13	10,68	1,45
	10,91		
	12,01		
	14,46		

Fonte: Autora (2024).

O Gráfico 3 apresenta os valores médios de resistência para os 4 traços estudados.

Gráfico 3 - Resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Autora (2024).

A análise do Gráfico 3 revela que o traço 0%, sem a adição de RCC, apresentou a maior resistência à compressão, atingindo aproximadamente 16 MPa, o que evidencia o desempenho superior dos materiais convencionais. Com a substituição parcial de 50% de areia por RCC, houve uma redução na resistência, registrando um valor médio de 14,75 MPa. No traço com 75% de substituição, a resistência diminuiu para cerca de 13,75 MPa, enquanto o traço com 100% de RCC obteve a média de 10,68 MPa.

Pode-se afirmar que a redução na resistência à compressão tornou-se mais significativa à medida que o teor de RCC foi aumentado. Esses resultados evidenciam que a incorporação de RCC na argamassa diminui sua resistência em comparação ao traço sem adição de resíduo.

O estudo de Pimentel *et al.* (2018) também evidenciou que, à medida que se aumenta a quantidade de resíduo reciclado, ocorre uma redução gradual na resistência à compressão do material.

4.2.2.2 Propriedades físicas

Ao total foram utilizados quatro fragmentos dos corpos de prova provenientes da realização do ensaio de tração na flexão. Cada fragmento foi dividido ao meio, totalizando oito amostras ensaiadas. Os resultados finais foram obtidos por meio do cálculo da média dos valores registrados, apresentados a seguir.

4.2.2.2.1 Densidade aparente

A Tabela 10 mostra a densidade aparente de cada traço estudado.

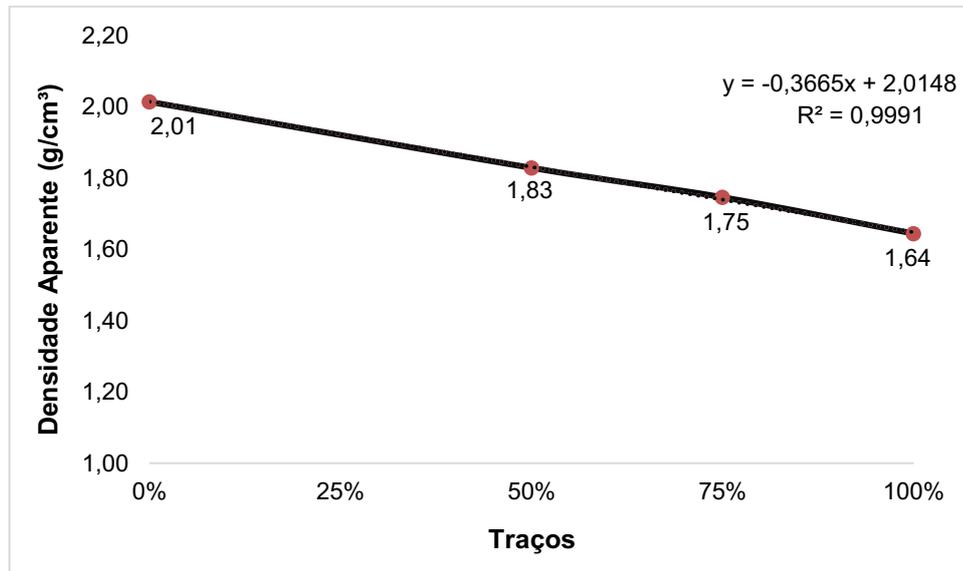
Tabela 10 – Densidade aparente das argamassas

Traço	Densidade Aparente (g/cm ³)
0%	2,01
50%	1,83
75%	1,75
100%	1,64

Fonte: Autora (2024).

O Gráfico 4 ilustra a redução da densidade aparente à medida que aumenta o teor de RCC incorporado na argamassa.

Gráfico 4 - Densidade aparente dos diferentes traços de argamassa



Fonte: Autora (2024).

A partir da análise do Gráfico 4, pode-se observar uma tendência de redução linear na densidade aparente à medida que o teor de RCC aumenta. No traço 0%, a densidade aparente é 2,01 g/cm³, enquanto no traço com 100% de substituição, é 1,64 g/cm³, gerando uma diminuição de 20% da densidade em comparação ao traço 0%. Essa redução é explicada pela menor densidade do RCC em comparação com a areia natural, conforme já discutido nos resultados de caracterização dos materiais, conforme Tabela 5.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9991$) indica uma excelente correlação linear entre o aumento do teor de RCC e a diminuição da densidade aparente, evidenciando a consistência dos dados experimentais.

4.2.2.2.2 Absorção de água

A Tabela 11 apresenta a absorção de água para cada um dos traços.

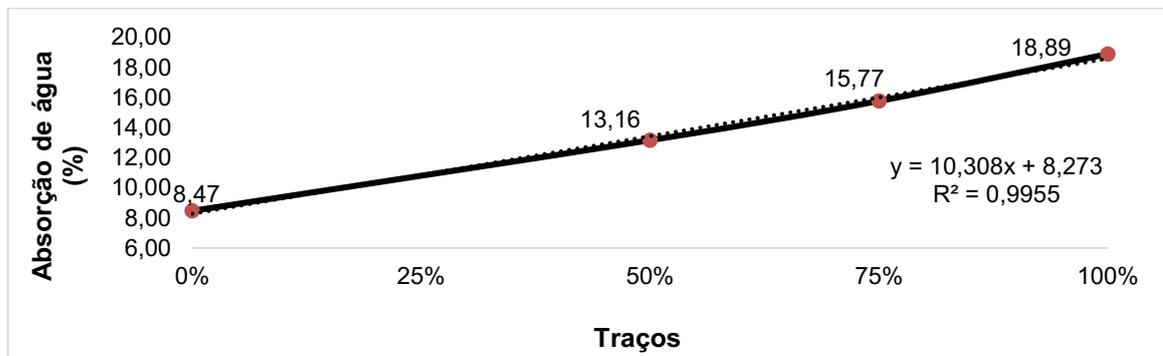
Tabela 11 - Absorção de água das argamassas

Traço	Absorção de água (%)
0%	8,47
50%	13,16
75%	15,77
100%	18,89

Fonte: Autora (2024).

A partir da análise do Gráfico 5 é possível observar que, conforme o teor de RCC aumenta, há um crescimento na absorção de água pelas argamassas.

Gráfico 5 - Absorção de água dos diferentes traços de argamassa



Fonte: Autora (2024).

No traço 0%, a absorção de água é de 8,47%. Já no traço com 100% de RCC, esse valor chega a 18,89%, representando um aumento superior a 100% em relação ao traço 0%. Essa tendência pode ser explicada pela maior porosidade do RCC em comparação a areia natural, que resulta em maior capacidade de absorção de água nas argamassas com maior teor de RCC, conforme Tabela 5.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9955$) mostra uma boa correlação linear entre o aumento do teor de RCC e a absorção de água, reforçando a confiabilidade dos resultados experimentais.

4.2.2.2.3 Porosidade aberta

A Tabela 12 apresenta o percentual de porosidade aberta para os 4 traços estudados.

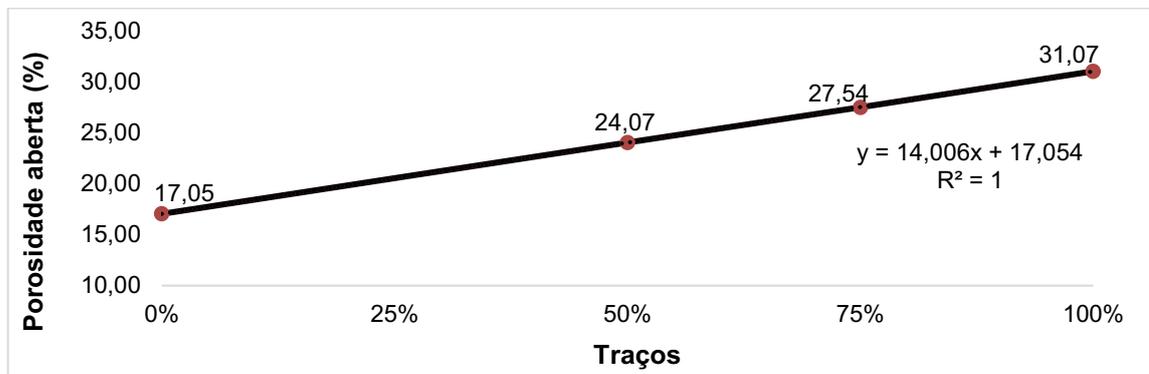
Tabela 12 - Porosidade aberta das argamassas

Traço	Porosidade aberta (%)
0%	17,05
50%	24,07
75%	27,54
100%	31,07

Fonte: Autora (2024).

A partir da análise do Gráfico 6, é possível observar um aumento linear na porosidade aberta conforme o teor de RCC na argamassa cresce.

Gráfico 6 - Porosidade aberta dos diferentes traços de argamassa



Fonte: Autora (2024).

No traço 0%, a porosidade é de 17,05%, enquanto no traço com 100% de substituição, atinge 31,07%, um aumento de 90% da porosidade em relação ao traço 0%. Esse comportamento pode ser explicado pela composição do RCC, que contém materiais porosos, como cerâmica vermelha, argamassas e concretos degradados e outros resíduos, que contribuem para uma matriz mais porosa.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 1$) indica uma relação perfeitamente linear entre o acréscimo de RCC com o aumento na porosidade.

4.2.3 Análise entre as resistências mecânicas e propriedades físicas das argamassas

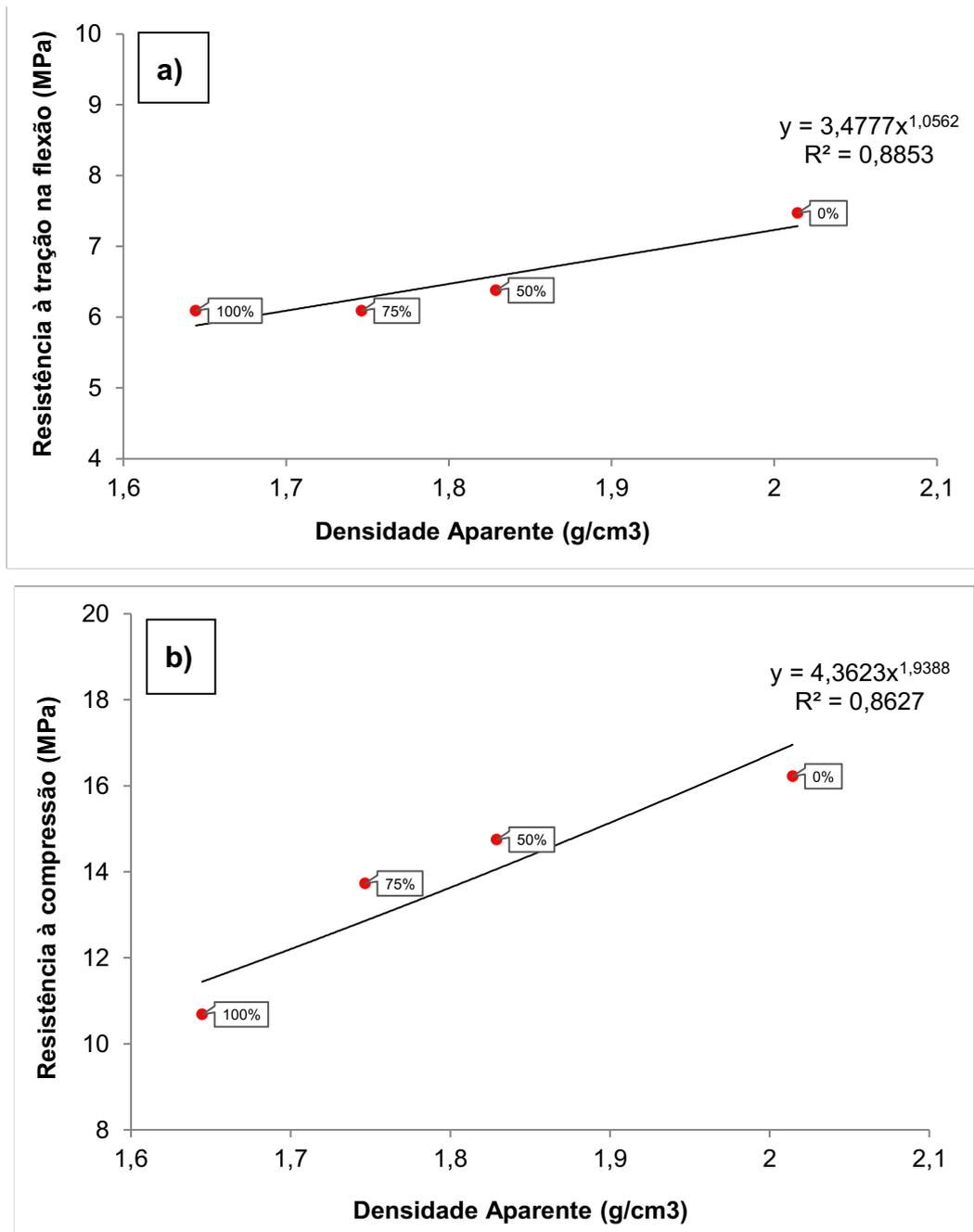
Neste tópico são abordados a correlação entre as resistências de tração na flexão e compressão com a densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta.

4.2.3.1 Resistência mecânica x Densidade aparente

Os valores de resistência mecânica das argamassas possuem uma relação diretamente proporcional à densidade do material, indicando que, à medida que a densidade aumenta, a resistência mecânica também tende a crescer. Esse comportamento apresenta características similares a uma função potência.

O Gráfico 7 explicita essa relação, mostrando como a densidade aparente está associada ao aumento da resistência à tração na flexão e à compressão.

Gráfico 7 - Relação entre resistência mecânica e densidade aparente: a) Tração na flexão, b) Compressão



Fonte: Autora (2024).

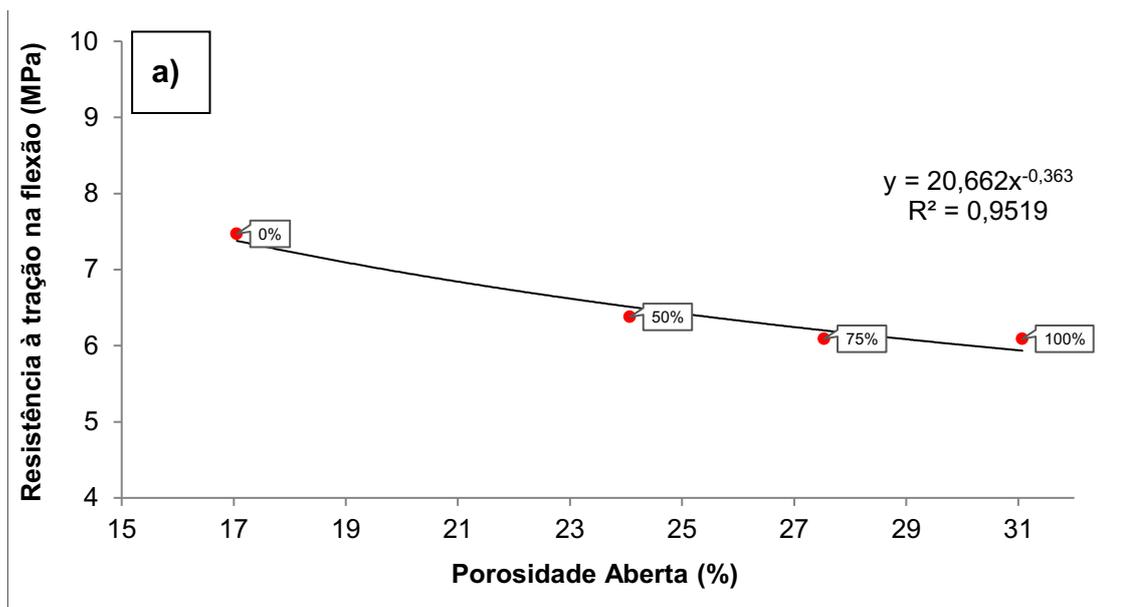
Os valores de R^2 obtidos para a resistência à tração na flexão e à compressão indicam uma boa aproximação, evidenciando que os modelos ajustados representam de forma consistente a relação entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas das argamassas.

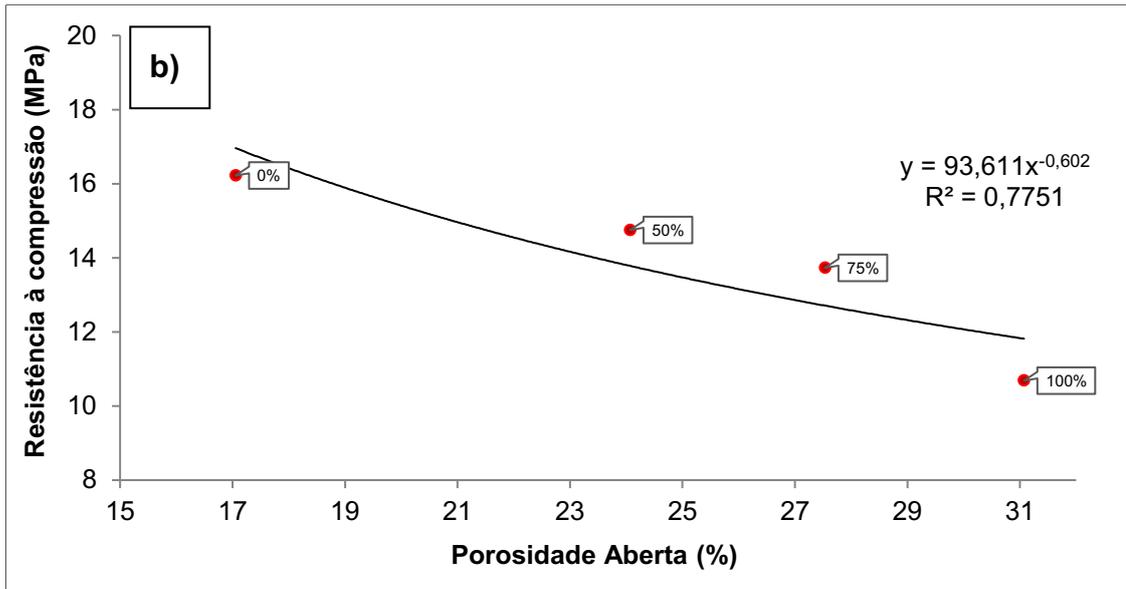
Dessa forma, pode-se afirmar que a redução da quantidade de vazios na estrutura do material favorece a homogeneidade e a compactação da matriz, resultando em um material mais denso. Isso diminui a presença de falhas internas que podem comprometer a integridade e o desempenho mecânico do material, tornando-o mais resistente a esforços externos.

4.2.3.2 Resistência mecânica x Porosidade aberta

O Gráfico 8 apresenta a relação entre as resistências mecânicas e a porosidade aberta.

Gráfico 8 - Relação entre resistência mecânica e porosidade aberta: a) Tração na flexão, b) Compressão





Fonte: Autora (2024).

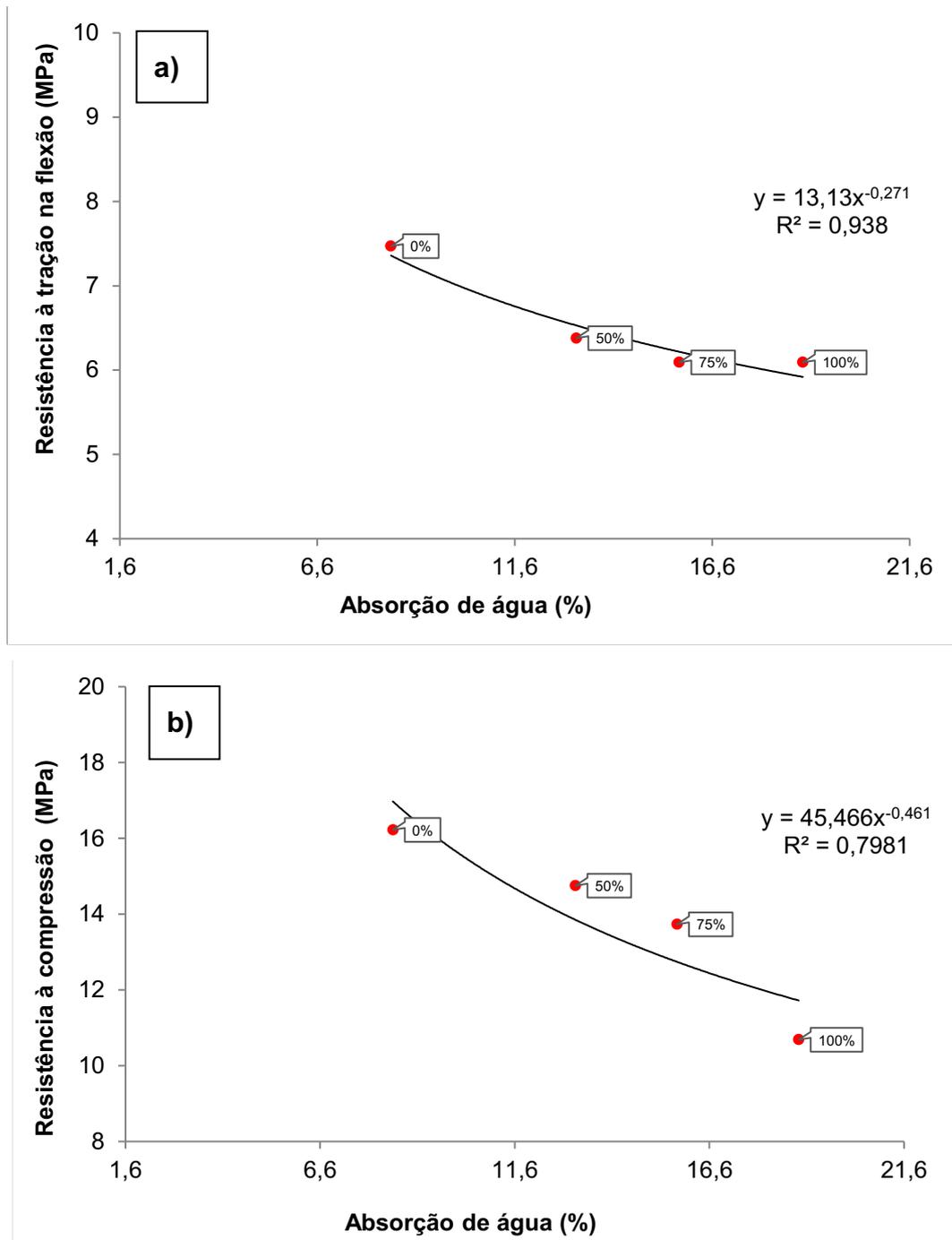
Os valores de resistência mecânica e porosidade aberta apresentam uma relação inversamente proporcional, de modo que, à medida que o percentual de porosidade aumenta, tanto a resistência à tração na flexão quanto à compressão diminuem.

Isso ocorre porque um maior teor de porosidade aberta nas argamassas gera mais espaços vazios em sua estrutura, reduzindo a densidade do material e a área de contato efetiva entre as partículas sólidas. Consequentemente, a capacidade da argamassa de suportar cargas e absorver deformações é significativamente comprometida, resultando em uma redução no seu desempenho mecânico.

4.2.3.3 Resistência mecânica x Absorção de água

O Gráfico 9 apresenta a relação entre as resistências mecânicas e a absorção de água.

Gráfico 9 - Relação entre resistência mecânica e absorção de água: a) Tração na flexão, b) Compressão



Fonte: Autora (2024).

Assim como a porosidade, a absorção de água apresenta uma relação inversamente proporcional com a resistência mecânica. Um maior índice de absorção impacta negativamente a resistência mecânica das argamassas devido ao aumento da porosidade, que reduz a densidade da mesma. Além disso, a presença de água pode provocar expansão e contração dos materiais, levando à formação de

microfissuras que comprometem a integridade estrutural e o desempenho mecânico do material.

5. CONCLUSÃO

O RCC apresentou granulometria mais heterogênea que a areia, com partículas de diferentes tamanhos, incluindo materiais retidos na peneira de 6,3 mm. Sua curva ultrapassou os limites normativos a partir da peneira de 2,36 mm, embora o material passante tenha demonstrado potencial como agregado. O RCC também apresentou menor massa unitária e específica, além de maior absorção de água, fatores que podem comprometer as propriedades da argamassa e exigem ajustes na dosagem para seu uso.

Com o aumento do teor de RCC na composição das argamassas, observou-se uma redução na trabalhabilidade do material. Para compensar essa perda e manter a abertura constante no ensaio de *flow table*, foi necessário aumentar a relação água/cimento em 90% no traço com 100% de RCC em comparação ao traço referência. Esse acréscimo de água, embora tenha ajudado a manter a trabalhabilidade, afetou negativamente as propriedades físicas e a resistência mecânica das argamassas.

As propriedades físicas também foram afetadas com a adição de RCC na argamassa. No traço com 100% de RCC, houve uma redução de 20% na densidade aparente em relação ao traço 0%. A absorção de água aumentou mais de 100% e a porosidade aumentou em 90% no traço 100% quando comparado ao traço 0%. É importante destacar que os comportamentos das propriedades físicas estiveram alinhados com as expectativas, apresentando consistência nos valores obtidos. Além disso, os resultados das propriedades físicas indicam uma relação linear entre os dados analisados.

Em relação as resistências mecânicas, os resultados revelaram uma redução gradual com o aumento de RCC na argamassa. O traço sem RCC (0%) apresentou a maior resistência, com 16 MPa na compressão e 7,5 MPa na tração na flexão. Com a substituição total da areia por RCC (100%), a resistência à compressão diminuiu para 10,7 MPa, uma redução de 33,75%, e a resistência à tração na flexão para 6 MPa, representando uma redução de 20%. Esses resultados indicam que o aumento do teor de RCC na mistura afeta negativamente a resistência mecânica da argamassa.

Embora o aumento do teor de RCC na argamassa tenha levado à redução das resistências mecânicas e alterações em propriedades físicas, como densidade e porosidade, os resultados ainda atendem aos limites da norma. O traço com 50% de

RCC apresenta desempenho mecânico próximo ao traço 0%, entretanto, a utilização de 100% de RCC ainda se mostra uma opção viável para promover a sustentabilidade.

Diante disso, a substituição total pode ser adotada, desde que os impactos nas propriedades mecânicas sejam avaliados e estudos complementares sejam realizados. Por outro lado, a utilização de 50% de RCC na composição das argamassas demonstra ser bastante promissora, uma vez que apresentou resultados similares ao traço com 0%, promovendo, assim, o uso responsável dos resíduos de construção.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar resíduo de construção civil na condição saturada, para manter a relação água/cimento constante;
- Estudar a aderência à tração ao substrato (realizar o ensaio de arrancamento para argamassa de revestimento);
- Realizar ensaios de durabilidade para viabilizar a utilização da argamassa para revestimento externo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M. B. **Avaliação do efeito da incorporação de agregados porosos secos e pré-molhados em argamassas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. Disponível em: <https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/11/28-Guia-basico-de-utilizacao-do-cimento-portland.pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7212936/mod_resource/content/1/Panorama-2020-V5-unicas%20%282%29.pdf. Acesso em: 16 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1**. Argamassas inorgânicas: requisitos e métodos de ensaios Parte 1: argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**. Agregados: Determinação da composição granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**. Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**. Agregado miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**. Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**. Agregados: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BERNARDES, E. E. **Estudo da estrutura de poros de um compósito de matriz cimentícia por meio da microtomografia de raios X**. 2013. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

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

CARASEK, H. *et al.* Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 3, p. 714-732, 2016.

CARASEK, H. Argamassas. *In*: ISAIA, G. C. (org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 885-936.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 307**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 5 jul. 2002. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.do wnload&id=18556. Acesso em: 2 abr. 2024.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com RCD: Características físicas e propriedades da microestrutura**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 169-176, 2013.

LINTZ, R. C. C. *et al.* Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 166-181, 2012.

LOPES, B. B. **Avaliação da aderência em sistemas de revestimento de argamassa sobre superfícies de concreto**. 2012. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MORALES, B. R. S. C. **Avaliação da influência das frações de agregado reciclado nas propriedades das argamassas de revestimento**. 2015. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

OLIVEIRA, D. F. *et al.* Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 1, n. 2, p. 30-36, 2006.

PIMENTEL, L. L. *et al.* Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, p. e-11969, 2018.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R.K. Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 400-415, 2016.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.